

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERÍA**

**ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN
MÓVIL UMTS EN EL INTERIOR DEL CENTRO COMERCIAL
IÑAQUITO**

MÓNICA PATRICIA TAIPE ORTIZ

SANGOLQUÍ – ECUADOR

2012

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

MÓNICA PATRICIA TAIPE ORTIZ

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “Análisis y diseño del sistema de comunicación móvil UMTS en el interior del Centro Comercial Iñaquito”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie, de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 26 de Noviembre de 2012

Mónica Patricia Taipe Ortiz

AUTORIZACIÓN

Yo, Mónica Patricia Taipe Ortiz

Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “Análisis y diseño del sistema de comunicación móvil UMTS en el interior del Centro Comercial Ñaquito”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 26 de Noviembre de 2012

Mónica Patricia Taipe Ortiz

CERTIFICACIÓN

Ing. Paúl Bernal

Ing. Fabián Saenz

Que el trabajo titulado “Análisis y diseño del sistema de comunicación móvil UMTS en el interior del Centro Comercial Iñaquito”, realizado por Mónica Patricia Taípe Ortiz, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a que se trata de un trabajo de investigación recomiendan su publicación.

Sangolquí, 26 de Noviembre de 2012

Ing. Paúl Bernal

DIRECTOR

Ing. Fabián Saenz

CODIRECTOR

RESUMEN

El presente proyecto de investigación consiste en el análisis y diseño del sistema de comunicación móvil UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) al interior del Centro Comercial Ñaquito.

Dentro del proyecto se contempla la monitorización de la interfaz aire UMTS (*walk test*) actual al interior del C.C.I. tanto en modo inactivo como en modo conectado (servicio de voz), para lo cual se utilizó la herramienta TEMS *Pocket Profesional 9.1* implementado en el teléfono móvil Nokia C5-00, este teléfono en modo ingeniería se encarga de recoger los datos más relevantes de los canales y los eventos generados por la red móvil a nivel de la interfaz aire. Asimismo se empleó el software TEMS *Investigation* para el post-procesamiento de los datos obtenidos, a fin de determinar los niveles de calidad y cobertura ofrecida por la operadora CONECEL, los cuales fueron comparados en base a los estándares que recomienda el 3GPP.

La solución planteada es un sistema distribuido de antenas pasivo (DAS) y el diseño del mismo empieza con la ubicación de la BTS, las antenas y elementos pasivos a utilizar con uso de los planos, además se realiza un diagrama unifilar de radio frecuencia y cálculo de ingeniería donde se muestra la potencia final de las antenas.

DEDICATORIA

“Padres...

La palabra le queda chica a tanta grandeza.

Los versos son pocos...

más su amor es eterno”

*Dedico este trabajo a mis padres,
quiénes con su amor, dedicación y esfuerzo
hicieron posible el triunfo profesional alcanzado.*

Por ellos mi amor y respeto.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero agradecer a Dios, por ser la energía divina que esta en mí y que me acompaña en todo momento.

A mis padres, Ena y Cristóbal, por ser el amor y apoyo incondicional, porque sin ustedes esto no sería posible, gracias mis angelitos.

A mi hijo, Luis Alejandro, por que con su sonrisa ilumina mis días, por ser mi motivación principal en cada cosa que hago.

A mis hermanas, Stephany y Katherine, quiénes me dan el empujoncito cuando lo necesito con sus risas y acciones.

A la memoria de mi abuelita Esther, por ser el angelito que desde el cielo me bendice y siempre esta conmigo.

A mi tío Luis por tener las palabras precisas y alentarme en cada paso que doy.

A mis amigos por los preciados consejos y gratos momentos durante todo este proceso.

A mis profesores por ser la guía, por compartir sus conocimientos y experiencias para hacer de nosotros profesionales de éxito.

PRÓLOGO

El ámbito de los sistemas de comunicaciones móviles en muchas ocasiones se ve degradado en entornos interiores, teniendo un nivel de cobertura deficiente. Por ello las soluciones de cobertura *indoor* permiten extender los sistemas de comunicaciones de radio frecuencia a las áreas restringidas, de manera que la gente pueda usar sus teléfonos celulares o dispositivos inalámbricos en las zonas que normalmente no existe cobertura o que simplemente la cobertura es baja.

La calidad de servicio (QoS) ha sido desde siempre uno de los aspectos más importantes a la hora de diseñar las redes de telefonía móvil celular, así como de los servicios que se prestan en ellas. Con todo, su importancia cada vez es mayor, no sólo porque los clientes exigen mayor calidad, tanto en el uso privado de los servicios móviles, como en el uso profesional, sino también porque los servicios que se brindan con las nuevas tecnologías como HSPA y HSPA+ así lo requieren.

El contenido del presente proyecto está distribuido en cinco Capítulos:

En el Capítulo I, se analiza la situación actual de las operadoras del servicio móvil avanzado en el Ecuador, detallando los aspectos generales de los organismos de regulación y control de las telecomunicaciones, las bandas de frecuencias de cada una de las operadoras que se encuentran operativas en Ecuador. Así como también un breve análisis concerniente a los aspectos del mercado del SMA en el territorio ecuatoriano, con un estudio de la infraestructura de las redes UMTS locales.

En el Capítulo II, se da una introducción al sistema móvil de tercera generación UMTS, sobre la cual se centrará este proyecto, en la cual se detallan las características generales del sistema, el espectro asignado y la arquitectura del sistema a nivel físico y a nivel de interfaces entre sí.

El Capítulo III, se describe las generalidades de los sistemas de antenas distribuidas y descripción de equipos; los diferentes tipos de soluciones *indoor*, la comparación entre las diferentes técnicas de cobertura en interiores y una descripción de las características de los equipos, como los elementos pasivos y estación base (Nodo B).

El Capítulo IV, se presenta la metodología para la monitorización de la interfaz de aire UMTS actual en el interior del C.C.I. y el análisis respectivo de los datos obtenidos.

El Capítulo V, profundiza el diseño del sistema distribuido de antenas pasivo, definiendo el espacio para los equipos UMTS, así como el esquema de conexión del cable coaxial, elementos pasivos y antenas para la distribución de la señal. Además se explica como se realiza un balance de potencias, partiendo del esquema unifilar que se ha diseñado.

El Capítulo VI incluye las conclusiones y recomendaciones obtenidas a lo largo del desarrollo de este proyecto.

Finalmente en la sección de Anexos, se presenta los datos técnicos de los equipos BTS, antenas y elementos pasivos que fueron utilizados en el diseño del sistema distribuido de antenas pasivo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	1
SITUACIÓN ACTUAL DE LAS OPERADORAS DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO EN EL ECUADOR	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 MARCO REGULATORIO DE TELECOMUNICACIONES EN ECUADOR.....	2
1.2.1 Organismos de Regulación y Control Nacional	2
1.3 OPERADORAS DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO.....	5
1.3.1 CONECEL S. A.	6
1.3.2 OTECEL S. A.	7
1.3.3 CNT EP (Ex TELECSA S.A)	8
1.4 BANDAS DE FRECUENCIAS ASIGNADAS AL SMA SEGÚN EL PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS DE ECUADOR.....	9
1.5 NÚMERO DE LÍNEAS ACTIVAS DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO	11
1.5.1 Análisis por operador	12
1.5.2 Análisis por tecnología	14
1.6 ESTUDIO DE LAS REDES UMTS QUE DISPONEN LAS OPERADORAS CELULARES.....	16
1.6.1 Infraestructura instalada por CONECEL S.A.	19
1.6.2 Infraestructura instalada por OTECEL S.A.	20
CAPÍTULO II.....	22
SISTEMA MÓVIL DE TERCERA GENERACIÓN UMTS.....	22
2.1. INTRODUCCIÓN.....	22
2.2. ASPECTOS GENERALES	22
2.3. ASIGNACIÓN ESPECTRAL PARA UMTS	25
2.4. EVOLUCIÓN DE 2G HACIA 3G	26
2.4.1 Segunda Generación (2G)	27
2.4.2 Segunda Generación mejorada (2.5G).....	28
2.4.3 Tercera Generación (3G).....	29
2.5. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE UMTS.....	30

2.6. ARQUITECTURA GENERAL DEL SISTEMA UMTS	32
2.6.1 Funcionalidades de los elementos de la UTRAN	34
2.6.2 Interfaces abiertas de la red UMTS.....	36
2.7. INTERFAZ DE RADIO WCDMA.....	38
2.7.1 Principales características de WCDMA	39
2.7.2 Ancho de Banda de la interfaz WCDMA	41
2.7.3 Esquemas Duplex empleados en WCDMA.....	41
2.8. CALIDAD DE SERVICIO EN REDES UMTS.....	42
2.8.1 Definición de QoS.....	42
2.8.2 Clases de QoS en las redes UMTS	44
2.9. INTRODUCCIÓN A HSPA	46
2.9.1 Introducción.....	46
2.9.2 Característica de HSDPA	47
2.9.3 Característica de HSUPA	49
 CAPÍTULO III	 50
 GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE ANTENAS DISTRIBUIDAS Y DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS	 50
3.1. INTRODUCCIÓN.....	50
3.2. SOLUCIONES PARA AMBIENTES <i>INDOOR</i>	50
3.2.1 Cobertura con Macroceldas.....	51
3.2.2 Cobertura con Microceldas.....	52
3.2.3 Cobertura con repetidores.....	52
3.2.4 Cobertura con Sistema de antenas distribuidas (DAS)	53
3.2.5 Cobertura con Picoceldas	54
3.2.6 Cobertura con Femtoceldas.....	55
3.3. COMPARACIÓN ENTRE LAS DIFERENTES TÉCNICAS DE COBERTURA <i>INDOOR</i>	55
3.3.1 DAS Pasivo vs DAS Activo	57
3.4. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS Y COMPONENTES DEL DAS PASIVO	58
3.4.1 Cable coaxial	59
3.4.2 Divisores (<i>Splitters</i>)	61
3.4.3 Acoplador (<i>Tap / Coupler</i>).....	62
3.4.4 Filtros.	63
3.4.5 Antenas para interiores	64
3.4.6 Conectores.....	67
3.4.7 Nodo B / Estación Base	67
 CAPÍTULO IV	 69

MONITORIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INTERFAZ AIRE UMTS ACTUAL EN EL INTERIOR DEL C.C.I.	69
4.1. INTRODUCCIÓN	69
4.2. PARÁMETROS DE ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES REALIZADAS	70
4.2.1 Parámetros de QoS relacionados con la disponibilidad y accesibilidad de la red.....	70
4.2.2 Parámetros de QoS relacionados con la accesibilidad, integridad y retención del servicio	73
4.3. DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA EL MONITOREO DE LOS PARÁMETROS DE QoS EN LA INTERFAZ DE AIRE UMTS	75
4.3.1 Metodología de las mediciones de cobertura	76
4.3.2 Herramientas de monitoreo y análisis	78
4.4. ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS	78
4.4.1 Área de cobertura UMTS en la Planta Baja.....	80
4.4.2 Área de cobertura UMTS en el Piso 1	83
4.4.3 Área de cobertura UMTS en el Piso 2	85
CAPÍTULO V	89
DISEÑO DEL SISTEMA DISTRIBUIDO DE ANTENAS PARA EL C.C.I.	89
5.1. INTRODUCCIÓN	89
5.2. DISEÑO PROPUESTO	89
5.2.1 Esquema General del Sistema.....	90
5.2.2 Equipos utilizados	90
5.3. UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN BASE	91
5.4. POSICIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS PASIVOS Y ANTENAS	92
5.4.1 Piso 2.....	93
5.4.2 Piso 1.....	95
5.4.3 Planta Baja	97
5.5. ESQUEMA UNIFILAR Y CÁLCULOS DE INGENIERÍA	99
CAPÍTULO VI	102
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	102
6.1. CONCLUSIONES	102
6.2. RECOMENDACIONES	103
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla.1.1. Operadoras del Servicio Móvil Avanzado (SMA).....	6
Tabla.1.2. Líneas activas del SMA por operadora y tecnología. (Enero 2010 – Junio 2012)	16
Tabla.2.1. Asignación de frecuencias alrededor de 2GHz	25
Tabla.2.2. Interfaces UMTS	38
Tabla.2.3. Clases de calidad de servicio en UMTS.....	46
Tabla.3.1. Comparación entre Picoceldas y Femtoceldas	56
Tabla.3.2. Comparación entre las diferentes técnicas de cobertura	57
Tabla.3.3. Comparación entre los diferentes DAS	58
Tabla.3.4. Atenuación típica del cable coaxial	60
Tabla.3.5. Típicos Taps y pérdidas de acoplamiento	63
Tabla.4.1. Tipo de pruebas realizadas.....	78
Tabla.4.2. Eventos del UE en modo conectado (Llamada corta).....	79
Tabla.5.1. Potencias de Salida en función de la Planta	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1.1. Estructura organizacional del sector de las telecomunicaciones.	3
Figura. 1.2. Bandas de frecuencias concesionadas para el SMA en el Ecuador.	11
Figura. 1.3. Crecimiento de Abonados de Telefonía Móvil. 2010-2012.	12
Figura. 1.4. Distribución del mercado de telefonía móvil, por operador. Junio 2012.	14
Figura. 1.5. Distribución del mercado de telefonía móvil, por tipo de abonado. Junio 2012.	14
Figura. 1.6. Tecnologías de acceso del SMA en Ecuador. Junio 2012.	15
Figura. 1.7. Número de líneas activas por tecnología de acceso, por operador. Junio 2012.	15
Figura. 1.8. Número de Radiobases instaladas a nivel nacional a Marzo 2012 por las operadoras CONECEL S.A. y OTECEL S.A.	17
Figura. 1.9. Crecimiento de Abonados UMTS. 2010-2012.	18
Figura. 1.10. Proyección de la demanda para las operadoras CONECEL S.A. y OTECEL S.A.	18
Figura. 1.11. Radiobases del SMA de CONECEL S.A a nivel nacional hasta Marzo 2012.	20
Figura. 1.12. Radiobases del SMA de OTECEL S.A a nivel nacional hasta Marzo 2012.	21
Figura. 2.1. (3GPP) Proyecto de Asociación para la Tercera Generación–Organismos de estandarización para UMTS	24
Figura. 2.2. Asignación espectral para IMT-2000 con una perspectiva global.	26
Figura. 2.3. Evolución de 2G hacia 3G.	27
Figura. 2.4. Tasas de velocidad de acuerdo al entorno.	31
Figura. 2.5. Arquitectura de la red UMTS.	32
Figura. 2.6. Equipo de usuario.	34
Figura. 2.7. Arquitectura UTRAN.	35
Figura. 2.8. Diferencias entre Soft y Softer Handover.	40
Figura. 2.9. Portadora WCDMA y sus dimensiones.	41
Figura. 2.10. Modo de operación FDD.	41
Figura. 2.11. Modo de operación TDD.	42
Figura. 2.12. Relación entre la satisfacción del cliente, calidad de servicio y rendimiento de la red.	43
Figura. 2.13. Fases del uso del servicio desde el punto de vista del cliente.	43
Figura. 2.14. Clases de QoS de UMTS en relación del retardo con la tasa de error	45
Figura. 2.15. Mejoras en una red UMTS/HSDPA	48
Figura. 3.1. Cobertura indoor con Macrocelas.	51

Figura. 3.2. Cobertura indoor con Microcledas, RBS montada sobre un poste.	52
Figura. 3.3. Cobertura mediante repetidores.	53
Figura. 3.4. Cobertura <i>indoor</i> con DAS a través de RBSs.	54
Figura. 3.5. Arquitectura general de las femtoceldas.	55
Figura. 3.6. Ejemplo de las partes más comunes de un DAS pasivo con cable coaxial.	59
Figura. 3.7. Cable coaxial.	60
Figura. 3.8. Tipos de <i>splitters</i>	61
Figura. 3.9. Distribución de potencia para un <i>splitter</i> 1:3.	62
Figura. 3.10. (a) <i>Tap</i> ajustable, (b) <i>Tap</i> fijo.	62
Figura. 3.11. Configuraciones típicas de acopladores en un sistema de antena distribuida.	63
Figura. 3.12. Tipos de filtros para separar bandas de frecuencias.	64
Figura. 3.13. Ancho de Haz.	66
Figura. 3.14. Tipos de antenas para interiores: (a) antena Omnidireccional, (b) antena directiva ...	66
Figura. 3.15. Conector tipo N macho.	67
Figura. 4.1. Aspectos de QoS y sus correspondientes parámetros de QoS.	70
Figura. 4.2. Niveles de RSCP.	72
Figura. 4.3. Niveles de Ec/No.	73
Figura. 4.4. Proceso de reselecti{on del UE en modo <i>Idle</i>	77
Figura. 4.5. Niveles de RSCP del UE en modo <i>Idle</i> en día normal en PB.	81
Figura. 4.6. Niveles de Ec/No del UE en modo <i>Idle</i> en día normal en PB.	81
Figura. 4.7. Niveles de RSCP del UE en modo <i>Idle</i> en día atípico en PB.	82
Figura. 4.8. Niveles de Ec/No del UE en modo <i>Idle</i> en día atípico en PB.	82
Figura. 4.9. Niveles de RSCP del UE en modo <i>Idle</i> en día normal en el Piso 1.	83
Figura. 4.10. Niveles de Ec/No del UE en modo <i>Idle</i> en día normal en el Piso 1.	83
Figura. 4.11. Niveles de RSCP del UE en modo <i>Idle</i> en día atípico en el Piso 1.	84
Figura. 4.12. Niveles de Ec/No del UE en modo <i>Idle</i> en día atípico en el Piso 1.	84
Figura. 4.13. Niveles de RSCP del UE en modo <i>Idle</i> en día atípico en el Piso 1.	85
Figura. 4.14. Niveles de RSCP del UE en modo <i>Idle</i> en día normal en el Piso 2.	86
Figura. 4.15. Niveles de Ec/No del UE en modo <i>Idle</i> en día normal en el Piso 2.	86
Figura. 4.16. Niveles de RSCP del UE en modo <i>Idle</i> en día atípico en el Piso 2.	87
Figura. 4.17. Niveles de Ec/No del UE en modo <i>Idle</i> en día atípico en el Piso 2.	87
Figura. 5.1. Esquema general del sistema.	90
Figura. 5.2. Ejemplo de antena omnidireccional montada en cielo falso.	91
Figura. 5.3. Ubicación de los equipos de la estación base UMTS.	92
Figura. 5.4. Localización del ducto para la distribución del cable.	92
Figura. 5.5. Esquema Principal.	93

Figura. 5.6. Esquema de cableado Piso 2.....	94
Figura. 5.7. Resultado de potencias del piso 2 sin atenuación del cable.....	95
Figura. 5.8. Esquema de cableado Piso 1	96
Figura. 5.9. Resultado de potencias del piso 1 sin atenuación del cable.....	97
Figura. 5.10. Esquema de cableado Planta Baja.....	98
Figura. 5.11. Resultado de potencias de la PB sin atenuación del cable.....	99
Figura. 5.12. Esquema Unifilar	100

ÍNDICE DE HOJAS TÉCNICAS

ANEXO A ESTACIÓN BASE ERICSSON RBS3308.....	113
ANEXO B ELEMENTOS PASIVOS.....	116
ANEXO C ANTENAS OMNIDIRECCIONALES Y DIRECCIONALES.....	123

GLOSARIO

1G	<i>First Generation</i>
2G	<i>Second Generation</i>
2.5G	Evolución de los sistemas móviles celulares pertenecientes a 2G
3G	<i>Third Generation</i>
3GPP	<i>Third Generation Partnership Project</i>
AMPS	<i>Advanced Mobile Phone System</i>
ANSI	<i>American National Standard Institute</i>
AIRB	<i>Association of Radio Industries and Businesses</i>
AHCIET	Asociación Iberoamericana de Centros de Investigación y Empresas de Telecomunicaciones
BBU	<i>Baseband Unit</i>
BSC	<i>Base Station Controller</i>
BSS	<i>Base Station Subsystem</i>
BTS	<i>Base Transceiver Station (Base Station)</i>
C.C.I.	Centro Comercial Iñaquito
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CNT	Corporación Nacional de Telecomunicaciones
CN	<i>Core Network</i>
CONATEL	Consejo Nacional de Telecomunicaciones.
CONECCEL	Consorcio Ecuatoriano de Telecomunicaciones
CPICH	<i>Common Pilot Channel</i>
CPRI	<i>Common Public Radio Interface</i>
CS	<i>Circuit Switched</i>
CWTS	<i>China Wireless Telecommunication Standard group</i>
DAS	<i>Distributed Antenna System</i>
D-AMPS	<i>Digital-Advanced Mobile Phone System</i>
DBS	<i>Distributed Base Station</i>
dB	<i>Decibel</i>

dB<i>i</i>	<i>Decibel Isotropic</i>
dB<i>m</i>	<i>Decibel referenced 1 milliwatt</i>
DSSS	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>
EDGE	<i>Enhanced Data rates for GSM of Evolution</i>
EQA	Notas nacionales del Plan Nacional de Frecuencias
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
EV-DO	<i>Evolution Data Optimized or Data Only</i>
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i>
FODETEL	Fondo para el Desarrollo de Telecomunicaciones.
GPRS	<i>General Packet Radio</i>
GSM	<i>Global System for Mobile communications</i>
GRAN	<i>GSM Radio Access Network</i>
HSDPA	<i>High Speed Downlink Packet Acces</i>
HSPA	<i>High Speed Packet Access (HSDPA and HSUPA)</i>
HSPA+	<i>High Speed Packet Acces Plus</i>
HSUPA	<i>High Speed Uplink Packet Acces</i>
HS-DSCH	<i>High-Speed Downlink Shared Channel</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
IMT	<i>International Mobile Telecommunication</i>
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
IS-136	<i>one of the 2nd generation systems, mainly in Americas</i>
IS-95	<i>one of the 2nd generation systems, mainly in Americas and in Korea</i>
ITU	Unión Internacional de Telecomunicaciones.
MINTEL	Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información.
MHz	Mega Hertz
MSC	<i>Mobile Switch Center</i>
MSS	<i>Mobile Satellite Spectrum</i>
Nodo B	Radio Base de la Arquitectura UMTS
O&M	<i>Operation and Maintenance</i>
OMV	Operador Móvil Virtual
OTECCEL	Operadora Telefónica Movistar

OHG	<i>Operators Harmonization Group</i>
PCS	<i>Persona communication systems, 2nd generation cellular systems mainly in Americas, operating partly on IMT-2000 band</i>
PDP	<i>Packet Data Protocol</i>
PLMN	<i>Public Land Mobile Network</i>
PNF	Plan Nacional de Frecuencias
PoC	<i>Push to Talk Over Cellular</i>
PS	<i>Packet Switched</i>
PTT	<i>Push to talk – Pulsa para hablar</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>
RSCP	<i>Received Signal Code Power</i>
RSMA	Redes Públicas de Telecomunicaciones.
RNC	<i>Radio Network Controller</i>
RNS	<i>Radio Network Sub-system</i>
RRU	<i>Radio Remote Unit</i>
SGSN	<i>Server GPRS Support Node</i>
SENATEL	Secretaría Nacional de Telecomunicaciones.
SMA	Servicio Móvil Avanzado
SMS	<i>Short Message Service</i>
SUPERTEL	Superintendencia Nacional de Telecomunicaciones.
SWR	<i>Standing Wave Ratio</i>
TELECSA	Telecomunicaciones Móviles del Ecuador
TEMS	<i>Test Mobile System</i>
TDD	<i>Time Division Duplex</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
TIC	Tecnologías de Información y Comunicación
T1	<i>Standards Committee T1 Telecommunications</i>
TTA	<i>Telecommunications Technology Association</i>
TTC	<i>Telecommunication Technology Committee</i>
UE	<i>User Equipment</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
USIM	<i>Universal Subscriber Identity Module</i>

UTRAN	<i>UMTS Terrestrial Radio Access Network</i>
VHE	<i>Virtual Home Environment</i>
WAP	<i>Wireless Application Protocol</i>
WARC	<i>World Administrative Radio Conference</i>
W-CDMA	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i>
WRC-2000	<i>World Radiocommunication Conference 2000</i>
WWW	<i>World-Wide Web</i>

CAPÍTULO I

SITUACIÓN ACTUAL DE LAS OPERADORAS DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO EN EL ECUADOR

1.1 INTRODUCCIÓN

El servicio de telefonía móvil ha evolucionado significativamente, en sus inicios el bajo ancho de banda espectral asignado para las comunicaciones móviles y el alto costo retardó su crecimiento. Hoy en día los avances tecnológicos han influido definitivamente en la reducción de costos de uso de telefonía celular, acompañando a esto el soporte de mayor cantidad de servicios de telecomunicaciones, con lo que han generado el surgimiento de una tendencia mundial conocida como tercera generación (3G), la cual completará el proceso de globalización de las comunicaciones móviles a través de la integración de los estándares regionales y permitirá la entrega de información a los usuarios independientemente del momento y del lugar.

Nuestro país actualmente se encuentra explotando los servicios que se pueden proporcionar a través de tecnologías de tercera generación, ya que con el nuevo contrato firmado a finales del año 2008, las operadoras adquirieron la concesión para ofrecer el Servicio Móvil Avanzado (SMA)¹, y por ello no han escatimado en efectuar las inversiones en la infraestructura de su red que permitan el acceso a los servicios 3G.

El desarrollo del presente capítulo tiene como finalidad dar a conocer el estado actual del Servicio Móvil Avanzado en Ecuador, iniciando con aspectos generales de los organismos de regulación y control de las telecomunicaciones. Seguidamente del detalle de las bandas de frecuencias de cada una de las operadoras que se encuentran operativas en Ecuador.

¹ SMA: es 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.[1]

Posteriormente se presenta un breve análisis concerniente a los aspectos del mercado del SMA en el territorio ecuatoriano, para finalmente concluir con un estudio de la infraestructura de las redes UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) locales.

1.2 MARCO REGULATORIO DE TELECOMUNICACIONES EN ECUADOR

El avance tecnológico que trae consigo el desarrollo de aplicaciones cada vez más sofisticadas, demanda una constante actualización del marco regulatorio, el cual hace referencia esencial al conjunto de normas, leyes, reglamentos, acuerdos internacionales, decretos ejecutivos e innumerables resoluciones.

El marco regulatorio del sector de las telecomunicaciones en el Ecuador se fundamenta con la importancia, complejidad, magnitud, tecnología y especialidad de los servicios de telecomunicaciones, de manera que se pueda desarrollar dicha actividad con criterios de gestión empresarial y beneficio social.

Por mandato de la Ley para la Transformación Económica del Ecuador en el año 2000 el país entró a la libre competencia de los servicios de telecomunicaciones, plasmada en la reforma del artículo 38 de la Ley Especial de Telecomunicaciones, dando inicio a un proceso en el cual se encuentran involucrados varios organismos en el sector, con la responsabilidad de llevarlo adelante, como una oportunidad de proyección al desarrollo dentro del mundo moderno.

1.2.1 Organismos de Regulación y Control Nacional

En el Ecuador las entidades regulatorias están organizadas inicialmente por el MINTEL (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información), de aquí parten los primeros órganos de regulación y control: CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones) y SENATEL (Secretaría Nacional de Telecomunicaciones), como se indica en la figura. 1.1. Además se debe nombrar al único ente autónomo encargado del control de las telecomunicaciones del país, la SUPERTEL (Superintendencia de Telecomunicaciones).



Figura. 1.1. Estructura organizacional del sector de las telecomunicaciones [2]

1.2.1.1 MINTEL

El Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información se creó el 13 de agosto del 2009 por el Presidente de la República, mediante Decreto Ejecutivo N°8.

Esta cartera de Estado, tiene como misión vigilar, auditar, intervenir y controlar técnicamente la prestación de los servicios de telecomunicaciones, radiodifusión, televisión y uso del espectro radioeléctrico, para que se proporcionen con eficiencia, responsabilidad, continuidad, calidad, transparencia y equidad. De esta manera, se pretende fomentar los derechos de los usuarios a través de la participación ciudadana, de conformidad al ordenamiento jurídico y el interés general. [3]

También es responsabilidad del MINTEL la administración del Fondo para el Desarrollo de Telecomunicaciones en Áreas Rurales y Urbano Marginales (FODETEL). El Fondo cuenta con recursos que se destinan exclusivamente a financiar los proyectos que formen parte del servicio universal. Para el financiamiento de este Fondo, todos los prestadores de servicios de telecomunicaciones con título habilitante aportan “una contribución anual del uno por ciento de los ingresos facturados y percibidos por sus servicios del año inmediato anterior”.²

² Fuente: Artículo 31, Reglamento para la prestación del servicio móvil avanzado, aprobado mediante Resolución No.498-25-CONATEL-2002

1.2.1.2 CONATEL

El Consejo Nacional de Telecomunicaciones es el organismo encargado de hacer cumplir las políticas de Estado; entregar concesiones y permisos para la prestación de servicios de telecomunicaciones y utilización del espectro radioeléctrico; y, emitir las normas técnicas para la operación y prestación de los servicios de telecomunicaciones por parte de las empresas públicas y privadas. Lo preside el titular del MINTEL.

1.2.1.3 SENATEL

La Secretaría Nacional de Telecomunicaciones es el organismo encargado de promover el desarrollo armónico del sector de las telecomunicaciones, radio, televisión y las tecnologías de la información y comunicación (TIC), mediante la administración y regulación eficiente del espectro radioeléctrico y los servicios, así como también de la ejecución de la política de telecomunicaciones en el país. Entre sus principales funciones están:

- Cumplir y hacer cumplir las Resoluciones del CONATEL.
- Ejercer la gestión y administración del espectro radioeléctrico.
- Elaborar el Plan Nacional de Desarrollo de las Telecomunicaciones.
- Elaborar el Plan de Frecuencias y de uso del espectro radioeléctrico.
- Elaborar las normas de regulación y control de equipos y servicios de telecomunicaciones.
- Elaborar los Planes Técnicos Fundamentales para la operación de los servicios.
- Conocer los pliegos tarifarios de los servicios de telecomunicaciones abiertos a la correspondencia pública propuestos por los operadores.
- Suscribir los contratos de concesión para la explotación de servicios de telecomunicaciones.
- Suscribir los contratos de autorización y/o concesión para el uso del espectro radioeléctrico; y, otorgar la autorización necesaria para la interconexión de las redes. Su titular es nombrado por el Ejecutivo.

1.2.1.4 SUPERTEL

La Superintendencia Nacional de Telecomunicaciones es el organismo de control. Entre sus funciones están:

- Control y monitoreo del espectro radioeléctrico.
- Control de los operadores que exploten servicios de telecomunicaciones.
- Supervisar el cumplimiento de los contratos de concesión para la explotación de los servicios de telecomunicaciones.
- Supervisar el cumplimiento de las normas de homologación y regulación.
- Controlar la aplicación de los pliegos tarifarios aprobados.
- Controlar que el mercado de las telecomunicaciones se desarrolle en un marco de libre competencia, con las excepciones señaladas en esta Ley.
- Juzgar a las empresas que incurran en las infracciones señaladas en la Ley y aplicar las sanciones en los casos que correspondan.

1.3 OPERADORAS DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO

El Servicio Móvil Avanzado hace referencia a una serie de servicios, entre ellos está: la telefonía móvil, SMS, MMS, video telefonía, PTT (*Push to talk*) o PoC (*Push to Talk Over Cellular*), internet móvil, correo electrónico, televisión móvil, etc. Éstos no son todos los servicios que se pueden proveer, sino algunos de ellos, puesto que el rápido desarrollo tecnológico trae consigo nuevas posibilidades. Se puede aseverar, sin embargo, que dichos servicios están relacionados con lo que son datos, que es la tendencia que ha tenido el mundo de las telecomunicaciones. Justamente, éste es un tipo de servicio que las operadoras de SMA se encaminan, enfocándose a que la entrega y envío de dicha información sea de manera segura y rápida.

Actualmente existen tres empresas que prestan el SMA en el Ecuador, el cual se desarrolla bajo un régimen de libre competencia, con cobertura nacional, tanto en áreas rurales como en urbano marginales. En la Tabla. 1.1 se detallan las operadoras del SMA:

Tabla. 1.1. Operadoras del Servicio Móvil Avanzado (SMA)

OPERADORA	SERVICIO	ÁREA DE CONCESIÓN	FECHA DEL CONTRATO DE CONCESIÓN
CONECEL S.A. (CLARO)	Concesión de: <ul style="list-style-type: none"> • Servicio Móvil Avanzado • Servicio Telefónico de Larga Distancia Internacional • Bandas de Frecuencias Esenciales. 	Nacional	26-Ago-2008
OTECCEL S.A. (MOVISTAR)	Concesión de: <ul style="list-style-type: none"> • Servicio Móvil Avanzado • Servicio Telefónico de Larga Distancia Internacional • Bandas de Frecuencias Esenciales. 	Nacional	20-Nov- 2008
CNT EP (ALEGRO)	Concesión de: <ul style="list-style-type: none"> • Servicio Móvil Avanzado 	Nacional	03-Abril-2003

La concesión para la prestación del Servicio Móvil Avanzado es otorgada a las operadoras por la SENATEL, previa autorización del CONATEL y tiene una duración de 15 años.

Estas concesionarios operan bajo diversas tecnologías para poder brindar el SMA, e incluso se encuentran realizando mejoras tecnológicas para ofrecer todos los servicios que le sean posibles.

1.3.1 CONECEL S. A.

El Consorcio Ecuatoriano de Telecomunicaciones S.A., más conocido como Claro, pertenece a la multinacional mexicana América Móvil, obtuvo la autorización para prestar el Servicio Móvil Avanzado el 26 de agosto de 2008, luego de haber finalizado la concesión para prestar el servicio de telefonía móvil celular iniciada el 26 de agosto de 1993.

Inició sus operaciones con una plataforma de tecnología analógica basada en el estándar norteamericano de Primera Generación (1G) AMPS (*Advanced Mobile Phone System*), en el año de 1994, la cual solo permitía comunicaciones de voz.

A finales de 1997 e inicios de 1998, se incorpora el uso de tecnología digital de Segunda Generación (2G), denominada D-AMPS (*Digital-Advanced Mobile Phone System*), basada en la interfaz radioeléctrica TDMA (*Time Division Multiple Access*), presentando mejoras frente a AMPS como mayor seguridad y calidad en las comunicaciones; además con la particularidad de que esta nueva tecnología fue desarrollada para mantener un funcionamiento dual, esto es, permitiendo la coexistencia con la tecnología AMPS, por lo que comercialmente y técnicamente resultaba rentable, pues AMPS ya se encontraba ampliamente difundida en la geografía nacional.

Estas tecnologías se mantienen operativas hasta mediados del 2007, ya que se produjo una migración progresiva desde el 2003 hacia la tecnología mundial GSM (*Global System for Mobile communications*), operando en la banda de 850 MHz en Ecuador. Meses más tarde concluye con la instalación y configuración de la tecnología GPRS (*General Packet Radio Services*) y EDGE (*Enhanced Data rates for GSM of Evolution*), que permiten el uso de mensajes multimedia (MMS) y navegación en portales de internet para teléfonos celulares, WAP (*Wireless Application Protocol*). La capacidad de transmitir datos es superior que la proporcionada por GSM. Incluso a partir de 2004 se empieza a ofrecer el servicio de Internet móvil para computadoras mediante un modem, dando total movilidad a los usuarios de computadoras portátiles.

La tecnología 3G, UMTS, en 850 MHz es el siguiente gran paso que esta concesionaria da en busca de mejoras en sus servicios, se registran usuarios en esta red a partir de Diciembre del año 2008 según la SUPERTEL. En la actualidad, CONECEL S.A. trabaja con las tecnologías GSM (2G), UMTS (3G) y HSPA+ (3.5G).

1.3.2 OTECEL S. A.

Esta concesionaria conocida de forma comercial como Movistar, pertenece a la multinacional española Telefónica, obtuvo la autorización para prestar el Servicio Móvil Avanzado el 20 de noviembre de 2008, luego de haber finalizado la concesión para prestar el servicio de telefonía móvil celular, iniciada el 29 de noviembre de 1993 con el nombre de *Cellular Power*.

Al igual que CONECEL S.A., sale al mercado con la red analógica AMPS. Esta tecnología es la más primitiva (1G) y no permite envío de datos, ni siquiera identificación de llamadas. Posteriormente entre los años 1996 y 1997 ya con el nombre de BellSouth, lanza su primera red digital TDMA, brindando el servicio de *caller ID* o identificador de llamadas, ofreciendo una confidencialidad total a sus llamadas al ser codificadas en paquetes de datos. Más adelante ofrecería el servicio de recepción de mensajes de texto y el servicio de internet móvil.

A finales del año 2002 lanza la red CDMA (*Code Division Multiple Access*), ofreciendo nuevos modelos de teléfonos y campañas masivas de migración de clientes pospago a la nueva red, para descongestionar la saturada red de TDMA. Posteriormente en el año 2003 lanza la tecnología CDMA 2000 1X.

En diciembre del 2008 se comienza a retirar de operación las tecnologías AMPS y TDMA, ya que no experimentaron un desarrollo tecnológico como es el caso de GSM y CDMA. GSM inicia su operación en el 2005, en la banda de los 850 MHz y en este mismo año *BellSouth* deja de aparecer como nombre comercial para convertirse en Movistar.

En la actualidad, OTECEL S.A. trabaja con las tecnologías GSM/GPRS/EDGE, UMTS y HSPA+.

1.3.3 CNT EP (Ex TELECSA S.A)

La antigua compañía de Telecomunicaciones Móviles del Ecuador (TELECSA S.A.), cuyo nombre comercial es Alegro, fue creada por Andinatel S.A. y Pacifictel S.A. para prestar el servicio de telefonía móvil. Actualmente es una compañía filial de Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT EP), pertenece al Estado Ecuatoriano. Obtuvo la autorización para prestar el Servicio Móvil Avanzado el 3 de abril de 2003, la cual tiene una duración de 15 años.

Inició sus operaciones con la tecnología CDMA 1x EV-DO (*Evolution Data Optimized or Data Only*) en 1900 MHz.

Años más tarde, en el año 2007, debido al éxito que obtuvo la tecnología GSM en la región, llevó a TELECSA a ofrecer servicios GSM sobre la red de Movistar, luego del previo acuerdo entre estas dos concesionarias, convirtiéndose así en un Operador Móvil Virtual (OMV). De esta manera no incurrió en los altos costos de montar una red paralela más aún cuando se estimaba que en los próximos años las redes GSM serían relevadas por redes de tercera generación.

Un Operador Móvil Virtual es una compañía de telefonía móvil que no posee una concesión de espectro de frecuencia, y por tanto carece de una red propia de radio. Para brindar el servicio debe recurrir a la cobertura de red de otra empresa que posea la concesión respectiva, con la que debe suscribir un acuerdo. En la actualidad, CNT EP trabaja con las tecnologías CDMA 2000 EV-DO y GSM.

1.4 BANDAS DE FRECUENCIAS ASIGNADAS AL SMA SEGÚN EL PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS DE ECUADOR

En el Ecuador el sector de las Telecomunicaciones se moderniza y organiza para el beneficio de la sociedad, por ello considerando que el espectro radioeléctrico es el recurso más importante para el suministro de los servicios inalámbricos avanzados y que además constituye un recurso esencial para el Estado, se ve en la necesidad de actualizar el Plan Nacional de Frecuencias (PNF), en el cual se establece la distribución del espectro radioeléctrico del país, acogándose a las recomendaciones propuestas en las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones, organizadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU).

El Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador, actualizado en Marzo del 2008, establece en la nota nacional EQA.85³ que las bandas de 698 – 806 MHz, 824 – 849 MHz, 869 – 894 MHz, 1710 – 2025 MHz, 2110 – 2200 MHz y 2500 – 2690 MHz, operan sistemas IMT (*International Mobile Telecommunication*), para los servicios FIJO y MÓVIL. [4]

³ Plan Nacional de Frecuencias, Ecuador 2012

El Sistema IMT se define, como el nombre raíz que engloba tanto a las IMT-2000 como las IMT-Avanzadas de forma colectiva, siendo el IMT-2000 el estándar global emitido por la Unión Internacional de telecomunicaciones para la estandarización de redes de tercera generación, definidas por un conjunto de recomendaciones que busca constituir un marco de carácter global en el sector de comunicaciones inalámbricas; y las IMT-Avanzadas conforme la ITU, son los sistemas móviles dotados de nuevas capacidades que superan las ofrecidas en IMT-2000, teniendo como objetivos los que se indican a continuación:

- Alto grado de uniformidad de funciones manteniendo al mismo tiempo la flexibilidad de admitir una amplia gama de servicios y aplicaciones.
- Capacidad de interoperabilidad con otros sistemas de acceso inalámbrico.
- Servicios móviles de alta calidad.
- Equipo de usuario de utilización en todo el mundo.
- Aplicaciones, servicios y equipos de fácil utilización.
- Capacidades de *roaming* mundial.
- 100 Mbit/s para alta movilidad y 1 Gbit/s para baja movilidad.

Acorde a las bandas de frecuencia que establece la nota EQA.85, le concierne dos bloques de frecuencias a las operadoras del SMA, como se indica en la figura. 1.2:

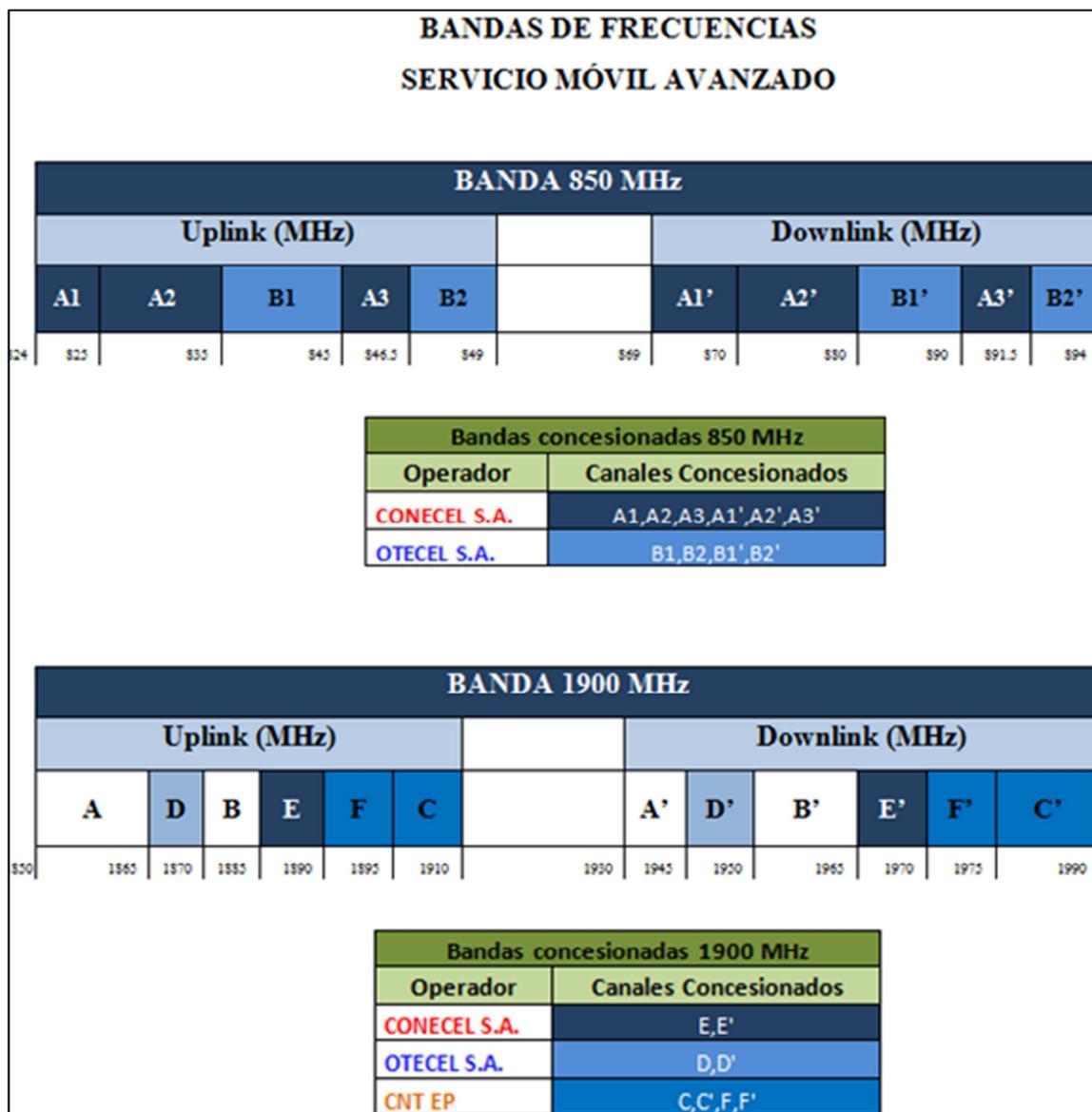


Figura. 1.2. Bandas de frecuencias concesionadas para el SMA en el Ecuador [5]

1.5 NÚMERO DE LÍNEAS ACTIVAS DEL SERVICIO MÓVIL AVANZADO

En los últimos años el mercado de las telecomunicaciones ha venido creciendo de forma sostenida y constante en el Ecuador, no solo en lo que se refiere a comunicación de voz sino también de acceso a internet.

El incremento del número de usuarios ha sido un ente fundamental para la demanda de nuevos y mejores servicios, que hoy en día son requeridos por la población como consecuencia del actual estilo de vida de la sociedad contemporánea. De esta manera la relación oferta-demanda en el mercado de las telecomunicaciones, ha impulsado su

desarrollo y crecimiento de forma tal que se ha consolidado como una de las principales actividades económicas del país.

1.5.1 Análisis por operador

Un importante indicador para el éxito comercial en el sector de las telecomunicaciones es el creciente mercado de los suscriptores de la telefonía móvil a nivel mundial, y nuestro país no es la excepción. En la figura. 1.3 se indica la evolución de las líneas activas del Servicio Móvil Avanzado prestados a través de terminales de usuario (CONECCEL S.A. - Claro), (OTECCEL S.A. - Movistar) y (CNT EP. - Alegro), estadísticas correspondientes hasta Junio del 2012.

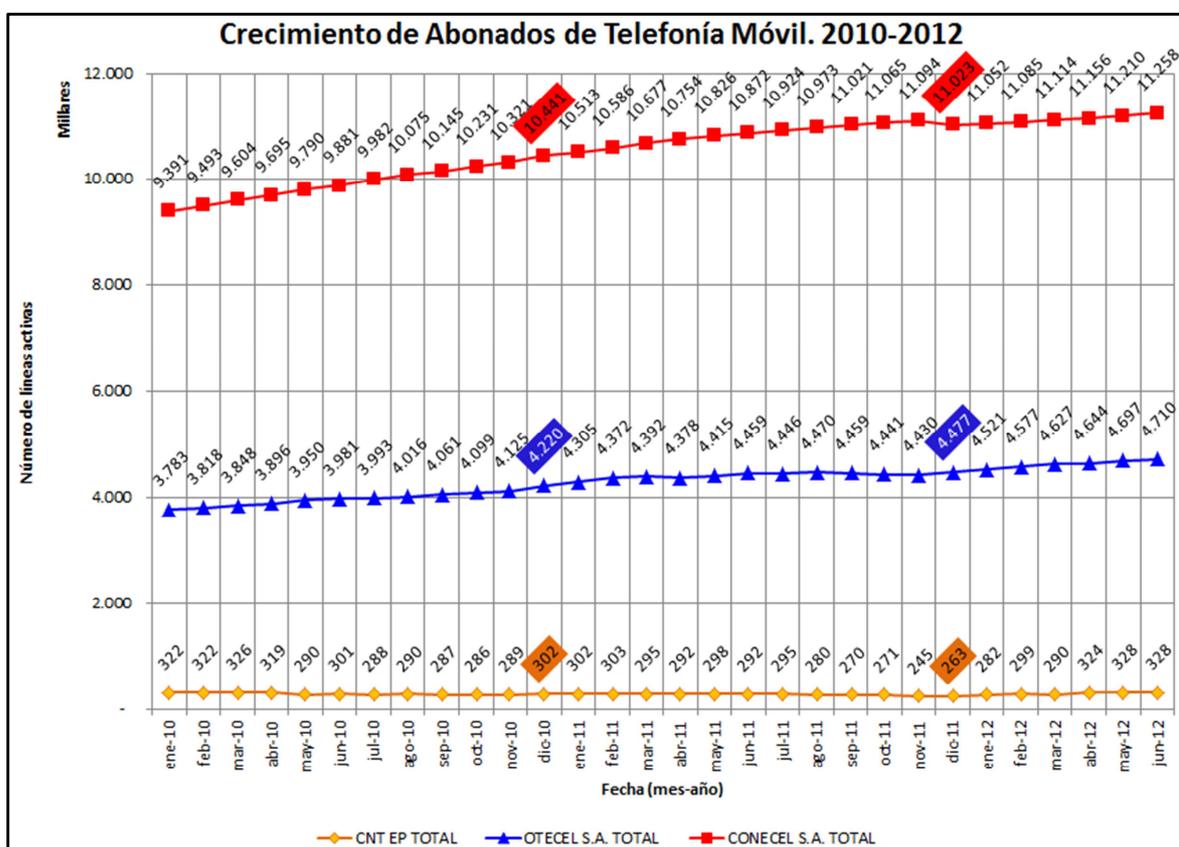


Figura. 1.3. Crecimiento de Abonados de Telefonía Móvil. 2010-2012 [6]

El mercado del servicio móvil avanzado ha tenido un crecimiento sostenido durante los últimos años; sin embargo, como se aprecia en la figura. 1.3, el número de usuarios de las operadoras CONECCEL S.A. (CLARO) y OTECEL S.A. (MOVISTAR) se ha

incrementado, mientras que el número de usuarios de la operadora CNT E.P. (ALEGRO) ha disminuido paulatinamente.

De acuerdo a estos datos estadísticos, hasta Junio del año 2012, se tiene como resultado un total de 16.296.668 líneas activas, tanto de voz como de datos. Así los niveles de penetración de la telefonía móvil en el país superan el 100 por ciento sobre el total de la población, considerando el número de habitantes del último censo realizado en la República del Ecuador el año 2010, en el cual indica que somos 14.483.499 habitantes.[7]

El índice de penetración del 100 por ciento no quiere decir que cada persona posea un celular, ni que toda la población tenga acceso al servicio. Sin embargo la penetración real del servicio sobrepasa el 50%, teniendo así que un 60.6% de los hogares del país cuenta con el servicio de telefonía móvil según datos del censo del 2010 otorgados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). [8]

En el mercado de la telefonía móvil celular la empresa CONECEL lidera este grupo, siendo una de las compañías telefónicas con el mayor número de abonados en el país. La distribución del mercado en telefonía móvil por operadora establece que Claro, nombre comercial de CONECEL, tiene un total de 11.258.131 usuarios de telefonía móvil, reportados hasta Junio del 2012, obteniendo el 69,08% del mercado en telefonía móvil.

La empresa OTECEL S. A. ha tenido un sostenido crecimiento en relación al número de usuarios de los servicios que presta, localizándose en segundo lugar en el mercado ecuatoriano. Hasta Junio del 2012, Movistar, según datos de la Superintendencia de Telecomunicaciones de Ecuador, tuvo 4.710.301, que corresponden al 28.90% del mercado móvil.

En último lugar se posiciona Alegro, empresa absorbida y fusionada por la Corporación Nacional de Telecomunicaciones, quién pertenece al Estado ecuatoriano. Hasta Junio del 2012, reportó un total de 328.236 abonados, que significan el 2.01% del mercado de telefonía móvil.

En la figura. 1.4 se indica la participación en el mercado ecuatoriano de las operadoras el SMA, estadísticas que corresponden hasta el mes de junio del 2012.

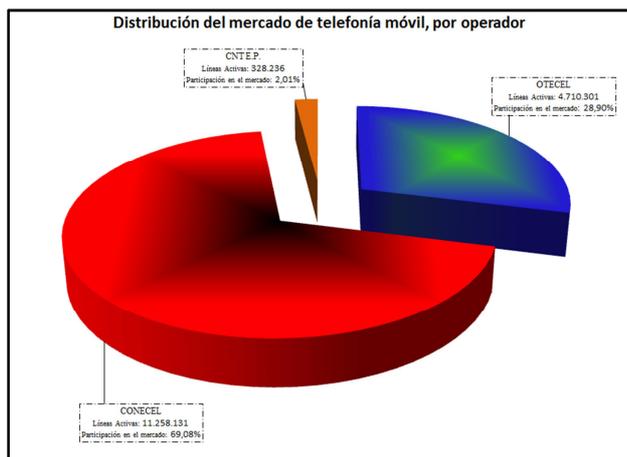


Figura. 1.4. Distribución del mercado de telefonía móvil, por operador. Junio 2012 [6]

El mercado móvil ecuatoriano está caracterizado por un alto uso del servicio en modalidad prepago. Las líneas correspondientes a esta modalidad comercial llegan a 13.608.816, mientras que bajo la modalidad de postpago llegan a 2.687.852 líneas celulares, lo cual representa el 83,5 por ciento y 16,49 por ciento respectivamente (figura. 1.5).

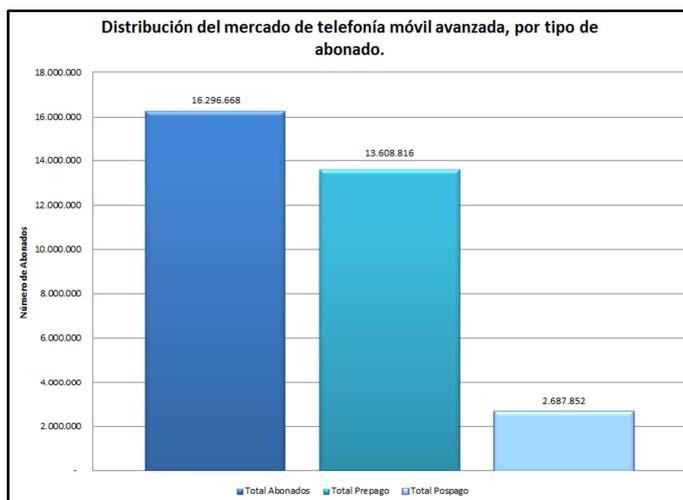


Figura. 1.5. Distribución del mercado de telefonía móvil, por tipo de abonado. Junio 2012[6]

1.5.2 Análisis por tecnología

Actualmente están presentes tres plataformas en el Ecuador, de las cuales la denominada GSM brinda el servicio al 89,46% de las líneas móviles del país, UMTS el 9,9%, CDMA el 0,51% y HSPA+⁴ el 0,11%, como se indica en la figura. 1.6.

⁴ Los datos de HSPA+ son de líneas activas de voz y datos.

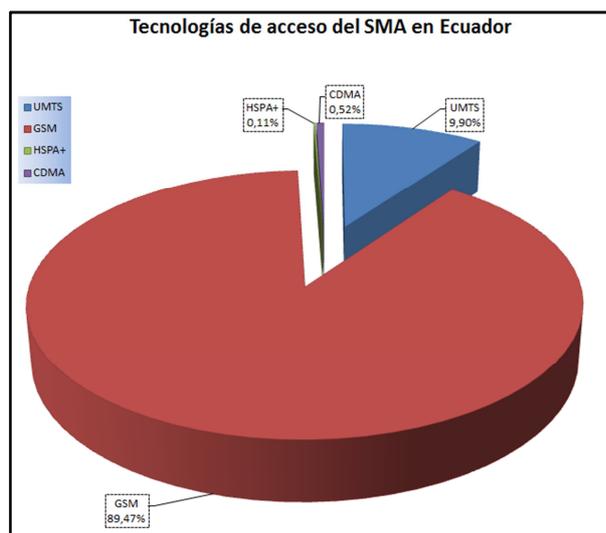


Figura. 1.6. Tecnologías de acceso del SMA en Ecuador. Junio 2012 [6]

En la figura. 1.7 se indica que en las redes de tercera generación, en concreto UMTS/HSPA, Claro es el dominador absoluto, con 1.363.647 abonados, que representan el 84,48 por ciento de este mercado, mientras que Movistar cuenta con 250.457 líneas, que constituyen un 15,51 por ciento. Alegro, por su parte, ha desplegado la tecnología, CDMA2000 EVDO como 3G, cabe indicar que el operador estatal actúa bajo el modelo de operador móvil virtual a través de un acuerdo con Movistar para utilizar su red GSM.

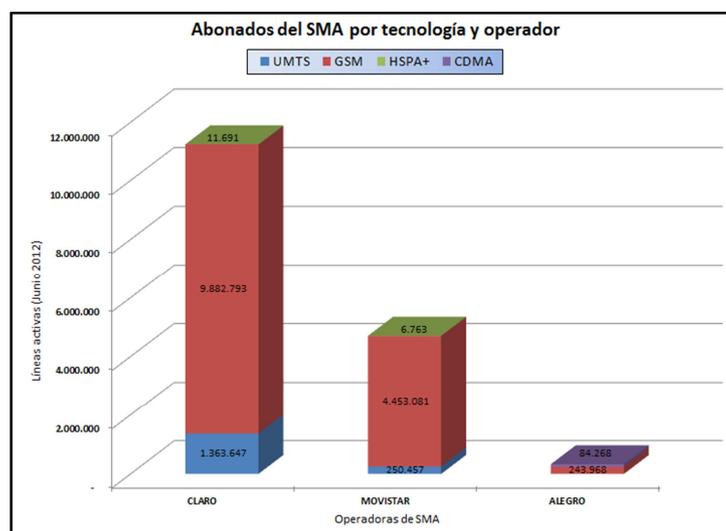


Figura. 1.7. Número de líneas activas por tecnología de acceso, por operador. Junio 2012 [6]

En la Tabla. 1.2 se detallan las líneas activas por cada operadora en cada una de sus plataformas desplegadas, desde Enero del 2010 hasta Junio del 2012.

Tabla. 1.2. Líneas activas del SMA por operadora y tecnología. (Enero 2010 – Junio 2012) [6]

FECHA	UMTS		GSM			HSPA+		CDMA	
	CONECEL	OTECEL	CONECEL	OTECEL	CNT EP	CONECEL	OTECEL	OTECEL	CNT EP
ene-10	759.892	35.785	8.630.754	3.386.661	162.465			360.294	163.255
feb-10	743.980	41.770	8.749.046	3.427.932	162.951			348.078	162.769
mar-10	832.116	50.803	8.772.290	3.464.284	162.951			333.032	162.769
abr-10	810.429	57.673	8.884.985	3.517.826	161.716			320.258	157.412
may-10	827.865	65.195	8.962.469	3.576.638	131.817			308.437	157.894
jun-10	829.949	73.682	9.051.034	3.609.925	146.842			297.343	154.156
jul-10	873.677	75.527	9.107.887	3.629.071	141.163			288.023	147.292
ago-10	881.174	76.477	9.193.911	3.661.886	140.202			277.900	149.935
sep-10	872.114	80.314	9.273.289	3.711.812	139.686			268.602	147.211
oct-10	898.316	83.939	9.332.232	3.756.971	142.645			258.474	143.190
nov-10	937.913	86.420	9.382.697	3.790.086	138.817			248.042	150.678
dic-10	1.051.309	91.824	9.390.152	3.901.308	152.275			226.685	149.301
ene-11	1.092.439	130.341	9.420.919	3.966.591	151.194			208.062	151.214
feb-11	1.080.253	143.175	9.505.464	4.040.806	157.283			188.472	145.993
mar-11	994.798	161.181	9.681.970	4.072.016	155.678			159.200	139.353
abr-11	1.011.119	166.552	9.743.210	4.066.838	155.996			144.397	135.761
may-11	1.123.607	165.072	9.702.466	4.117.144	169.749			133.266	128.375
jun-11	1.245.281	165.301	9.692.608	4.176.167	170.441			112.729	121.889
jul-11	1.219.338	182.537	9.704.773	4.156.998	174.695			106.263	119.980
ago-11	1.235.917	179.879	9.736.696	4.198.027	171.715			92.251	108.640
sep-11	1.209.571	192.474	9.811.597	4.198.629	165.875			68.243	104.147
oct-11	1.223.021	197.856	9.842.227	4.195.502	170.916			47.634	100.228
nov-11	1.269.240	204.833	9.824.409	4.191.947	151.772			33.538	93.103
dic-11	1.282.451	218.181	9.740.123	4.259.292	168.311				94.854
ene-12	1.288.373	226.508	9.763.319	4.294.184	187.023				94.505
feb-12	1.302.381	232.223	9.782.254	4.344.833	207.219				91.443
mar-12	1.313.458	233.621	9.793.934	4.393.764	207.529	6.655			82.326
abr-12	1.327.059	239.646	9.820.964	4.403.907	236.093	7.602			87.602
may-12	1.346.262	242.751	9.854.491	4.448.274	242.102	9.653	5.977		86.089
jun-12	1.363.647	250.457	9.882.793	4.453.081	243.968	11.691	6.763		84.268

* Períodos en los cuales estas empresas no proveen servicio con dicha tecnología.

1.6 ESTUDIO DE LAS REDES UMTS QUE DISPONEN LAS OPERADORAS CELULARES

Actualmente en el Ecuador las operadoras CONECEL S.A. y OTECEL S.A. disponen de infraestructura UMTS propia en sus redes a través de las cuales ofrecen a la población en general los servicios asociados al sistema UMTS.

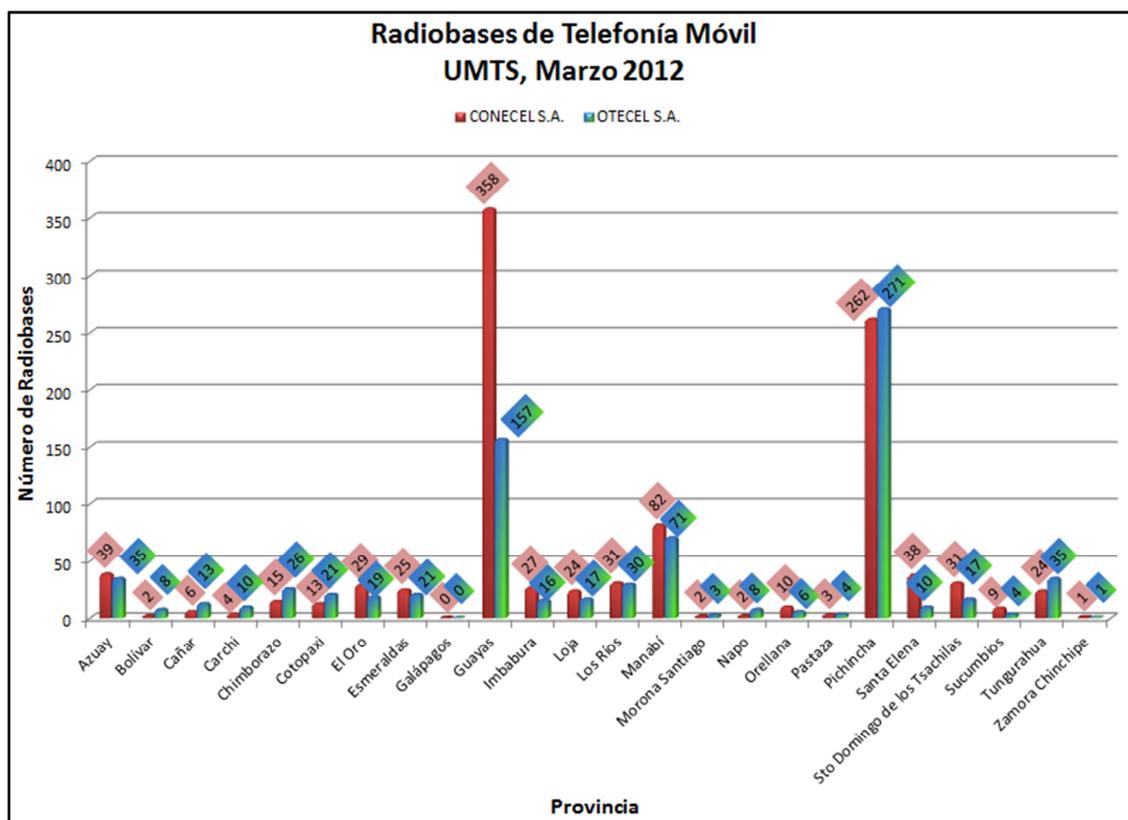


Figura. 1.8. Número de Radiobases instaladas a nivel nacional a Marzo 2012 por las operadoras CONECEL S.A. y OTECEL S.A. [6]

En la figura. 1.8 se observa el número de radiobases UMTS instaladas hasta principios del año 2012 por las dos operadoras celulares que operan bajo esta tecnología en Ecuador. Esta figura indica a su vez el alcance de cobertura UMTS a nivel nacional, destacándose las provincias de Guayas y Pichincha donde está concentrada la mayor cantidad de población económicamente activa. De la misma manera, se muestra que en la actualidad la operadora CONECEL S.A. (Claro) cuenta con una mayor infraestructura UMTS casi en la totalidad de provincias a nivel nacional.

En el Ecuador el potencial de crecimiento del SMA tanto en el área urbana como en la rural es enorme e imprevisible dado la participación de las operadoras de SMA en régimen de libre competencia. Los datos obtenidos hasta el mes de Junio del 2012 indican el crecimiento a nivel nacional del número de líneas activas para SMA sobre redes UMTS de las operadoras, CONECEL S.A. y OTECEL S.A (figura. 1.9).

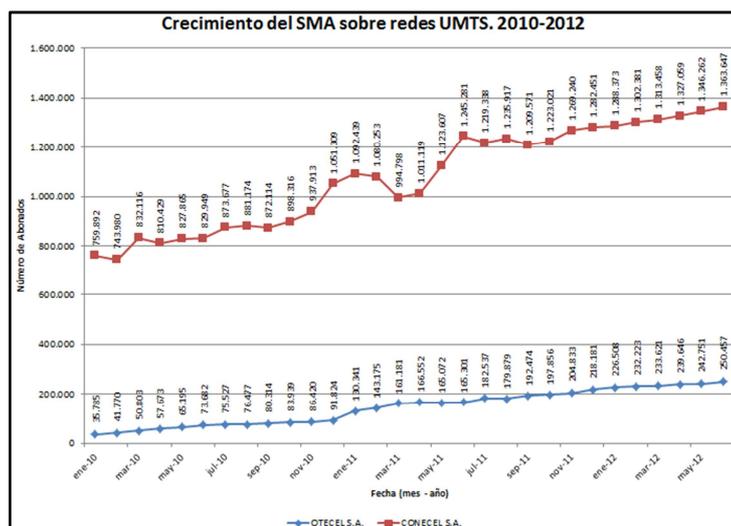


Figura. 1.9. Crecimiento de Abonados UMTS. 2010-2012. [6]

El crecimiento UMTS constituye un parámetro muy importante que permite cuantificar el porcentaje de la población nacional que en la actualidad puede acceder a los servicios que proporcionan las plataformas UMTS de las dos operadoras analizadas.

Se prevé que la demanda, dado el crecimiento de la capacidad de las redes de los proveedores de servicios aumente en los servicios de datos comparados con los de voz.

Si optamos por utilizar métodos perspectivos⁵ de la proyección de la demanda tendríamos que el servicio en los próximos años seguiría la tendencia que se indica en la figura. 1.10.

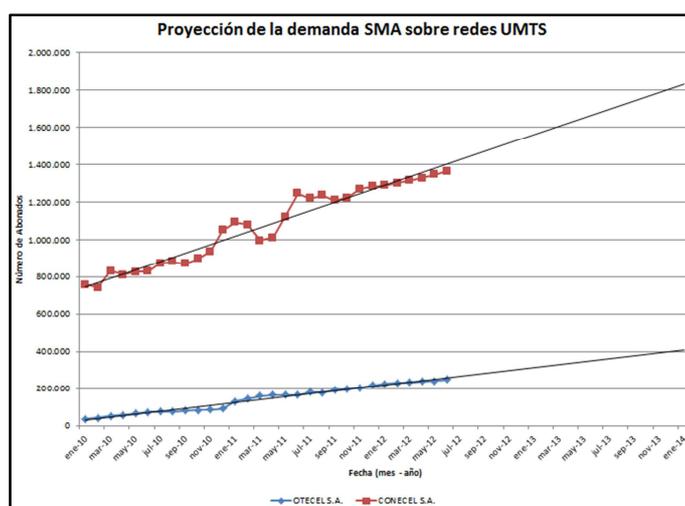


Figura. 1.10. Proyección de la demanda para las operadoras CONECEL S.A. y OTECEL S.A.

⁵ Los métodos perspectivos para el cálculo de una proyección son basados en la previsión de una situación futura, basándose en comportamiento de hechos pasados.

Los gráficos anteriores nos indican que las operadoras de mayor participación en el mercado de la telefonía móvil, CONECEL S.A. Y OTECEL S.A. han mantenido una tendencia lineal creciente, estimándose que el número de abonados para CONECEL S.A. hasta finales del año 2013 sobrepase el 1 millón ochocientos de abonados y para OTECEL S.A. se aproximen a 400.000 en sus redes UMTS.

1.6.1 Infraestructura instalada por CONECEL S.A.

De acuerdo a los datos proporcionados por el Consejo Nacional de Telecomunicaciones, en la actualidad, la empresa CONECEL S.A cuenta con el mayor número de abonados de telefonía celular sobre la plataforma UMTS a nivel nacional (ver figura 1.9).

Hay que destacar la evidente penetración que está teniendo el sistema UMTS con la instalación de una considerable cantidad de radiobases para esta tecnología y cuya proyección prevé llegar a la mayoría de zonas habitadas donde exista una demanda significativa de servicios de tercera generación.

En la figura. 1.11 se indica la cantidad de radiobases por tecnología que han sido instaladas por CONECEL S.A. durante el transcurso del año 2011-2012. En ella se puede constatar el crecimiento mensual del número de radiobases instaladas durante el año 2011 y principios del 2012 para los sistemas UMTS.

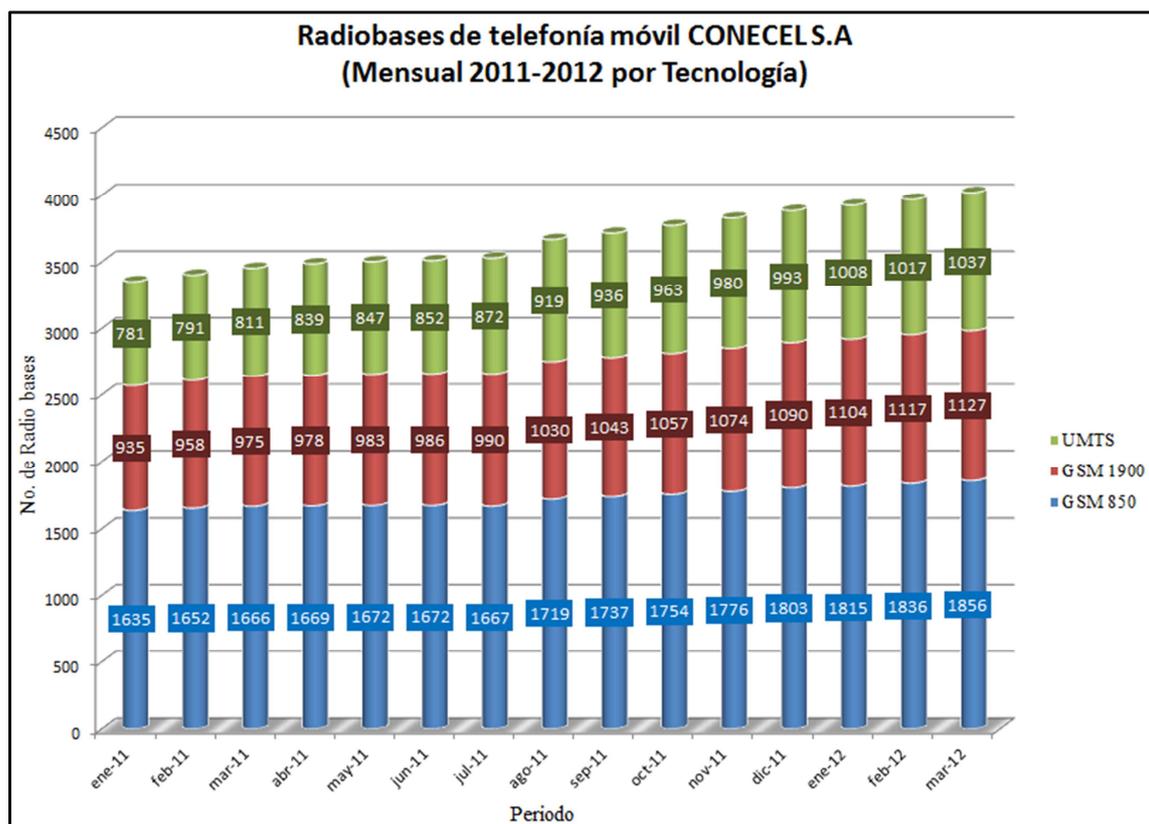


Figura. 1.11. Radiobases del SMA de CONECEL S.A a nivel nacional hasta Marzo 2012. [6]

1.6.2 Infraestructura instalada por OTECEL S.A.

Actualmente OTECEL S.A se ubica como la segunda operadora, en cuanto a número de usuarios UMTS se refiere, pues en el país cuenta con un número superior a los doscientos cincuenta mil usuarios (ver figura. 1.9).

En la figura. 1.12 se indica el número de radiobases instaladas por tecnología hasta el mes de Marzo del año 2012.

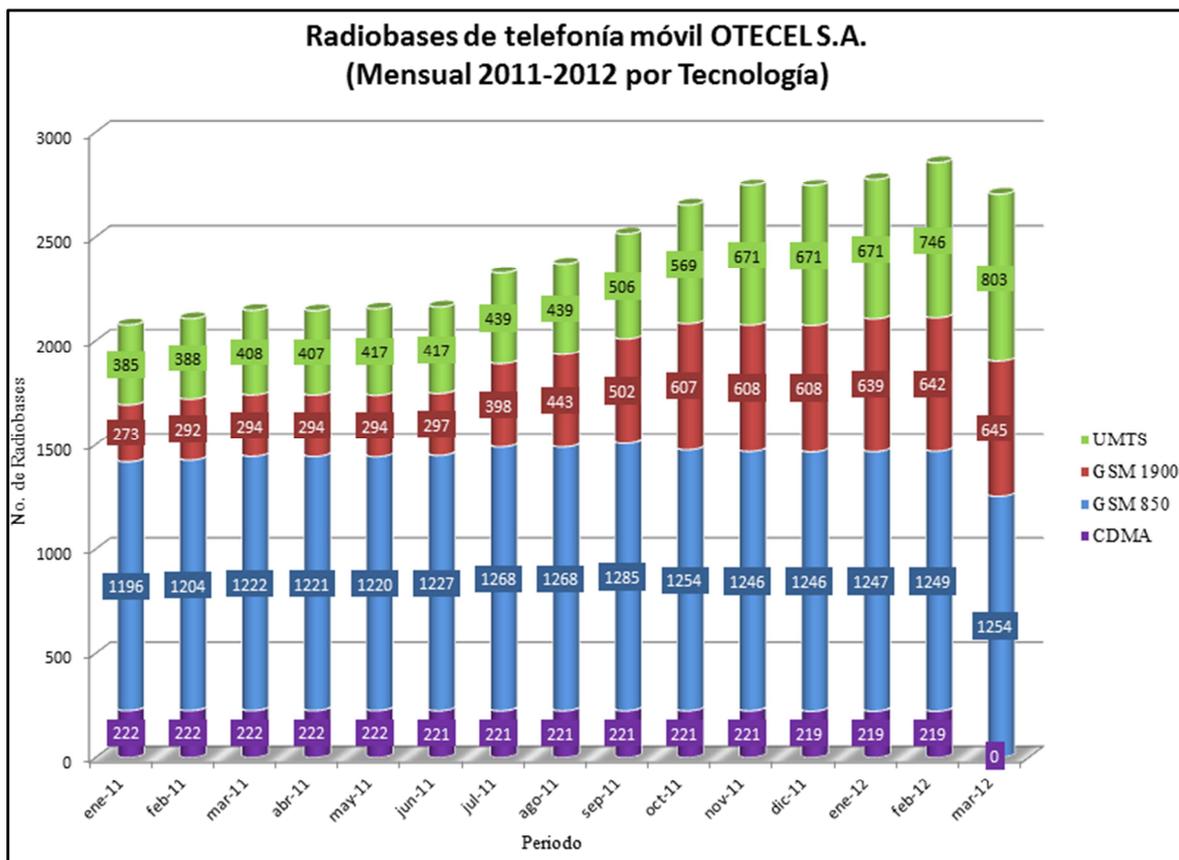


Figura. 1.12. Radiobases del SMA de OTECEL S.A a nivel nacional hasta Marzo 2012

Esta figura muestra que OTECEL S.A. tiene la infraestructura de tecnología CDMA hasta Febrero del 2012, ratificando así con el número de usuarios presentes hasta finales del 2011 (Tabla. 1.2), según datos del Consejo Nacional de Telecomunicaciones.

CAPÍTULO II

SISTEMA MÓVIL DE TERCERA GENERACIÓN UMTS

2.1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo presenta una introducción a los sistemas de UMTS. En primer lugar se detallan las características generales del sistema y el espectro asignado a los sistemas de tercera generación. En segundo lugar se explica la evolución hacia la tercera generación, describiendo brevemente la evolución histórica de los estándares de telefonía móvil desde la segunda generación hasta llegar a UMTS. Seguidamente se explica la arquitectura del sistema a nivel físico y a nivel de interfaces entre sí, el objetivo de este punto es entender la base general del sistema UMTS. Posterior a esto se presentan algunos conceptos teóricos del acceso radio W-CDMA utilizada en el sistema UMTS. Finalmente se realiza una revisión de los temas que conciernen a HSPA y la importancia de maximizar el desempeño al interior de las edificaciones.

2.2. ASPECTOS GENERALES

Los sistemas de tercera generación, surgen con el propósito de aumentar la versatilidad de los actuales sistemas de telefonía móvil. Es decir se intenta aumentar las prestaciones de los servicios ofrecidos a los usuarios.

En la segunda generación se ofrece servicios de comunicaciones de voz, mensajes cortos y transmisión de datos hacia y desde las actuales redes, gracias a las mejoras incorporadas por nuevos estándares de 2G como por ejemplo GPRS.

La tercera generación, no podía únicamente surgir con el propósito de mejorar los servicios existentes, sino que debía incorporar gran cantidad de servicios. Estos nuevos servicios, de alta velocidad son los que permiten transmitir audio y video en tiempo real,

así como brindar un servicio de voz con la calidad comparable de las redes fijas, además de una gran capacidad de aplicaciones multimedia en entorno móvil.

UMTS se basa principalmente en objetivos esenciales que hacen de ésta tecnología mucho mejor en relación a las tecnologías anteriores. Estos objetivos se detallan a continuación: [9]

- Calidad de voz como en la red fija.
- Transmisión simétrica/asimétrica de alta fiabilidad.
- Itinerancia (*roaming*), incluido el internacional, entre diferentes operadores y tipos de redes.
- Uso de ancho de banda dinámico, en función de la aplicación.
- Velocidades binarias mucho más altas: 144 kbit/s en alta movilidad, 384 kbit/s en espacios abiertos y 2 Mbit/s en baja movilidad.
- Provisión en un ambiente local virtual, VHE (*Virtual Home Environment*), en el que el usuario podrá recibir el mismo servicio independiente de su ubicación geográfica.
- Soporte IP para acceso a Internet (navegación *www*), videojuegos, comercio electrónico, vídeo y audio en tiempo real.
- Diferentes servicios simultáneos en una sola conexión.
- Soporte radioeléctrico flexible, con utilización más eficaz del espectro, con bandas de frecuencias comunes en todo el mundo.
- Capacidad para una alta densidad de usuarios.
- Incorporación gradual en coexistencia con los sistemas actuales de 2G.

El Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles, UMTS, es una de las tecnologías usadas por los móviles de tercera generación 3G, también llamada como 3G o W-CDMA, sucesor de GSM; fue desarrollada e impulsada por la ITU y la ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*), cuyo principal objetivo fue unificar los distintos sistemas de telefonía móvil empleados en todo el mundo, tratando de que exista compatibilidad entre dichos sistemas.

UMTS es una tecnología que pertenece al estándar de comunicaciones inalámbricas de tercera generación IMT-2000, iniciativa de la ITU. Su fin es proveer acceso inalámbrico a la infraestructura global de telecomunicaciones a través de sistemas vía satélite y terrestres.

3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) especifica los estándares para UMTS en cooperación entre organismos de estandarización como: ETSI (Europa), ARIB/TTC (Japón), ANSI T-1 (USA), TTA (Corea), CWTS (China), ITU-T, dichos organismo ejercen a la vez presiones políticas, industriales y comerciales, por ende las decisiones no son tan simples; sistema global significa negocio global y es por eso que ha habido mucha presión para seleccionar o resaltar ciertas soluciones más que otras. Por tal razón se creó una organización para encargarse de concertar estos aspectos. Esta organización, OHG (*Operators Harmonization Group*) tiene como objetivo llegar a un entendimiento común sobre los temas mundiales. (Ver figura. 2.1)

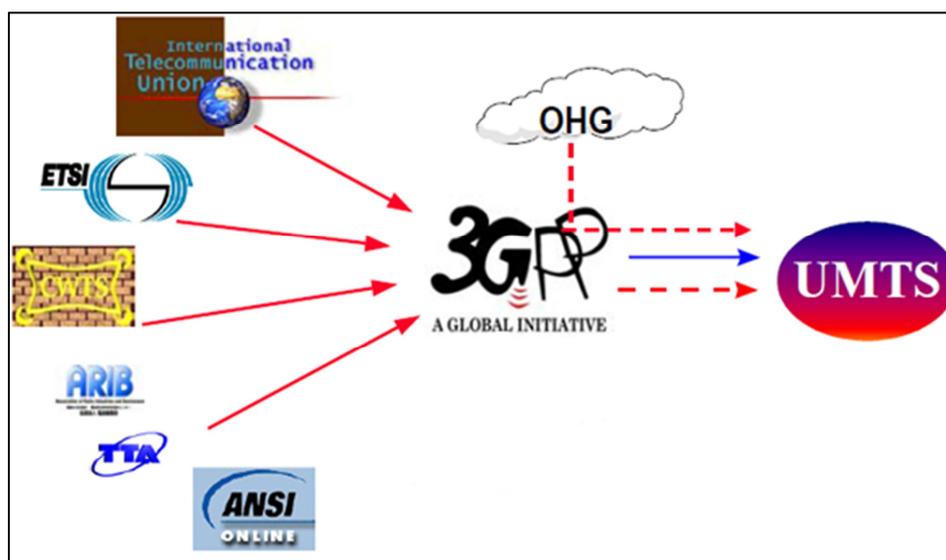


Figura. 2.1. (3GPP) Proyecto de Asociación para la Tercera Generación–Organismos de estandarización para UMTS

Para alcanzar la aceptación global, 3GPP va introduciendo UMTS por fases y versiones anuales. La primera fue en 1999, la cual describía transiciones desde redes GSM. En el 2000, se describió transiciones desde IS-95 y TDMA.

2.3. ASIGNACIÓN ESPECTRAL PARA UMTS

El trabajo para desarrollar sistemas móviles de tercera generación comenzó cuando la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones, WARC, de la ITU, en su reunión de 1992, identificó las frecuencias alrededor de 2 GHz que estaban disponibles para uso de los futuros sistemas móviles de tercera generación, tanto terrestre y por satélite.

Las bandas de frecuencias asignadas para la tecnología son:

Para la variante WCDMA-FDD se asigna un par de bandas de frecuencia apareadas en torno a los 2000MHz.

- 1920-1980 MHz para *uplink* y 2110-2170 MHz para *downlink*⁶.

WCDMA-TDD utiliza una banda de frecuencia localizada a ambos lados del enlace ascendente de WCDMA-FDD. La frecuencia más baja ofrecida para esta es de 20 MHz y la más alta de 15 MHz.

- 900-1920 MHz y 2010-2025 MHz⁷.

La Tabla 2.1 detalla las bandas de frecuencias asignadas.

Tabla. 2.1. Asignación de frecuencias alrededor de 2GHz [9]

	Uplink	Downlink	Total
GSM 1800	1710-1785	1805-1880	2 x 75 MHz
UMTS-FDD	1920-1980	2110-2170	2 x 60 MHz
UMTS-TDD	1900-1920	2010-2025	20 + 15 MHz
América PCS	1850-1910	1930-1990	2 x 60 MHz

Sin embargo más frecuencias fueron identificadas para IMT-2000, además de las bandas de frecuencias mencionadas anteriormente. En la Recomendación ITU-R WRC-

⁶ Estas frecuencias de operación son de la banda I, adicionalmente puede operar en la banda II (1850-1910 MHz (UL) y 1930-1990 MHz (DL)) y la banda III (1710-1785 MHz (UL) y 1805-1880 MHz (DL)).

⁷ Adicionalmente en la ITU Región 2 se utilizan bandas 1850-1910 MHz, 1930-1990 MHz y 1910-1930 MHz.

2000 en mayo de 2000 las siguientes bandas de frecuencias se identificaron también para las IMT-2000:

- 1710 – 1885 MHz.
- 2500 – 2690 MHz.
- 806 – 960 MHz.

Vale la pena señalar que algunas de las bandas mencionadas, especialmente por debajo de 2 GHz, se utilizan en parte con sistemas como GSM. El nuevo espectro principal en Europa para las IMT-2000 serán 2500-2690 MHz. En la figura 2.2 se indica las frecuencias asignadas por IMT-2000.

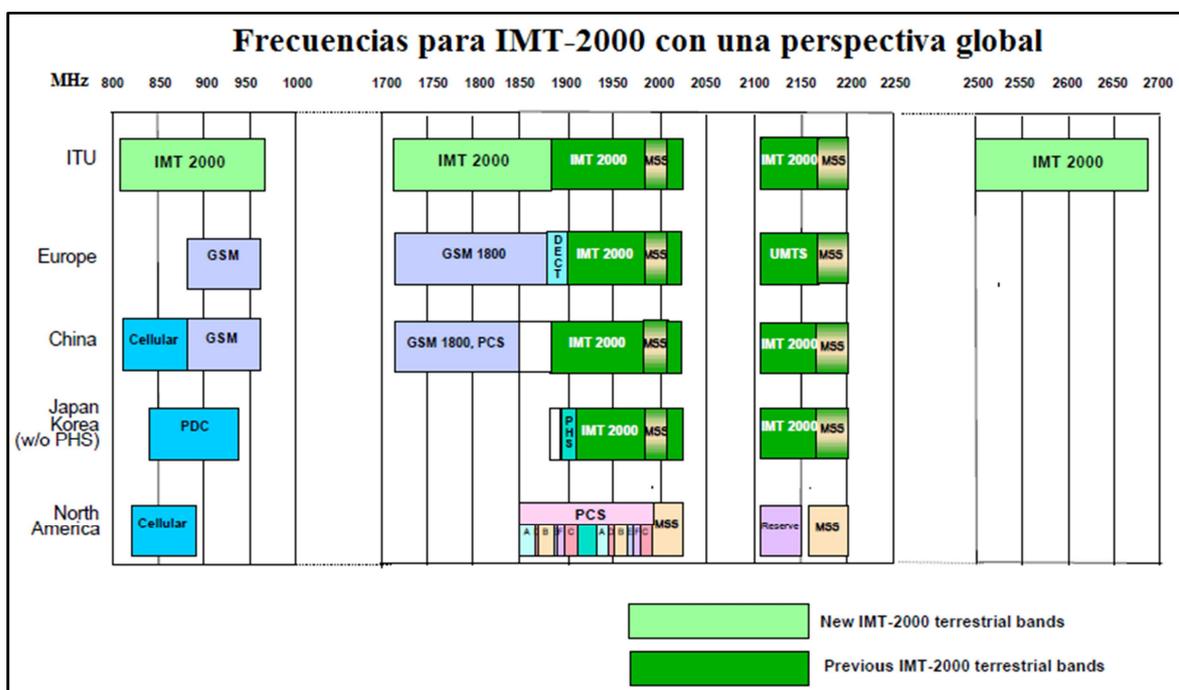


Figura. 2.2. Asignación espectral para IMT-2000 con una perspectiva global [10]

2.4. EVOLUCIÓN DE 2G HACIA 3G

El sistema UMTS ha sido creado para satisfacer los nuevos requerimientos que día a día se presentan por los avances tecnológicos, sin embargo GSM no se ha quedado atrás, con el sistema GSM de 2.5G las redes GSM se han ido actualizando poco a poco, de tal manera que es una transición muy suave hacia UMTS.

En este punto se muestra una breve explicación de la evolución de los sistemas de telefonía móvil hacia la tercera generación. La figura. 2.3 indica la evolución de 2G hacia 3G.

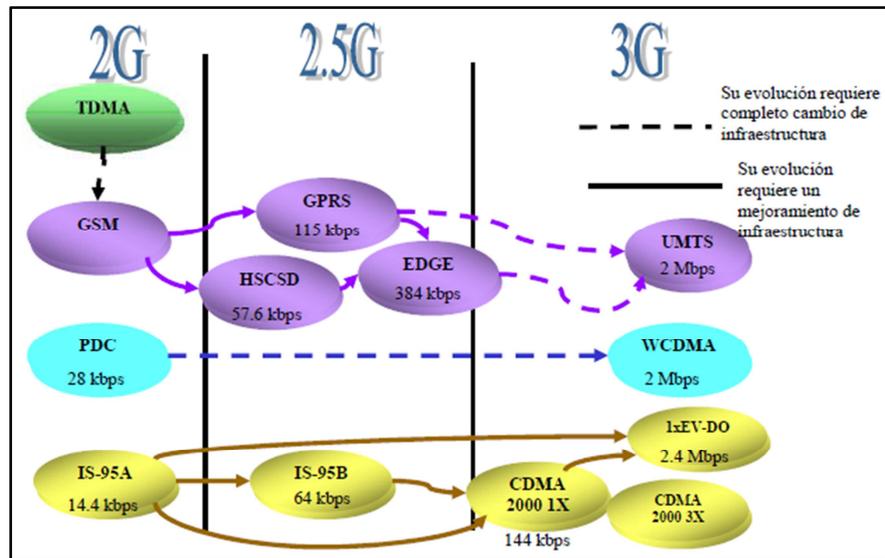


Figura. 2.3. Evolución de 2G hacia 3G

2.4.1 Segunda Generación (2G)

La segunda generación nace hasta 1990 e introdujeron las comunicaciones digitales. Estos sistemas se centraron en la mejora de la calidad de voz, la cobertura y la capacidad. Fueron diseñados para soportar servicios de voz y datos de baja velocidad. Los cuatro sistemas más representativos de esta son los siguientes:

- **GSM:** Fue lanzado a principios de 1990 y fue el primer estándar digital disponible que permite *roaming*. Se basa en la transmisión de la información a través de conmutación de circuitos. La transmisión de datos a baja velocidad (menos de 9.6 kbps) se ha utilizado principalmente para la transmisión de mensajes cortos (*Short Message Service-SMS*).
- **IS-95:** Utilizado en Norte América y Corea del Sur, emplea la tecnología de Acceso Múltiple por División en el Código de banda estrecha (*Narrowband CDMA*).

- **TDMA IS-136:** este sistema proviene del IS-54 y ha sido el estándar digital utilizado en parte de Norte América, América Latina, la parte asiática del Pacífico y la Europa de Este.
- **PDC (*Personal Digital Telecommunication*):** Es el principal estándar digital usado en Japón.

2.4.2 Segunda Generación mejorada (2.5G)

También llamada 2.5G, es una evolución de la anterior generación con el fin de aumentar la tasa binaria y la capacidad de los sistemas. Esta tecnología es un paso intermedio que comunicó a la tecnología 2G con 3G.

- **GPRS:** es el estándar del que permite la transmisión de paquetes de datos sobre sistemas GSM. Teóricamente soporta tasas de hasta 171.2 kbps haciendo uso de los 8 canales simultáneamente. Esto supone aumentar 10 veces la velocidad de los actuales servicios de conmutación de circuitos en redes GSM.
- **EDGE:** el sistema EDGE, también llamado GSM384, considerado en su momento como la puerta hacia las comunicaciones personales multimedia. Utiliza un esquema de modulación y codificación alternativo que alcanza transferencias de datos de hasta 384 Kbps, o sea 48 Kbps por *slot* (ya adecuada para soportar vídeo con calidad) sobre la portadora estándar de 200 KHz propia de GSM, siendo comparable con las que promete UMTS. Esta posibilidad permite seguir utilizando las redes GSM existentes (con una nueva interfaz radio) por mucho tiempo, lo que es un factor muy importante para los operadores que actualmente ofrecen servicios de comunicaciones móviles celulares vía radio, y para los fabricantes que están desarrollando terminales duales compatibles GSM y WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*).
- **HSCSD (*High-Speed Circuit Switched Data*):** es una evolución del actual servicio de transmisión de datos por conmutación de circuitos que permite obtener velocidades de transmisión superiores a los 9.6 Kbps a través del uso de múltiples time slots para generar un canal de tráfico de hasta 57.6 Kbps. Con esta tecnología,

el número de time slots utilizado en cada instante por una comunicación de datos puede ser variable, dependiendo de la saturación de la célula en la que se encuentre conectado el móvil.

2.4.3 Tercera Generación (3G)

Los servicios de tercera generación proporcionan diversas ventajas sobre los de las generaciones anteriores, entre las que se encuentran el acceso móvil a Internet a velocidades elevadas y servicios multimedia. Esto no sólo conlleva una conexión rápida a Internet, sino también realizar transacciones bancarias a través del teléfono, hacer compras o consultar todo tipo de información.

La familia de sistemas móviles de tercera generación es denominada IMT-2000, cuyas especificaciones son responsabilidad de la ITU. IMT-2000 se presenta como una guía a seguir por los estándares de tercera generación para garantizar la compatibilidad mutua, además de sentar bases para desarrollos futuros. El acceso a las redes de tercera generación ha de garantizarse en todo momento, sea cual sea el lugar donde se encuentre el usuario. Por eso, se planteó como esencial la compatibilidad entre todos los distintos sistemas de tercera generación, definiendo entre todos los organismos una única familia que engloba todos los sistemas móviles terrestres y vía satélite.

Una vez que se tuvo definida cuál debía ser la base IMT-2000, las distintas organizaciones de estandarización comenzaron a desarrollar el sistema que se utilizaría en cada zona geográfica. En Europa el sistema de tercera generación compatible con IMT-2000 se denomina UMTS.

La aparición de UMTS está dirigida a conseguir una transición suave desde las redes de segunda generación actuales (GSM principalmente) hasta las redes de tercera generación. En los primeros momentos coexistirán ambos sistemas para que, añadiendo cada vez mayor funcionalidad a las redes UMTS, finalmente se proceda a sustituir las redes existentes.

Mientras que el sistema actual GSM y los terminales móviles no están preparados para la transmisión rápida de datos, la tercera generación UMTS permite la transmisión de información multimedia a una velocidad de hasta 2 Mbps.

Entre los servicios ofrecidos por los sistemas de telefonía móvil 3G, destacan aquellas aplicaciones que alcanzan no sólo el ámbito de la comunicación, sino las de mayor conjunto de actividades interactivas posibles. Además, merecen especial mención los servicios de localización, cuyo perfil depende del lugar en que se encuentre el terminal del usuario, personalizando así los servicios y permitiendo acceder a aquello que más se necesita en cada momento.

2.5. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE UMTS

UMTS introduce grandes mejoras a los actuales sistemas móviles celulares, primordialmente sus altas tasas binarias de 384 kbps en conexiones de conmutación de circuito y de 2Mbps en conexiones de conmutación de paquetes; además permite introducir más usuarios que GSM a la red global del sistema.

Aunque inicialmente estaba pensada para uso en teléfonos móviles, la red UMTS no está limitada a estos dispositivos, pudiendo ser utilizada por otros. Sus tres grandes características son las capacidades multimedia, una velocidad de acceso a Internet elevada, la cual además le permite transmitir audio y video en tiempo real; y una transmisión de voz con calidad equiparable a la de las redes fijas.

La tecnología UMTS es apropiada para una gran variedad de usuarios y tipos de servicios, la misma que ofrece:

- **Acceso rápido:** La principal ventaja de UMTS sobre la segunda generación (2G), es la capacidad de soportar altas velocidades de transmisión de datos, la misma que variará en función de ciertos parámetros como: cobertura, ocupación de la red, aplicación utilizada, etc. Así se tendrá velocidades de hasta 144 kbit/s sobre vehículos a gran velocidad, 384 kbit/s en espacios abiertos de extra radios y 2 Mbit/s con baja movilidad (interior de edificios), como se indica en la figura. 2.4. Esta capacidad sumada a su estructura basada en el Protocolo de Internet (IP), se

combinan poderosamente para prestar servicios multimedia interactivos y nuevas aplicaciones de banda ancha, tales como servicios de video llamada y video conferencia.

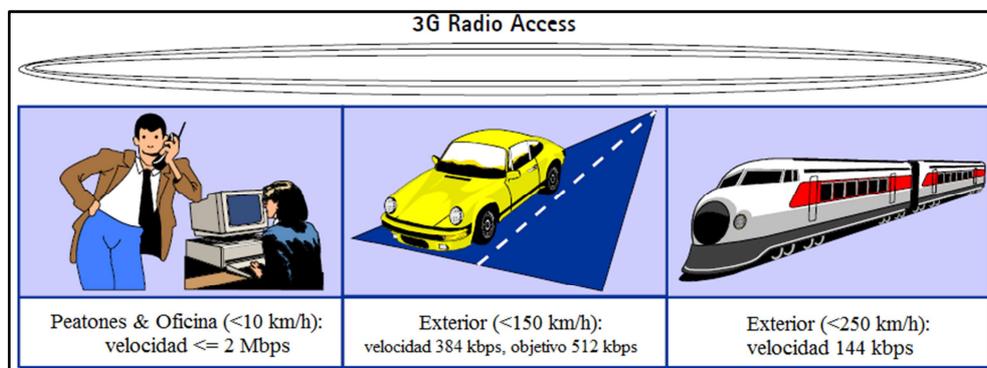


Figura. 2.4. Tasas de velocidad de acuerdo al entorno

- **Facilidad de uso y bajos costos:** UMTS proporciona servicios de uso fácil y adaptable para abordar las necesidades y preferencias de los usuarios, amplia gama de terminales para asegurar un mercado masivo y tarifas competitivas, una amplia gama de terminales con precios accesibles para el mercado masivo soportando simultáneamente las avanzadas capacidades de UMTS.
- **Nuevos y mejorados servicios:** A pesar del gran incremento en la demanda de servicios de transmisión de datos por medio de redes móviles, los servicios de voz continúan siendo los más usados por los usuarios de telefonía celular en nuestro medio, es por esto que UMTS está en la obligación de prestar servicios de voz de alta calidad junto con servicios de datos e información avanzada.

Entre los servicios ofrecidos por los sistemas de telefonía móvil 3G, destacarán aquellas aplicaciones que alcancen no sólo el ámbito de la comunicación, sino el mayor conjunto de actividades interactivas posibles. Además, merecen especial mención los servicios de localización, cuyo perfil depende del lugar en que se encuentre el terminal del usuario, personalizando así los servicios y permitiendo acceder a aquello que más se necesita en cada momento.

En su funcionamiento UMTS soporta dos modos de operación, FDD (*Frequency Division Duplex*) y TDD (*Time Division Duplex*) los cuales se profundizarán más adelante,

tiene como objetivo proporcionar una alta eficiencia espectral, siendo utilizados ambos modos en diferentes bandas de frecuencias.

El sistema además proporciona flexibilidad para soportar una amplia capacidad de cobertura y facilitar la ampliación de ésta; cosa que se logra por medio del uso y la interacción de varios tipos de celdas en un área geográfica. Dentro de la planeación de UMTS también se encuentra considerado un modo dual GSM/UMTS.

2.6. ARQUITECTURA GENERAL DEL SISTEMA UMTS

UMTS utiliza la misma red central de GSM pero con una interfaz de radio completamente diferente. Por tanto, el despliegue conjunto de la red para UMTS con la red existente de los sistemas de segunda generación, posibilita el uso de las *Core Networks* (CN) de segunda generación en los sistemas de tercera generación. La nueva red de radio se llama UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*).

UMTS usa una comunicación terrestre basada en una interfaz de radio W-CDMA, conocida como *UMTS Terrestrial Radio Access* (UTRA). Soporta división de tiempo dúplex TDD y división de frecuencia dúplex FDD. Ambos modelos ofrecen tasas de información de hasta 2 Mbps. El sistema UMTS presenta una arquitectura referencial, el cual se compone de 3 grandes bloques, que conforman su estructura general como se indica en la siguiente figura. 2.5.

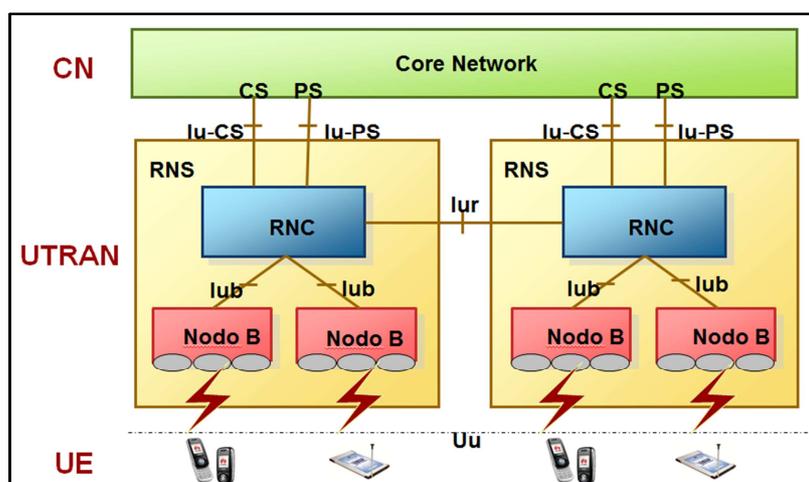


Figura. 2.5. Arquitectura de la red UMTS

Los elementos que conforman el anterior esquema son los siguientes:

- a) **Red Central (CN):** La red central también conocida como *Core Network* es la encargada de realizar funciones de transporte de información de tráfico como de señalización; en términos generales es la parte de la red que contiene toda la inteligencia del sistema, ya que a través de la CN los sistemas UMTS pueden conectarse a otras redes y sistemas de comunicación.

La red central se encuentra formada por varios elementos, pero los más relevantes para el funcionamiento del mismo son: el MSC o Centro de Conmutación Móvil (pieza central en una red basada en conmutación en circuito) y el SGSN o Nodo de Soporte de Servicio GPRS (pieza central en una red basada en conmutación de paquetes).

Algunos requerimientos para UMTS con respecto al CN son los siguientes:

- Soportará servicios de datos por conmutación de paquetes con capacidad de al menos 2 Mbit/s.
- Entregará una solución efectiva de tráfico entre redes.
- Facilitará el soporte para monitorear y medir flujo de tráfico y características dentro de la red (ej.: control de congestión).

El CN está dividido en un dominio de servicios de conmutación de paquetes y un dominio de servicios de conmutación de circuitos. Redes y terminales pueden tener sólo el dominio PS (*Packet Switched*), sólo el dominio CS (*Circuit Switched*) ó ambos dominios implementados.

- b) **UTRAN:** Lleva a cabo toda la funcionalidad relacionada con el acceso radio. Una UTRAN se compone de uno o varios RNSs (*Radio Network Subsystems*), cada uno de los cuales está constituido a su vez por un RNC (*Radio Network Controller*) y una o varios Nodos B.
- c) **UE (*User Equipment*):** El terminal de usuario no es nada más que el terminal móvil, es decir, el equipo que trae consigo un usuario para lograr la comunicación

con una estación base el momento que lo desee y en el lugar donde exista cobertura. Se lo define así como el conjunto de elementos que permiten que el usuario final pueda hacer uso de la interfaz de radio y está compuesta de dos partes (ver figura. 2.6.):

- **Equipo Móvil (ME – *Mobile Equipment*):** es el encargado de la transmisión y recepción a través de la interfaz de radio.
- **Módulo de Identidad de Usuario UMTS (USIM – *UMTS Subscriber Identity Module*):** es la tarjeta que contiene la información sobre la identidad del usuario, realiza las tareas de autenticación y guarda las claves necesarias para autenticación y encriptado.



Figura. 2.6. Equipo de usuario

2.6.1 Funcionalidades de los elementos de la UTRAN

UTRAN es el nombre de la nueva red de acceso de radio diseñada para los sistemas UMTS, y en definitiva es la que proporciona la conexión entre los terminales móviles (UE) y en núcleo de red o red central (CN). UTRAN se compone de una serie de sistemas de RNC equivalente a la BSC (*Base Station Controller*) en la red GSM, y una serie de Nodos B que no son otra cosa que el equivalente a las estaciones base de GSM. Ambos elementos en conjunto forman el subsistema de la Red de Radio o RNS como se indica en la figura.2.7.

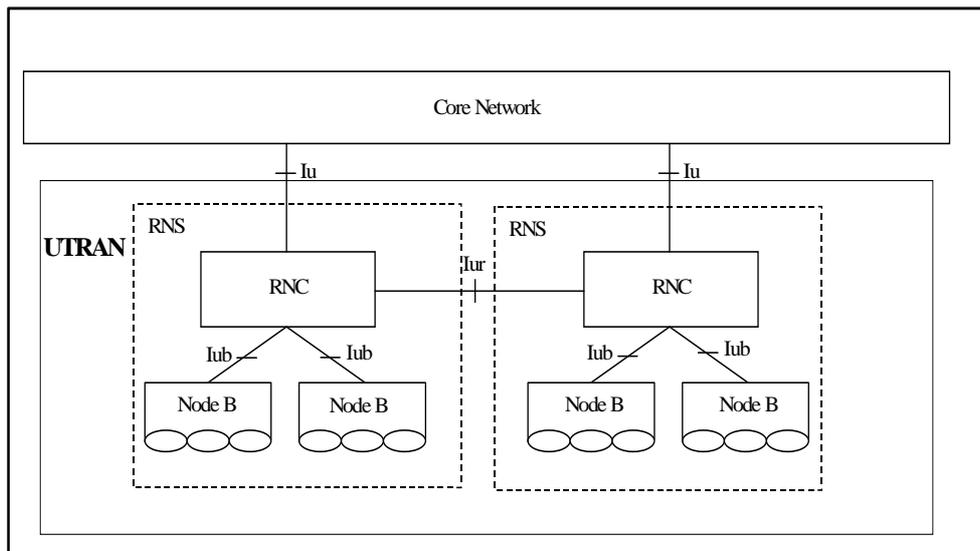


Figura. 2.7. Arquitectura UTRAN

La tecnología CDMA de banda ancha o WCDMA se seleccionó como la interfaz aire (AI: *Air Interface*) para UTRAN.

a) RNC

La RNC es la entidad controladora de una RNS y se encarga del control general de los recursos de radio proporcionados por uno y varios Nodos B. Este elemento es responsable de las decisiones de *handoff* que requieren señalización al terminal móvil. Los RNC se conectan entre sí mediante la interfaz Iur; ésta interfaz se puede materializar mediante una conexión física directa o a través de una red de transporte como ATM, etc.

Las funciones principales que lleva a cabo un equipo RNC dentro de la red de acceso UMTS son:

- Control de recursos lógicos O&M del Nodo B.
- Control de admisión.
- Asignación de códigos de canalización en el enlace descendente.
- Herramientas de control de potencia.
- Control de *Handover*.
- Macro diversidad.
- Manejo de los recursos de transporte de la interfaz Iu.

- Señalización *broadcast*.

b) Nodo B

El Nodo B es equivalente en UMTS a la BTS (*Base Transceiver Station*) de GSM, es decir, es una pieza del equipo que facilita la comunicación inalámbrica entre el equipo de usuario y la red. Este se conecta al RNC mediante la interfaz Iub y se conecta al UE mediante la interfaz de radio Uu y maneja uno o más celdas. Las principales funciones del Nodo B son:

- Implementación lógica de O&M.
- Transmisión / recepción por la interfaz aire.
- Modulación y demodulación.
- Mapeo de los recursos lógicos en recursos de hardware.
- Manejo de errores.
- Reportar las mediciones de interferencia en el enlace ascendente y la información de potencia en el enlace descendente.
- Adaptación de velocidad, etc.

El Nodo B incorpora además del sistema de antenas un receptor que transforma las señales recibidas en la interfaz de radio en un flujo de datos que envía al RNC y también posee un transmisor que prepara los datos para el transporte por medio de la interfaz de radio. Asimismo el Nodo B al igual que el equipo móvil constantemente realiza mediciones de la calidad de conexión y niveles de interferencia para la transmisión de estos resultados al RNC. El Nodo B también es el responsable de la combinación de datos provenientes de varios sectores en el caso especial de *softer handover*.

2.6.2 Interfaces abiertas de la red UMTS

En la arquitectura de una red UMTS se debe definir las diferentes interfaces que existen entre sus elementos, estas interfaces abiertas permiten a los operadores instalar sus equipos con elementos adquiridos de diferentes fábricas. Las interfaces se detallan a continuación:

a) Interfaz Iu

Constituye la interfaz entre el CN y la RNC. Existen dos tipos de interfaz Iu llamadas interfaz de conmutación de circuitos Iu-CS e interfaz de conmutación de paquetes Iu-PS las cuales conectan al dominio de conmutación de circuitos y de paquetes de la UTRAN, respectivamente. Entre las funciones de la Iu está reportar transmisiones de datos satisfactorias, transferencia transparente de mensajes de señalización entre el UE y el CN, implementación de cifrado y el manejo de las situaciones de error y sobrecarga.

b) Interfaz Iub

Esta interfaz está localizada entre la RNC y el Nodo B en la UTRAN. La RNC gestiona al Nodo B a través de esta interfaz. Las siguientes funciones son realizadas por dicha interfaz:

- Soporte de procedimientos para operaciones lógicas y de mantenimiento (O&M) del Nodo B.
- Sistema de gestión de la información.
- Gestión de tráfico del canal común, dedicado y compartido.
- El tiempo y la sincronización de la gestión.

c) Interfaz Iur

La interfaz Iur conecta dos RNCs, ésta puede soportar el intercambio de información de señalización y datos de usuarios. Todas las RNCs conectadas a través de la Iur deben pertenecer a la misma red móvil terrestre pública (PLMN). La interfaz Iur fue diseñada para soportar *softer handover* entre RNCs.

Siempre hay una sola RNC que está controlando la conexión con el UE, la cual se la considera como la RNC servidora. Sin embargo al existir movilidad se involucran otras RNC, que al implicarse en la conexión se las denomina RNC esclavas o de desplazamiento.

d) Interfaz Uu

Esta es la interfaz de radio entre el Nodo B y el UE utilizando WCDMA, algunas de las funciones que ofrece son:

- *Broadcast* de la información.
- Manejo de las conexiones entre la UE y Nodo B que incluye su establecimiento, mantenimiento y relaciones.
- Control de potencia.
- Protección de la integridad del mensaje.
- Medición del UE para evaluaciones.
- *Paging* y notificaciones.

La tecnología que se ocupa para manejar los recursos de radio, es la tecnología WCDMA; por lo tanto se describirá brevemente a esta tecnología.

En la Tabla. 2.2 se detalla las interfaces abiertas de la red UMTS:

Tabla. 2.2. Interfaces UMTS

INTERFAZ		LOCALIZADA ENTRE
Iu	Iu-CS	Interfaz para conmutación de circuitos (RNC - MSC)
	Iu-PS	Interfaz para conmutación de paquetes (RNC - SGSN)
Iub		RNC – Nodo B
Iur		RNC – RNC
Uu		UE – Nodo B

2.7. INTERFAZ DE RADIO WCDMA

WCDMA constituye la principal tecnología de radio empleada en los sistemas móviles 3G-UMTS y sus principales variantes son FDD y TDD.

La tecnología WCDMA emplea la técnica de espectro ensanchado por secuencia directa DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*), este proceso básico ofrece a WCDMA robustez, flexibilidad, resistencia a las interferencias y solidez contra las interferencias mal intencionadas (*jamming*) y las intercepciones ajenas. Para poder poner en práctica su eficiencia, el método WCDMA utiliza un ancho de banda mayor que el de CDMA, esto le permite emplear varios canales de la interfaz de radio.

A los bits de los que está compuesto el código WCDMA se les llama chips para diferenciarlos de los bits de usuario.

2.7.1 Principales características de WCDMA

Las principales características de WCDMA se describen a continuación:

- a) **Spreading:** El ancho de banda utilizado para WCDMA son 5 MHz en los cuales se transmiten 3,84 Mchips/sec. La información de cada usuario (bits de datos de cada usuario) se esparcen en todo este ancho de banda, multiplicando la información por una secuencia de código (seudo randómico) denominada código de *spreading*. Cuanto más larga sea esa secuencia de *spreading* menor velocidad de datos útil tendrá el usuario.

Las diferentes velocidades se determinan con el factor de *spreading* (esparcimiento en el ancho de banda) que tenga asignada la conexión.

Con mayor *spreading*, por ejemplo para la voz, el *stream* de datos tiene mayor redundancia por lo que el operador puede usar más canales para ese tipo de conexiones. En cambio los canales de datos de alta velocidad utilizan factores de *spreading* (SF) menores para conseguir más velocidad, pero la cantidad de canales disponibles es menor. Por ejemplo los canales de voz usan SF de 128 o 256, mientras que los canales de datos de 8 para obtener 960 kbps.

- b) **Control de Potencia:** El control de potencia en los sistemas CDMA es crítico, debido a que debe asegurar que la potencia utilizada sea solamente la necesaria y sólo la necesaria para cada conexión tanto en *uplink* como en *downlink*.

De los dos sentidos el más crítico es el *uplink*, ya que lo deseable es que todos los móviles lleguen a ser detectados por la estación base con la misma potencia para que todos contribuyan de la misma forma a la interferencia total del sistema, caso contrario, si un móvil, tal vez el más cercano llegase a transmitir con mayor potencia sería el único detectado por la interferencia alta que éste provocaría.

En cuanto al sentido *downlink*, la mejora del control de potencia es en la capacidad del sistema, ya que tanto los recursos de control como de tráfico se distribuyen la potencia total de la celda, así se está resguardando la capacidad de la celda.

- c) **Softer y Soft Handover:** El proceso de *soft handover* se refiere al proceso que permite la movilidad sin perder el servicio deseado o la conexión misma al sistema, es decir, que la conexión será servida simultáneamente por varias celdas de diferentes Nodos B. En cambio el *softer handover* tiene el mismo objetivo del *soft handover* pero la conexión será servida por varias celdas del mismo Nodo B como se aprecia en la figura. 2.8.

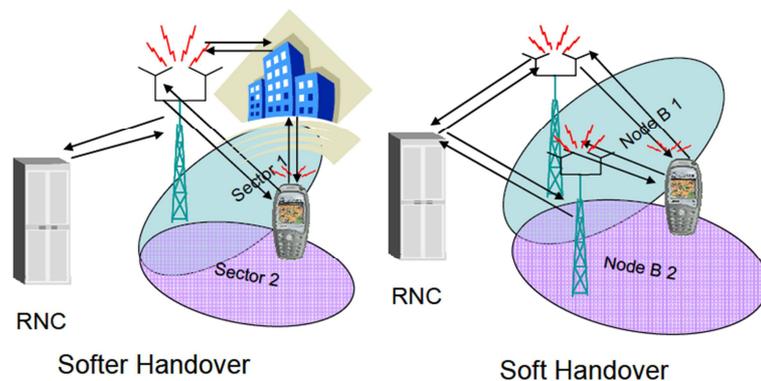


Figura. 2.8. Diferencias entre *Soft* y *Softer Handover*

Esto es posible en sistemas WCDMA porque todas las celdas utilizan la misma frecuencia y sólo se identifican unas de otras por el código asignado.

Este mecanismo mejora el control de potencia en el *uplink*, ya que los móviles que están en el borde de cobertura de las celdas transmiten a menor potencia por tener dos o más links.

2.7.2 Ancho de Banda de la interfaz WCDMA

El ancho de banda efectiva de la interfaz aérea de WCDMA es de 3,84 MHz y con las bandas de protección asciende a los 5 MHz, siendo estas 0.58 MHz a cada lado de la portadora principal (ver figura. 2.9). Al disponer de un ancho de banda mayor a CDMA puede utilizar varios canales de la interfaz radio. Dependiendo de la licencia de operación, el operador de red puede desplegar múltiples portadoras de 5MHz para incrementar la capacidad.

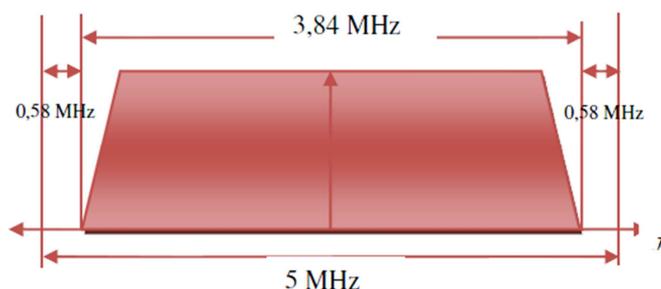


Figura. 2.9. Portadora WCDMA y sus dimensiones

2.7.3 Esquemas Duplex empleados en WCDMA

WCDMA puede operar en dos modos diferentes, uno es el FDD y el otro es TDD:

- a) **Modo FDD:** Es un método duplex, donde las transmisiones de *uplink* y *downlink* usan dos bandas de frecuencias, como se indica en la figura. 2.10. Cada banda es de 5MHz.

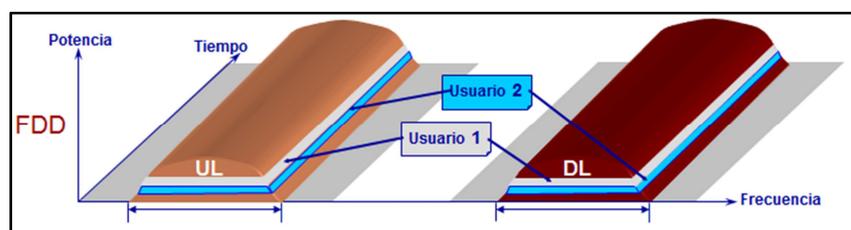


Figura. 2.10. Modo de operación FDD

- b) **Modo TDD:** En la duplexación por división de tiempo consta de una banda de 5MHz que está dividida en ranuras de tiempo (*time slots*), a cada usuario se le asigna un time slot como se indica en la figura. 2.11 Es un método duplex mediante

el cual la transmisión del *uplink* y el *downlink* son transportados en la misma frecuencia usando intervalos de tiempo sincronizados. Los intervalos de tiempo pueden ser repartidos de forma dinámica entre los dos enlaces. Este modo es ideal para aplicaciones de tráfico asimétrico como puede ser el acceso a internet.

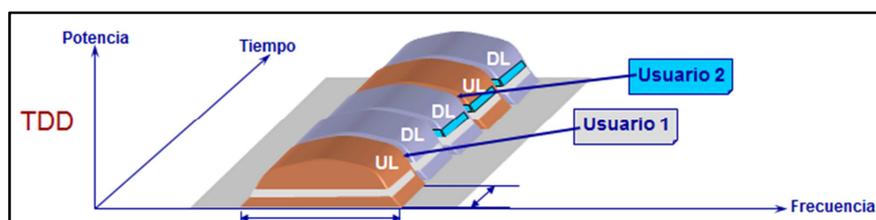


Figura. 2.11. Modo de operación TDD

2.8. CALIDAD DE SERVICIO EN REDES UMTS

La calidad en el ámbito de los servicios de telecomunicaciones es un término ampliamente empleado, por ser un factor esencial en el diseño de las redes, y la provisión de servicios. Puede ser tratada desde el punto de vista netamente técnico o desde la perspectiva del usuario, pero en la realidad debería ser la unión de ambos aspectos. La calidad de servicio ha pasado a convertirse en los últimos años en un campo de investigación necesario para el soporte de nuevos tipos de aplicaciones. La recomendación ITU-T G.1000 y la norma ETSI TS 102 250 son tomadas como referencia, debido a que proporciona un marco y definiciones de calidad de servicio con un enfoque uniforme y coherente, eliminando la confusión que ocasionaban diferentes marcos y definiciones incoherentes.

2.8.1 Definición de QoS

La definición de calidad de servicio (QoS, *quality of service*) en el sector de las telecomunicaciones puede tener, al menos, dos interpretaciones usuales. La primera que se refiere a la capacidad que tiene una determinada red para entregar diferentes niveles de servicio, de manera que se asegure distintos perfiles de tráfico (dedicación de recursos, capacidades de transmisión, etc.). Y la segunda, se describe a la calidad de servicio como una serie de cualidades medibles de las redes y servicios de telecomunicaciones, como el tiempo que se tarda en realizar una llamada telefónica (desde que el usuario marca hasta que suena el teléfono en el otro extremo).

Desde el punto de vista del cliente, la calidad se entiende como la satisfacción de éste, es decir, como el grado de cumplimiento de las expectativas del servicio global frente a la percepción subjetiva del funcionamiento de la red y del terminal. La relación entre la satisfacción del cliente, calidad de servicio y rendimiento de la red se indica en la figura.2.12.



Figura. 2.12. Relación entre la satisfacción del cliente, calidad de servicio y rendimiento de la red [21]

Conforme a la norma E.800 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), define la calidad de servicio como el efecto global de la calidad de funcionamiento de un servicio que determina el grado de satisfacción de un usuario de un servicio [20]. Adicionalmente se indica que la calidad se caracteriza por la combinación de diversos factores de funcionamiento aplicables a todos los servicios, tales como los que se indica en la figura. 2.13.



Figura. 2.13. Fases del uso del servicio desde el punto de vista del cliente [21]

- a) **Disponibilidad de la red:** Probabilidad de que los servicios móviles se ofrecen a un usuario.

- b) **Acceso de red:** Probabilidad de que el usuario realiza un registro de éxito en la PLMN (*Public Land Mobile Network*).
- c) **Accesibilidad de Servicio:** Si el cliente desea usar un servicio, el operador de red debe proporcionar el acceso más rápido.
- d) **Integridad del servicio:** Es la medida que un servicio una vez obtenido, se preste sin degradaciones excesivas.
- e) **Retención del servicio:** Describe la terminación de los servicios (de acuerdo con o en contra de la voluntad del usuario).

La red solo estará disponible para el usuario si se estima que la intensidad de la señal inalámbrica este por encima de un umbral determinado, caso contrario la red no estará disponible, incluso si el móvil es capaz de operar a tales niveles. La disponibilidad de la red va de la mano con el nivel del umbral establecido por la red.

2.8.2 Clases de QoS en las redes UMTS

En general, las aplicaciones y servicios pueden ser divididos en diferentes grupos, dependiendo de qué factores determinemos como más importantes. En UMTS han sido identificados cuatro tipos distintos de aplicaciones, son las denominadas ‘Clases de Calidad de Servicio de UMTS (*UMTS QoS clases*) que son:

2.8.2.1 Clase Conversacional (*Conversational class*)

Son aquellos servicios en los que mantienen una conversación en tiempo real. Los usuarios finales van a ser personas, por lo que sus características están impuestas por la percepción humana. El retardo extremo a extremo debe ser bajo (<400 ms). El tráfico suele ser bastante simétrico. Ejemplo: voz, videotelefonía, videojuegos.

2.8.2.2 Clase de Flujo Continuo (*Streaming class*)

Son aquellos servicios en los que la información puede ser procesada y presentada al usuario final conforme van llegando los paquetes del flujo de información. Es decir, no es

necesario esperar a que el conjunto entero de la información sea recibido. Muy indicado cuando la velocidad de descarga de información es baja. Tráfico muy asimétrico. Ejemplo: multimedia en ráfaga (se ejecutan sobre *plugs-in* que poseen los navegadores).

2.8.2.3 Clase Interactiva (*Interactive class*)

Este esquema es aplicado cuando un usuario final se encuentra en línea solicitando datos desde un equipo remoto (servidor). Algunos ejemplos son: información relacionada con la ubicación en cada instante del terminal móvil (emergencias, tiendas más próximas), navegación por internet, etc.

2.8.2.4 Clase de Fondo (*Background class*)

Este esquema se aplica cuando el usuario final que típicamente es una computadora, envía y recibe archivos de datos. Algunos ejemplos de este tipo de tráfico son: E-mails, SMS, descarga de bases de datos.

La principal distinción entre estos tipos de tráfico es la sensibilidad que poseen frente al retardo, que va desde la clase más sensible a retardos (conversacional) hasta la menos sensible (De Fondo). La figura. 2.14 y la Tabla. 2.3 indica un resumen de cada una de las clases anteriores con sus características generales y algunos ejemplos de aplicaciones.



Figura. 2.14. Clases de QoS de UMTS en relación del retardo con la tasa de error

Tabla. 2.3. Clases de calidad de servicio en UMTS

Tipo de tráfico	Conversacional	Flujo Continuo (<i>Streaming</i>)	Interactivo	De fondo (<i>Background</i>)
Características Fundamentales	Necesidad de retardo temporal corto y fijo entre unidades de información.	Necesidad de retardo temporal fijo.	Integridad de los datos (sin errores) y de respuesta del usuario (respuesta temporal no muy alta).	Integridad de los datos, sin respuesta inmediata del usuario.
Ejemplo	Voz, video telefonía y video juegos.	<i>Streaming video</i> (TV, radio,etc)	Navegación web o juegos en red.	Emails, telemetría, mensajes cortos.

2.9. INTRODUCCIÓN A HSPA

No está dentro del alcance de este proyecto describir todos los detalles sobre HSPA (*High Speed Packet Access*). Sin embargo es de vital importancia describir brevemente los temas que conciernen para maximizar el desempeño de HSPA al interior de las edificaciones.

2.9.1 Introducción

La movilidad ininterrumpida para servicios de voz y datos es esencial para los usuarios, especialmente para los que depende de estos servicios. Los servicios ofertados y la calidad deben ser continuos, sin importar el lugar.

Los Centros Comerciales u oficinas tienen una gran concentración de usuarios de voz y datos, muchas veces con un perfil alto, lo que causa un inadecuado desempeño de estos, sobre todo en los servicios de datos, es decir, se genera una disminución en las velocidades brindadas con dicha tecnología. En Ecuador las redes móviles 3G han implementado HSPA en las principales ciudades, con lo que la movilidad total es ahora una opción para datos de alta velocidad.

Sin duda la cobertura en espacios cerrados es un reto significativo para los operadores de redes móviles, debido a la degradación de la señal que se presenta, principalmente si la cobertura dada a dichos espacios es proporcionada con celdas

externas. Los usuarios con mayor demanda de datos y de velocidad están ubicados generalmente en el interior de las edificaciones, por lo que un enfoque especial sobre cómo resolver el problema es importante.

2.9.2 Característica de HSDPA

HSDPA es una tecnología que logra una importante mejora en las tasas de transmisión descendente para las redes UMTS existentes, llegando teóricamente hasta los 14 Mbps.

La tecnología HSDPA no es un nuevo sistema como lo es UMTS, sino que es una evolución de UMTS, la cual optimiza la tecnología espectral de UMTS/WCDMA. Está incluida en las especificaciones que del 3GPP en su *release 5*, consistiendo en la incorporación de un nuevo canal compartido en el enlace descendente (*downlink*).

Como se observa en la figura. 2.15, la tecnología HSDPA consigue esta mejora gracias a una serie de técnicas empleadas en la interfaz de radio, como son [25]:

- **Transmisión de canal compartido:** Se introduce un nuevo canal de transporte en el enlace descendente denominado HS-DSCH (*High-Speed Downlink Shared Channel*). Con ello los usuarios comparten una serie de recursos utilizados por la radio (como los códigos de canal y la potencia) de forma dinámica en el tiempo con lo que se consigue una mayor eficiencia. Asimismo, los intervalos utilizados para cada transmisión son más cortos (2ms).
- **Adaptación rápida del enlace:** La velocidad de transmisión de datos varía de forma rápida según las condiciones del canal de radio. Este método es más eficiente, para los servicios que pueden tolerar este tipo de variaciones en periodos muy cortos, que compensar las degradaciones de la radio aumentando la potencia de la señal.
- **Retransmisiones rápidas:** Los datos que se reciben de forma errónea, debido a las condiciones de propagación, se solicitan de nuevo al transmisor para su corrección.

En UMTS si un paquete de datos no se recibía correctamente existía la necesidad de la retransmisión desde el RNC. Con HSDPA los paquetes son primero recibidos en el buffer del Nodo B, los paquetes son entonces almacenados y estos son retransmitidos si hubiere algún error en la decodificación, por tanto la retransmisión se realiza desde el Nodo B y no se involucra al RNC.

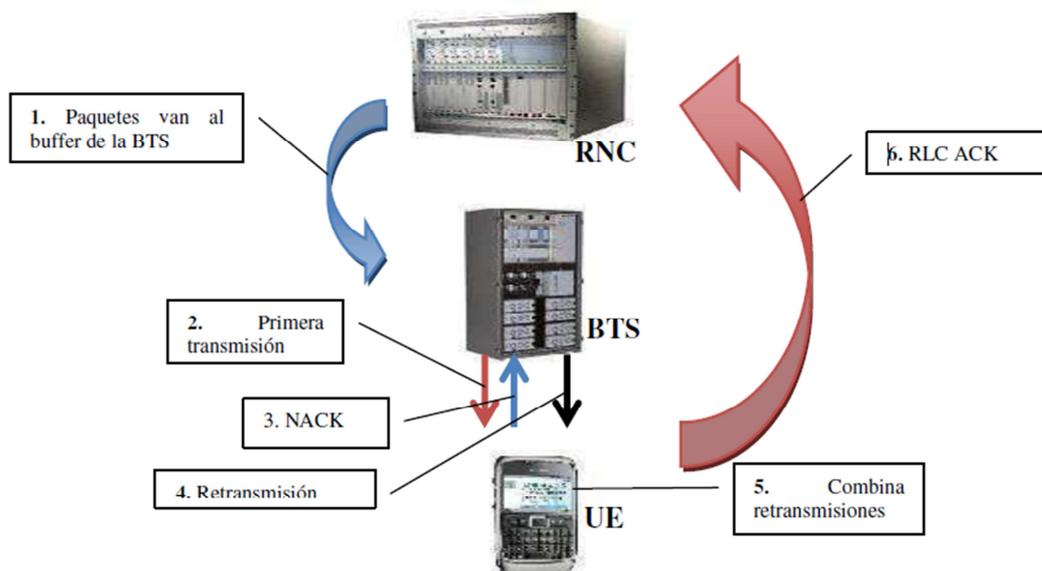


Figura. 2.15. Mejoras en una red UMTS/HSDPA

- **Programación rápida de transmisiones (*fast scheduling*):** Según las condiciones radioeléctricas en las que se encuentra cada usuario, en cada momento se programa el orden en que debe transmitir cada uno. Con ello, se consigue un uso más eficiente de los recursos compartidos.

También, si las condiciones de propagación de las ondas de radio lo permiten, puede utilizarse, como complemento, la modulación 16QAM que es más eficiente que la normalmente empleada QPSK. Con estas técnicas se consiguen básicamente las siguientes el aumento de la velocidad de descarga, con lo que se mejora la percepción del servicio por los usuarios.

- **Menores retardos:** La respuesta de la red es más rápida por lo que la percepción de muchos servicios es mejor y es posible introducir servicios de tipo interactivo (como juegos en tiempo real en red).

2.9.3 Característica de HSUPA

Así como el HSDPA mejora la percepción del cliente para los servicios de datos que hacen uso de las descargas desde la red al terminal, el HSUPA hace lo propio con el envío de datos desde el terminal hacia la red. En este momento, la combinación del HSDPA con el HSUPA se denomina HSPA. Esto es útil para usuarios que envían ficheros multimedia directamente a otros, para aquellos que deben enviar grandes cantidades de información (con imágenes o videos) en tiempo real, como los periodistas, etc. Asimismo, el retardo global del sistema se reduce también mejorando la percepción del usuario de los servicios de datos.

Los mecanismos que hacen posible el HSUPA son semejantes a los descritos para HSDPA. Con ello, se consigue pasar de los 384 kbit/s a los 5.76 Mbit/s (máximo teórico posible).

CAPÍTULO III

GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE ANTENAS DISTRIBUIDAS Y DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS

3.1. INTRODUCCIÓN

En general, las soluciones para ambientes interiores (*indoor*), son soluciones que proporcionan cobertura de RF (*Radio Frequency*) dentro de edificaciones, en donde se tienen necesidades específicas de capacidad, calidad o cobertura. Las soluciones para interiores comprenden estándares de telefonía celular tales como TDMA, GSM, WCDMA y los que no son estándares celulares como por ejemplo *Wireless LAN* y *Bluetooth*.

El incremento del uso de servicios de datos de alta velocidad, requiere que los operadores móviles desplieguen una gran cantidad de soluciones para interiores. Visitantes, empleados y transeúntes en general usan sus teléfonos celulares y laptops para acceder a datos que anteriormente no eran accesibles vía dispositivos inalámbricos.

La gente hoy en día espera que sus teléfonos móviles funcionen dentro de cualquier lugar como por ejemplo centros comerciales, aeropuertos, metros, oficinas, hoteles, garajes subterráneos, túneles, etc.

3.2. SOLUCIONES PARA AMBIENTES *INDOOR*

La provisión de cobertura y capacidad para servicios móviles en el interior de edificaciones se puede conseguir a través de diferentes soluciones. La solución a utilizar depende de manera importante de las características del edificio a cubrir (tamaño, si está constituido por espacios abiertos o existen muchos obstáculos), así como de factores económicos y estratégicos.

Propietarios de edificios, de empresas, los arrendatarios y los operadores móviles pueden beneficiarse de las ventajas que proporciona una solución para ambientes cerrados. A continuación se describe las principales soluciones más empleadas para proveer cobertura en interiores. [29]

3.2.1 Cobertura con Macroceldas

La manera más común de ofrecer cobertura en edificios es con la señal que penetra proveniente de las macroceldas (ver figura 3.1). En muchos casos esto provee una cobertura satisfactoria para los usuarios, pero en otros casos no es aceptable. Paredes gruesas, estructuras metálicas y demás obstáculos atenúan las ondas de radios en los interiores de edificios.

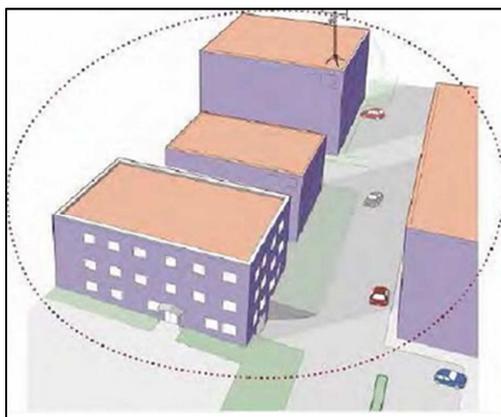


Figura. 3.1. Cobertura indoor con Macroceldas.

La principal ventaja de este tipo de soluciones es que no hay un costo adicional o inversión de recursos como en una solución para interiores. Algunas de las desventajas son, baja cobertura, bajas tasas de transmisión de servicios de datos y en algunas partes con bajos niveles de calidad.

Una macrocelda también puede estar montada sobre una estructura rodante o vehículo llamado COW (*Cell on wheels*), y sirve para soluciones temporales de cobertura y capacidad, por ejemplo eventos deportivos, conciertos, convenciones, etc.

3.2.2 Cobertura con Microceldas

Corresponde al diseño de las radiobases tipo microceldas para atender zonas especiales con alta demanda de tráfico o de alta concurrencia como ocurre normalmente en los centros urbanos. Una microcelda posee una cobertura pequeña como se observa en la figura 3.2, en la mayoría de los casos una cuarta parte de la cobertura de las macroceldas. Las micro BTS's, en GSM, poseen igual potencia que una macro BTS, pero se diferencia porque son de menor capacidad y tamaño.

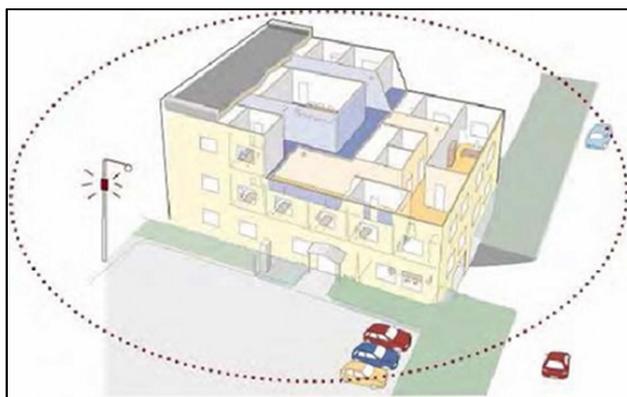


Figura. 3.2. Cobertura indoor con Microceldas, RBS montada sobre un poste.

El uso de microceldas incrementa la capacidad de la red, ya que permiten un mayor manejo de tráfico. Desde el punto de vista del operador esto puede traducirse en ventajas adicionales, tales como, una mejor cobertura y mayor eficiencia en la operación del sistema. Los requerimientos claves del sistema microcelular incluyen la coexistencia e interoperabilidad con los sistemas ya instalados, necesitándose un desarrollo mínimo de ingeniería para su diseño.

3.2.3 Cobertura con repetidores

Los repetidores son sistemas de radiofrecuencia especializados que extienden la cobertura de radio hacia las áreas en donde se presenta un deterioro de la comunicación debido a la pérdida de propagación. Los repetidores, amplifican la señal de radio a niveles lo suficientemente aceptables para entregar una comunicación fiable en áreas cerradas. Los tipos de repetidores son [30]:

- **Repetidores pasivos:** amplifican la señal en una cierta banda de frecuencia, independientemente de su naturaleza.
- **Repetidores activos:** son capaces de modificar la señal antes de retransmitir

Las soluciones con Repetidores son ampliamente utilizados para la cobertura de túneles de carretera y trenes. Un repetidor tiene una antena donante (*outside antenna*) [31] que se utiliza para la comunicación con una Estación Base. El repetidor amplifica las señales recibidas y lo transmite a través de una antena. La amplificación de la señal permite a los usuarios móviles recibir una mejor señal de fuerza y, por ende, una mejor calidad en sus teléfonos móviles, como se muestra en la figura 3.3.

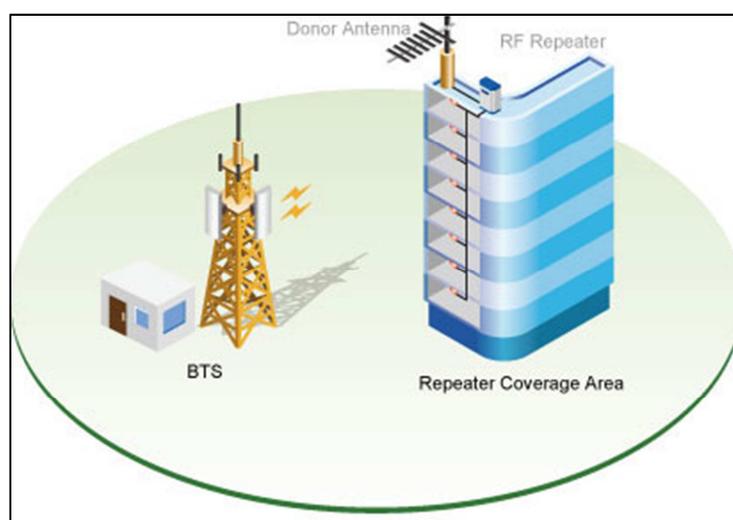


Figura. 3.3. Cobertura mediante repetidores.

3.2.4 Cobertura con Sistema de antenas distribuidas (DAS)

Un DAS es una red de antenas separadas especialmente y conectadas por cable coaxial y/o fibra óptica que brinda servicios inalámbricos dentro de un edificio. Un DAS puede manejarse directamente a través de una BTS como se indica en la figura 3.4.

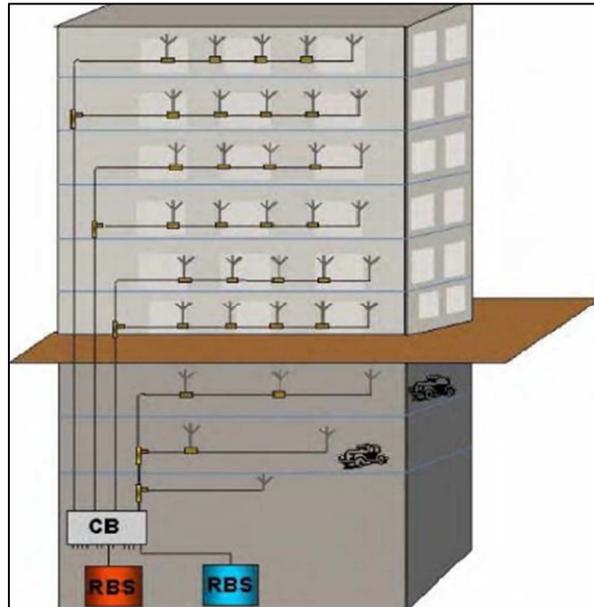


Figura. 3.4. Cobertura *indoor* con DAS a través de RBSs.

El DAS puede ser diseñado para manejar varias bandas de frecuencia o normas inalámbricas o varios operadores. Compartiendo una DAS entre varios operadores y bandas se puede ahorrar muchos costos y reducir al mínimo cualquier perturbación en el edificio y no se verá tan intervenida la estética del edificio frente a una multitud de DASs que se desplegaría en el mismo edificio.

Las estaciones base conectadas a los DAS es una solución ampliamente usada en grandes estructuras edificadas, como los aeropuertos, centros comerciales, universidades, etc., donde la cobertura y la capacidad son importantes.

EL DAS puede consistir en componentes activos o pasivos. Cuando ambos componentes activos y pasivos se utilizan en una DAS se denomina una solución híbrida.

3.2.5 Cobertura con Picoceldas

Una picocelda es una estación base pequeña muy similar a un punto de acceso, por lo general del tamaño de un papel A4 y unos cuantos centímetros de espesor. Se integra a una antena que irradia una señal de baja potencia.

En efecto, una picocelda es una estación base simplificada, con más baja potencia y capacidad que las microceldas.

3.2.6 Cobertura con Femtoceldas

Las femtoceldas son pequeñas estaciones base, parecidas a un *router*, que se conectan a la red fija y permiten dirigir el tráfico telefónico móvil de voz y datos generado por el usuario dentro de los edificios (hogares u oficinas) a través del ADSL como se indica en la figura. 3.5.

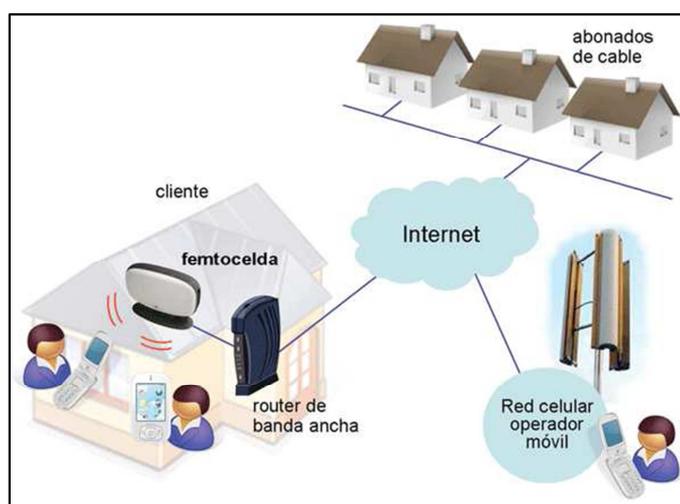


Figura. 3.5. Arquitectura general de las femtoceldas.

La ventaja es clara en aquellas zonas donde la cobertura de las celdas ordinarias es mala o insuficiente, siendo una solución rápida y barata para aumentar la capacidad en interiores como casas u oficinas.

3.3. COMPARACIÓN ENTRE LAS DIFERENTES TÉCNICAS DE COBERTURA *INDOOR*

Las soluciones como macroceldas, microceldas o repetidores tienen la capacidad de aumentar la cobertura interior al extender el área de la cobertura externa. Consecuentemente, la cobertura en interiores se puede ampliar con diferentes métodos, tales como el aumento de la potencia de la señal externa agregando más celdas, o también retransmitiendo la señal externa mediante el uso de repetidores. Sin embargo, estas

soluciones no son las más recomendables, ya que en realidad no optimizan la cobertura interior, sino sólo incrementan los efectos de la cobertura exterior hacia el interior de las edificaciones.

Uno de los principales inconvenientes con repetidoras es la limitada capacidad de tráfico ya que no pueden generar nuevo tráfico, todo lo contrario solo se cargan más los sitios desde el cual se conecta la antena donante.

Por el contrario las soluciones DAS, picoceldas y femtoceldas son más óptimas para este tipo de escenarios. Las picoceldas y femtoceldas son soluciones eficientes porque, si sus posiciones se eligen cuidadosamente, la potencia de la señal del interior puede ser mejorada significativamente, y además el número de celdas permite aumentar la capacidad potencial del sistema. Sin embargo las picoceldas o femtoceldas soportan un menor número de usuarios, por lo que este tipo de técnicas son ideales para espacios pequeños como casas u oficinas. En la Tabla 3.1 se presenta la comparación entre picoceldas y femtoceldas.

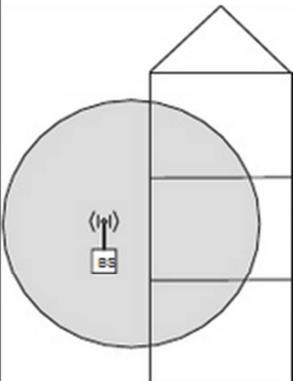
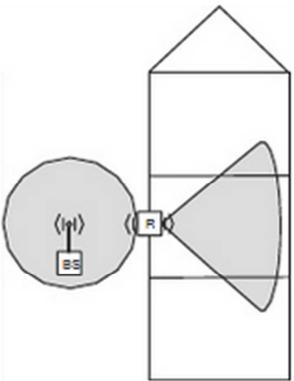
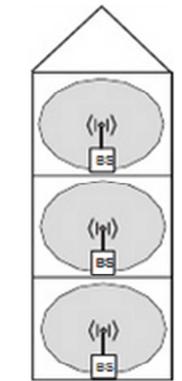
Tabla. 3.1. Comparación entre Picoceldas y Femtoceldas [32]

Parámetro	Picoceldas	Femtoceldas
Instalación	Por la operadora	Por el usuario
Conexión con el CN	Coaxial o fibra óptica	ADSL, cable
Precio	Barato	Muy Barato
Capacidad	10-50 usuarios	3-8 usuarios
Rango de cobertura	< 100m	< 30m

En cambio los sistemas de antenas distribuidos son soluciones que permiten la distribución de las señales procedentes de las diferentes estaciones base de los sistemas a desplegar hasta un número elevado de elementos radiantes distribuidos por el edificio. Estos pueden ser utilizados para el despliegue de una única tecnología u operador, como también se los puede desplegar con múltiples sistemas y múltiples operadores. Por tal motivo es una de las soluciones más empleadas en escenarios como aeropuertos, centros comerciales, redes de metro, grandes edificios de oficinas, etc.

En la tabla 3.2 se presenta una comparación de las técnicas de cobertura en interiores descritas anteriormente:

Tabla. 3.2. Comparación entre las diferentes técnicas de cobertura

Macro/Microceldas	Repetidores	DAS	Pico/Femtocelda
			
Precio alto	Precio conveniente	Precio conveniente	Barato
Instalacion Cara	Instalacion Dificil	Instalacion Fácil	Instalacion Muy fácil
Alta potencia	Baja potencia	Baja potencia	Potencia muy baja
Cobertura <i>indoor</i> mala	Cobertura <i>indoor</i> aceptable	Cobertura <i>indoor</i> buena	Cobertura <i>indoor</i> buena

3.3.1 DAS Pasivo vs DAS Activo

Del análisis de las diferentes soluciones para ambientes *indoor* disponibles actualmente, los sistemas de antenas distribuidas son los más óptimos para las operadoras y para el Centro Comercial Iñaquito, ya que estos sistemas a más de brindar una cobertura uniforme, nos permiten desplegar varios sistemas, de manera que se logra tener el despliegue de infraestructuras integradas que permiten la compartición de infraestructura, reduciendo la afectación del edificio (visual y física) y simplificando las tareas de operación y mantenimiento. Estos sistemas se suelen dividir en pasivos y activos.

Los sistemas pasivos constan de un combinador multiportadora más un sistema de distribución basado en cables coaxiales, que incluyen otros elementos pasivos como

divisores de potencia (*splitters*), conectores, acopladores, etc., que distribuye las señales hasta los elementos radiantes. Su principal ventaja es su menor costo al no incluir elementos activos y su mayor fiabilidad, además que requieren de un mínimo de mantenimiento después de que se haya instalado y comenzado su funcionamiento. Sin embargo, su aplicación se limita exclusivamente a edificios pequeños en los que la atenuación del coaxial con la distancia no sea un problema.

Los sistemas activos contienen los mismos elementos que los pasivos pero además se incluyen repetidores o amplificadores bidireccionales para amplificar y/o transportar las señales radio. Esto permite cubrir un área mucho más grande pero por otro lado, son más complicados y tienen en general más problemas de distorsión e intermodulación. Los sistemas activos pueden incluir también un sistema de distribución basado en fibra óptica que aprovecha el elevado ancho de banda y las bajas pérdidas de la fibra para el transporte de las señales de radiofrecuencia a distancias mayores.

En la tabla 3.3 se presenta la comparación entre el sistema pasivo y el activo.

Tabla. 3.3. Comparación entre los diferentes DAS [32]

	DAS Pasivo	DAS Activo
Distancia Cubierta	Hasta 400 m	Hasta 6 km
Costo de equipos	Bajo	Alto
Instalación	Difícil	Muy Fácil
Input (estación base/repetidor)	Alta potencia	Baja potencia

3.4. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS Y COMPONENTES DEL DAS PASIVO

Conforme al análisis realizado en la sección anterior los sistemas pasivos DAS son el método más utilizado en la prestación de soluciones para interiores, especialmente para pequeñas edificaciones como el Centro Comercial Ñaquito, ya que la distancia a ser cubierta no sobrepasa los 400 metros. Hay que mencionar que en la implementación de una solución *indoor*, no se interfiere la arquitectura del edificio, ni con la estética de éste, gracias a los avances tecnológicos para interiores, ya que se encuentran en el mercado una amplia gama de antenas, que difieren de color, estilo y adaptación al entorno.

El sistema de distribución pasiva consiste de cables coaxiales, *splitters*, *tappers*, antenas y conectores como se observa en la figura 3.6.

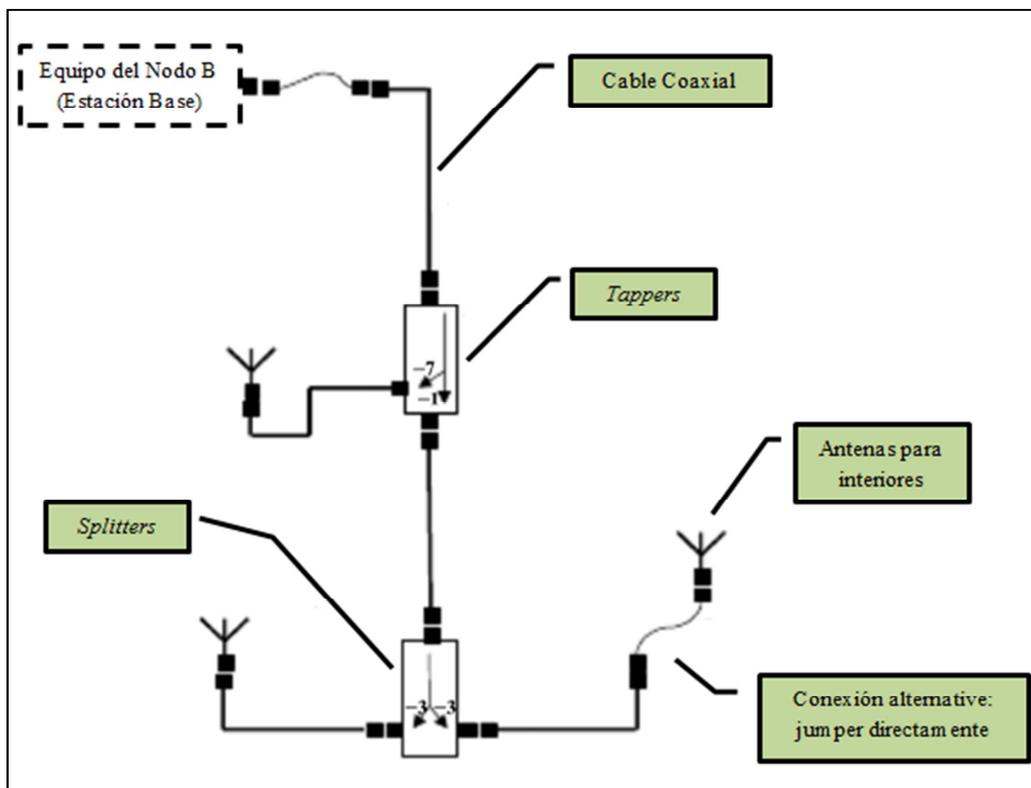


Figura. 3.6. Ejemplo de las partes más comunes de un DAS pasivo con cable coaxial

Se debe considerar que la potencia de la estación base o Nodo B es compartida por varias antenas en la red de antenas distribuidas, por lo tanto la potencia de salida para cada antena es considerablemente menor que cuando se usa una antena.

Las funcionalidades y características de cada elemento se describen a continuación:

3.4.1 Cable coaxial

Los cables coaxiales (ver figura. 3.7) se utilizan para distribuir la señal y formar el enlace entre los diferentes elementos del DAS. Su principal desventaja es la alta pérdida de señal de acuerdo a la distancia. Por ejemplo, con un cable coaxial de 0,5 pulgadas en 1800MHz, la pérdida es de aproximadamente 0,1 dB por metro.

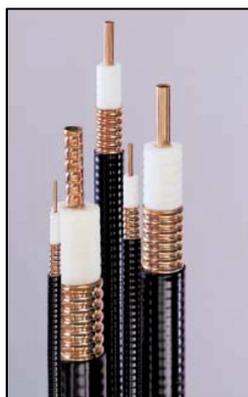


Figura. 3.7. Cable coaxial

La tabla 3.4 muestra las pérdidas típicas de los tipos de cables coaxiales comúnmente usados. Para los datos precisos se debe revisar la hoja de datos técnica para el cable específico del proveedor que se utilice.

Tabla. 3.4. Atenuación típica del cable coaxial [28]

Frecuencia / pérdida típica por 100m			
Tipo de cable (pulgadas)	900 MHz	1800 MHz	2100 MHz
1/4	13 dB	19 dB	20 dB
1/2	7 dB	10 dB	11 dB
	4 dB	6 dB	6.5 dB
–	3 dB	4.4 dB	4.6 dB
–	2.4 dB	3.7 dB	3.8 dB

El cálculo de la pérdida del cable coaxial para una frecuencia determinada se puede obtener con la siguiente ecuación:

$$(3.1)$$

Por ejemplo, para obtener el cálculo de la pérdida total de una longitud de 67m de un coaxial 1/2 en 1800 MHz, de acuerdo a la tabla 3.4 es:

Adicionalmente se debe tener en cuenta que los cables coaxiales se producen con impedancias de 50 o 75 ohmios, en telecomunicaciones el valor predominante es de 50 ohmios.

3.4.2 Divisores (*Splitters*)

Este componente divide la señal de entrada en varias señales de salida balanceadas para permitir su distribución. Se utiliza como una interconexión para dividir la señal entre las diferentes antenas. Como se muestra en la figura 3.8, este elemento se utiliza para dividir una línea coaxial en dos o más líneas.

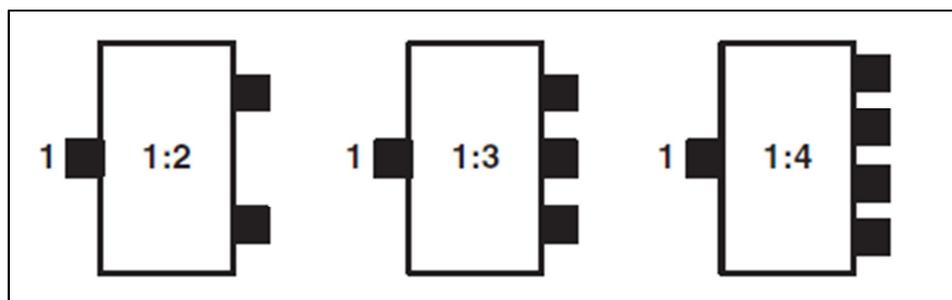


Figura. 3.8. Tipos de *splitters*

Cuando se divide la señal, la potencia se divide entre los puertos. Si la división es para dos puertos, únicamente la mitad de la potencia menos la pérdida de inserción, típicamente alrededor de 0,1 dB, estaría disponible en los dos puertos. Es muy importante no dejar ningún puerto abierto, en el caso de no utilizar uno de ellos colocar con una carga ficticia.

Para poder calcular la pérdida a través del divisor se emplea la siguiente expresión:

(3.2)

Por ejemplo si tenemos un *splitter* 1:3 (como se muestra en la figura. 3.9), la atenuación sería:

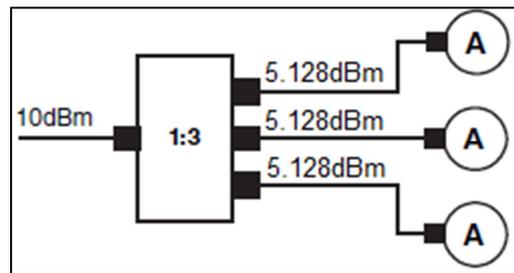


Figura. 3.9. Distribución de potencia para un *splitter* 1:3

En este ejemplo, cuando la alimentación en la entrada es de 10 dBm en el puerto 1, la potencia de salida en los puertos 2, 3 y 4 será de

3.4.3 Acoplador (*Tap / Coupler*)

Los acopladores son similares a los divisores, pero son capaces de dividir la señal de entrada en dos señales de salida con diferentes potencias. Se utilizan para ajustar la potencia y de esa manera poder distribuir a diferentes pisos.

Los acopladores son de varios tipos, fijos y ajustables, el principio de estos elementos es que existe un puerto de baja pérdida (1-2) y luego un puerto de alta pérdida (3) como se observa en la figura 3.10.

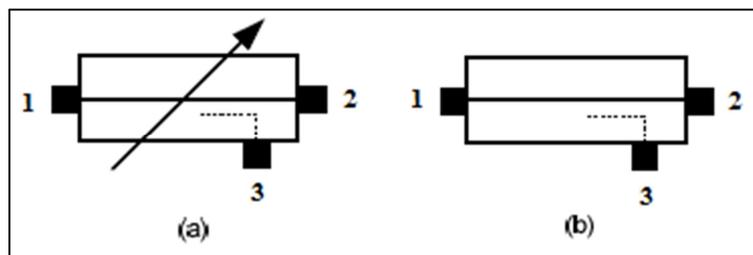


Figura. 3.10. (a) *Tap* ajustable, (b) *Tap* fijo

En el siguiente ejemplo (ver figura 3.11) se muestra que a largas distancias (200m en GSM 1800), incluso usando un cable principal de 7/8 pulgadas y diferentes tipos de acoplador y un divisor, es posible mantener una atenuación relativamente constante para todas las antenas dentro de una variación de 1,5 dB, aunque la pérdida longitudinal del

cable principal varíe hasta 12 dB⁸. Resulta evidente la poder equilibrar la pérdida de manera eficiente cuando se hace uso del acoplador.

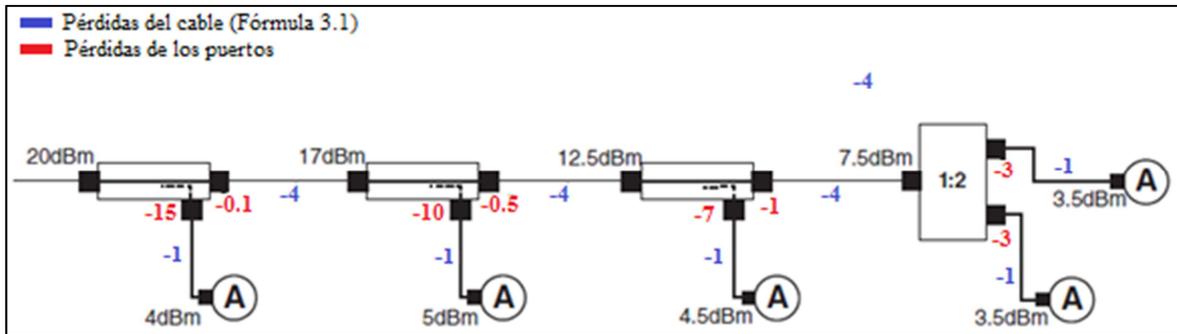


Figura. 3.11. Configuraciones típicas de acopladores en un sistema de antena distribuida.

Los acopladores usados en el ejemplo de la figura 3.11 se detallan en la Tabla 3.5 con sus respectivas pérdidas.

Tabla. 3.5. Típicos Taps y pérdidas de acoplamiento[28]

Tipo	Pérdidas puerto 1-2	Pérdidas puerto 3
1/7 Tap	1 dB	7 dB
0.5/10 Tap	0.5 dB	10.5 dB
0.1/15 Tap	0.1 dB	15.1 dB

3.4.4 Filtros.

Estos se usan para bandas de frecuencias distintas, por ejemplo, un triplexor puede separar la señal de entrada en tres señales de salida correspondientes a las frecuencias de 900 MHz, 1800 MHz y 2100 MHz. Mientras que un diplexor sólo divide en dos como se indica en la figura. 3.12.

⁸ Resultado obtenido con la fórmula 3.1.

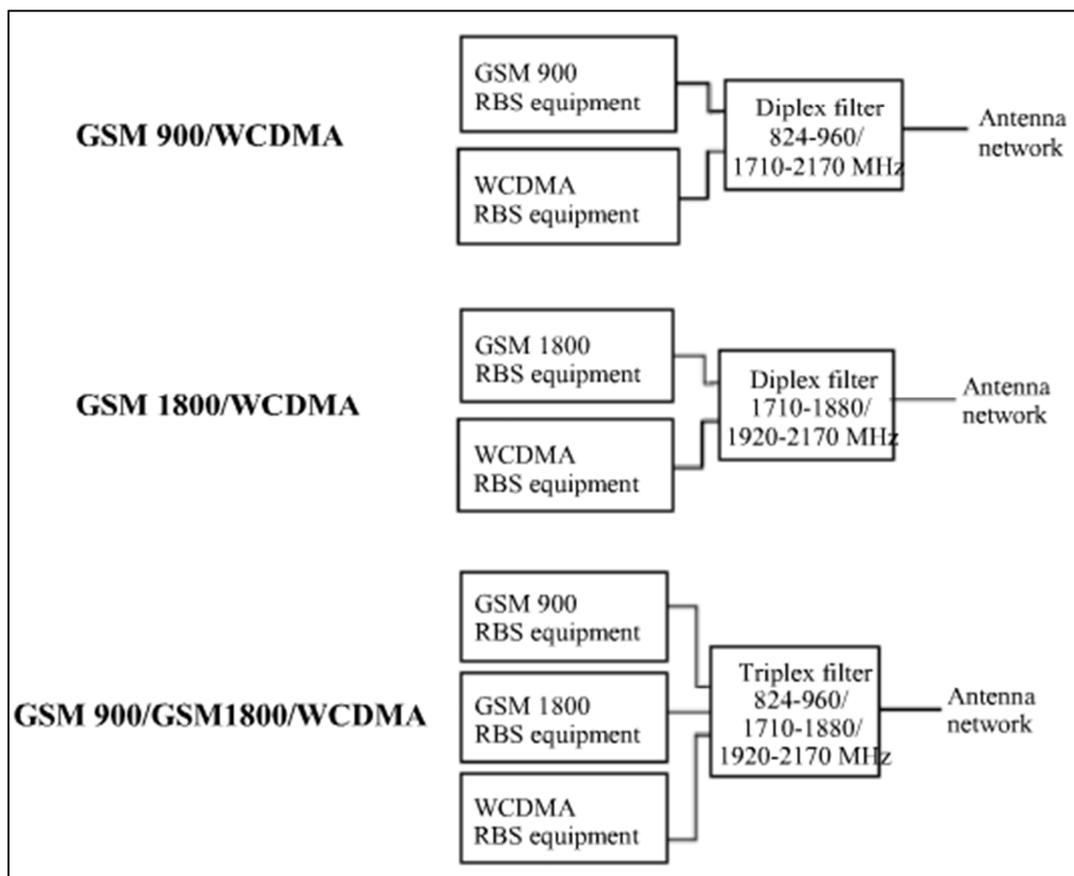


Figura. 3.12. Tipos de filtros para separar bandas de frecuencias

3.4.5 Antenas para interiores

Para ambientes interiores el tamaño y las formas de las antenas son sus limitantes, ya que deben ser lo más discretas posibles. Existen algunos fabricantes que las han diseñado en una variedad de ganancias, patrones de radiación, modelos y tamaños, que van desde antenas omnidireccionales de ganancia unitaria, hasta antenas directivas de una alta ganancia y lóbulo estrecho.

El sugerir una posición para la ubicación de las antenas dependerá de la aplicación que se realizará con el DAS, ya que existen varios criterios para la ubicación de las antenas tanto en interiores como en exteriores. Como ejemplo, se puede citar que cuando se tiene una edificación de tamaño “normal” y de forma “regular”, una antena omnidireccional situada en el centro del sitio puede cubrir toda el área.

Entre las principales características de las antenas podemos encontrar: [37]

- **Ganancia de la antena:** Esta dada como el cociente entre la cantidad de energía irradiada en la dirección preferencial y la que irradiaría una antena isotrópica⁹ alimentada por el mismo transmisor. Este número lo expresamos en decibelios con relación a la isotrópica y por ende se denota en dBi.

La ganancia de una antena representa la capacidad que tiene este dispositivo como radiador de señal. Este es el parámetro que mejor caracteriza a las antenas, entre más grande sea la ganancia de una antena, esta es más directiva y el haz de radio es más angosto.

- **Impedancia de entrada:** La impedancia de entrada, depende de la frecuencia que se está utilizando, y está compuesta por una componente activo (R_e) y una componente reactiva (X_e). De esta forma R_e puede asimilarse como la resistencia total de la antena en su terminal de entrada. De esta manera se define a la impedancia de entrada a la relación que existe entre el voltaje de entrada y la corriente de entrada de la antena.

Para máxima transferencia de potencia la impedancia de la antena debe estar acoplada a la de la línea de transmisión que la alimenta.

- **Polarización:** Una onda electromagnética está formada por campos eléctricos y magnéticos íntimamente ligados que se propagan en el espacio. La dirección del campo eléctrico se corresponde con la polarización de esta onda. La polarización de una antena corresponde a la dirección del campo eléctrico emitido por una antena. Esta polarización puede ser: vertical, horizontal y elíptica, Circular (hacia la derecha o hacia la izquierda).
- **Ancho de haz:** El ancho del haz (*beamwidth*) es el ángulo subtendido por la radiación emitida entre los puntos en que la potencia disminuye a la mitad, (3dB) respecto a la radiación máxima. Usando el diagrama de radiación en la como se indica en la figura 3.13, podemos determinar la cobertura espacial donde la antena ofrece buena cobertura. El ángulo entre los puntos de media potencia es conocido

⁹ Antena Isotrópica: Es aquella que irradia desde todas las direcciones con la misma intensidad. Aunque es físicamente irrealizable, el concepto de antena isotrópica se utiliza como modelo de comparación con las antenas reales y su ganancia es igual a 1. Como irradia con igual eficacia en todas direcciones, decimos que su diagrama o patrón de radiación es una esfera

como ancho del haz y se define tanto para el plano horizontal como para el plano vertical. Sólo en el caso de una antena con simetría circular perfecta ambos ángulos son iguales.

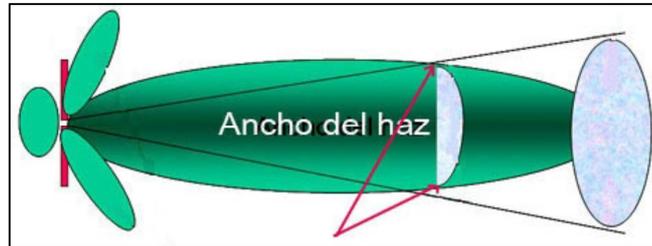


Figura. 3.13. Ancho de Haz

Existe una relación inversa entre la ganancia y la extensión de la cobertura: una antena de alta ganancia tendrá una anchura de haz muy pequeña.

- **Ancho de Banda:** El ancho de banda de una antena es el rango de frecuencias en el cual la misma puede operar satisfaciendo ciertos criterios, por ejemplo la gama de frecuencias para la cual la antena va a tener una Razón de Onda Estacionaria (SWR) menor que 2:1, es decir, los valores de frecuencia donde la antena se comporta de la mejor manera.

Con respecto a las antenas utilizadas en las soluciones *indoor* corresponden a dos tipos: omnidireccionales y direccionales como se observa en la figura 3.14.

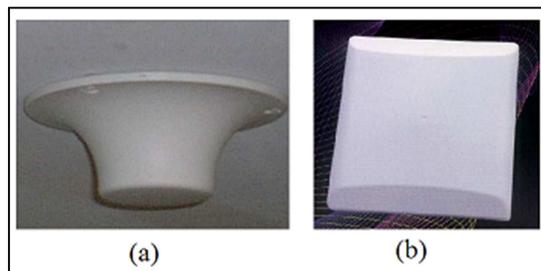


Figura. 3.14. Tipos de antenas para interiores: (a) antena Omnidireccional, (b) antena direccional

Las antenas para interiores, tipo omnidireccionales que se utilizan frecuentemente, tienen las características que son diseñadas multibanda, con lo cual se abarca un amplio rango de frecuencias a ser cubiertas por una pequeña antena. El patrón de radiación de las antenas omnidireccionales es de 360°.

Las antenas direccionales, denominadas comúnmente en el mercado como “panel”, estas también están diseñadas en su mayoría como multibanda, a diferencia de las omnidireccionales el patrón de radiación es un lóbulo de apertura horizontal de 70° y vertical de 60°.

3.4.6 Conectores.

Los conectores de RF (ver figura 3.15) en teoría, son elementos lineales y pasivos en la cadena de transmisión. Su modelo está determinado en cada caso por la potencia de los equipos, y el medio en el que serán utilizados. En la práctica, todavía, poseen aspectos sujetos a interferencias, que a su vez pueden causar intermodulación. Una correcta construcción y la selección de los materiales adecuados pueden minimizar significativamente estos efectos.



Figura. 3.15. Conector tipo N macho

3.4.7 Nodo B / Estación Base

Un nodo B es uno de los más importantes elementos de la red, ya que contiene todos los equipos de transmisión y recepción de RF. Los móviles requieren forzosamente del nodo B para comunicarse unos con otros como se explicó en el Capítulo II. Los nodos B contienen el equipo receptor y transmisor que operan las frecuencias de radio usadas para la comunicación.

La elección del Nodo B está principalmente en función de los siguientes factores:

- **Potencia de transmisión:** Un factor importante a considerar en el dimensionamiento realizado para el *downlink* es la potencia de transmisión empleada en la estación base a fin de lograr una determinada cobertura y tasas de transmisión adecuadas.

Se debe considerar que parte de la potencia de transmisión empleada en la estación base es utilizada para canales físicos comunes los mismos que se transmiten de manera independiente a los canales de tráfico, por tanto la potencia que utilizan estos canales disminuye la capacidad de la celda.

- **Tipo de solución del sistema de antenas:** Para un DAS mediante cable coaxial las celdas requerirán mayor potencia de salida para superar las pérdidas del cable. En cambio un DAS mediante fibra óptica una estación base con menos potencia de salida se puede utilizar.

CAPÍTULO IV

MONITORIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INTERFAZ AIRE UMTS ACTUAL EN EL INTERIOR DEL C.C.I.

4.1. INTRODUCCIÓN

Los niveles de calidad y cobertura de la señal UMTS deben estar dentro del rango establecidos por los entes de regulación y control del sector de las telecomunicaciones tanto nacionales como internacionales, con el propósito de garantizar al usuario la entrega correcta de sus servicios, y así lograr la satisfacción del usuario por el servicio entregado.

Las técnicas de medida de calidad son de distintos tipos dependiendo del parámetro al cual se desee medir, por ejemplo referente a la cobertura, lo que se mide es un nivel de potencia mínimo admisible. En cambio para los demás parámetros se toman en consideración medidas estadísticas que involucran factores como tiempo y posición geográfica.

En el Ecuador las operadoras de SMA, CONECEL y OTECEL, ofertan servicios de generación 3.5G basados en las redes globales UMTS, los cuales para su correcto funcionamiento requieren de características específicas, por lo que es menester la determinación de los parámetros que se deben controlar para que garanticen la calidad desde el punto de vista del usuario.

En este capítulo se describe los parámetros a ser medidos según la 3GPP de la interfaz de aire UMTS en el interior del Centro Comercial Iñaquito. Posteriormente se detalla la metodología a emplearse para la obtención dichos parámetros y finalmente se realiza la presentación y análisis de los valores obtenidos de estos parámetros.

4.2. PARÁMETROS DE ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES REALIZADAS

La calidad del servicio es uno de los factores fundamentales para brindar un buen servicio de voz y datos, sobre todo en entornos interiores. Además es un factor esencial para el diseño a efectuarse.

La selección de los parámetros de QoS y sus valores objetivos de los servicios sobre las redes UMTS se ha efectuado en base a las recomendaciones internacionales. En la figura 4.1 se indica los aspectos de QoS.

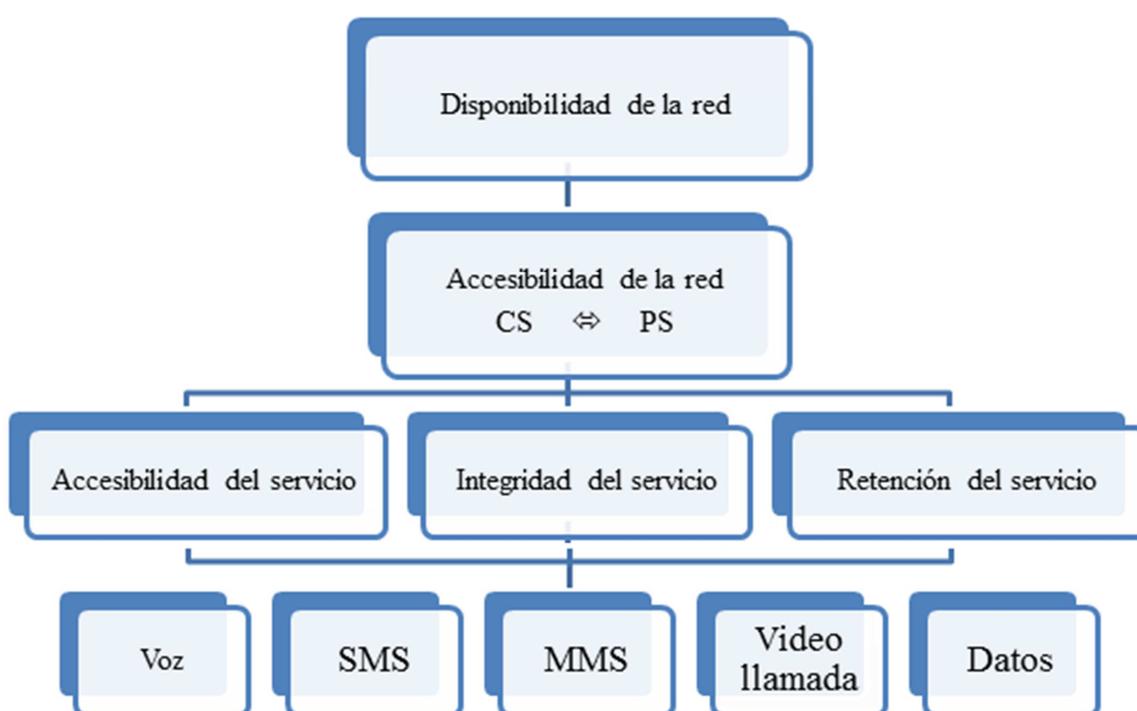


Figura. 4.1. Aspectos de QoS y sus correspondientes parámetros de QoS [43]

4.2.1 Parámetros de QoS relacionados con la disponibilidad y accesibilidad de la red

La guía técnica ETSI EG 202 057-3 señala los parámetros de QoS específicos al servicio móvil y define los siguientes criterios de calidad independientes del servicio [44]:

- Cobertura de red.
- Disponibilidad de la red.

La recomendación 3G TR 22.925 señala los siguientes parámetros de QoS relacionados con la velocidad, precisión y disponibilidad de la red [45]:

- Tiempo de acceso a la red.
- Tiempo de invocación del servicio.
- Tiempo de cambio del perfil de servicio.
- Retención del servicio en *roaming*.
- Tiempo de recibir la información de calidad de servicio.

La especificación ETSI TS 102 250-1 indica los siguientes parámetros de QoS [21]:

- Indisponibilidad de la red de radio.
- Inaccesibilidad de la red.
- Tasa de falla de acceso a la red.
- Tiempo de acceso a la red.
- Tasa de falla de activación del contexto PDP (*Packet Data Protocol*).
- Tiempo de activación del contexto PDP.
- Tasa de corte del contexto PDP.
- Tasa de falla de acceso en conexiones de datos.
- Tiempo de acceso a conexiones de datos.

De acuerdo a este antecedente el parámetro de QoS relacionado con la disponibilidad y accesibilidad a la red que es de gran utilidad para el desarrollo adecuado del diseño del sistema de antenas distribuidas (DAS) y además es de mayor interés desde el punto de vista del usuario es el área de cobertura.

4.2.1.1. Área de cobertura

El área de cobertura en un sistema móvil celular es el espacio dentro del cual se tendrá un nivel de señal que permita la prestación del servicio concesionado. Éste es un factor crítico relacionado con la habilidad para acceder a la red, y constituye el requerimiento absoluto para disponer de cualquier servicio proporcionado por UMTS.

La falta de cobertura temporal o permanente de la red en una determinada ubicación es una de las causas más frecuentes de pérdidas de calidad por parte de la red móvil. Los parámetros que indican la cobertura de un terminal móvil en la plataforma UMTS son: el RSCP (*Received Signal Code Power*) y el E_c/N_o .

- a) **RSCP:** La potencia de señal del código recibido, RSCP, es el nivel de potencia recibida del CPICH¹⁰ (*Common Pilot Channel*) por el UE. El punto de referencia para el RSCP es el conector de la antena del UE, usualmente su unidad de medida es en dBm. En la tecnología UMTS el valor de RSCP ésta en un rango desde -115 a -25 dBm. [47].

En la figura 4.2 se indican los rangos de los niveles de RSCP, identificados por colores en cada uno de ellos, de manera que se pueda diferenciar las zonas con buenos o malos niveles de cobertura.

Niveles	Rangos	Color	
Buenos	● -65 a -25 dBm	Verde claro	
	● -75 a -65 dBm		Verde oscuro
	● -85 a -75 dBm		Azul
Aceptables	● -95 a -85 dBm	Amarillo	
Malos	● -105 a -95 dBm	Tomate	
	● -115 a -105 dBm	Rojo	

Figura. 4.2. Niveles de RSCP [48]

- b) **E_c/N_o :** Representa la relación de la energía por chip recibida del CPICH dividida para la densidad de potencia total en la banda de frecuencia, que incluye la señal e interferencia, usualmente expresado en dB. Este parámetro dentro de las redes UMTS es usado junto a RSCP para la determinación de posibles causas en lo referente a llamadas caídas. El valor de E_c/N_o ésta en un rango desde -24 a 0 dB. [47]

¹⁰ El CPICH (Canal de Control Piloto) transmite una portadora usada para estimar los parámetros del canal; es la referencia física para otros canales. Además es utilizado por el móvil para la selección de la celda, para la medición de la calidad de un enlace de radio (RSCP y E_c/N_o) y para mediciones de celdas adyacentes

En la figura 4.3 se indica los rangos de los niveles de Ec/No, identificados por colores como los de RSCP.

Niveles	Rangos	Color
Buenos	● -6 a 0 dB	Verde claro
	● -8 a -6 dB	
	● -10 a -8 dB	
Aceptables	● -12 a -10 dB	Azul
Malos	● -18 a -12 dB	Amarillo
	● -24 a -18 dB	Tomate
		Rojo

Figura. 4.3. Niveles de Ec/No [48]

4.2.2 Parámetros de QoS relacionados con la accesibilidad, integridad y retención del servicio

Los conceptos referentes a la accesibilidad, integridad y retención del servicio están directamente relacionados con el servicio final que el usuario recibe. Estos servicios son los señalados a continuación:

- Servicio de Voz (CS).
- Servicio de Mensajería Corta (SMS) (PS).
- Servicio de Mensajería Multimedia (MMS) (PS).
- Servicio de Video llamada (CS).
- Servicio de Datos (PS).

El servicio a ser evaluado durante la monitorización es el de voz, debido a que éste nos permite identificar de mejor manera los problemas de la red, mediante los eventos que se pueden presentar durante el uso de dicho servicio, como accesos fallidos, llamadas caídas, calidad de la voz, ect., de manera que es necesario el monitoreo y análisis de éste para el diseño del DAS a desarrollar. El resto de servicios detallados son de igual manera importantes, sin embargo estos se evalúan para verificar el correcto comportamiento de la red y así optimizar los parámetros correspondientes, por ende es primordial su mención.

Los aspectos relacionados con el servicio de voz se puntualizan a continuación:

4.1.1.1. Porcentaje de llamadas caídas.

El porcentaje de llamadas caídas se define como la relación de las llamadas que una vez que se han establecido correctamente se caen o son interrumpidas, con respecto al número total de llamadas establecidas. Una llamada será considerada como caída cuando luego de establecida no pueda mantenerse por causas atribuibles a la red en evaluación, considerando que el evento suscitado sea causado por cualquier causa ajena a la voluntad del usuario.

Se debe tomar en cuenta que no se considerarán como llamadas establecidas cuando:

- El sistema enruta la llamada al buzón de voz o a un sistema de respuesta de voz interactivo (IVR).
- El intento de llamada falló, se verifica cuando se recibe tono de congestión u ocupado.
- El sistema no envía ninguna señalización.
- Existe cruce de llamadas; es decir que la llamada es dirigida hacia otro número telefónico.

El valor objetivo de éste parámetro se representa a través de un porcentaje donde un valor típico es $\leq 5\%$ [41]. No obstante el valor objetivo para este parámetro en los actuales Contratos de Concesión suscritos con las operadoras CONECEL S.A. y OTECEL S.A. es $\leq 2\%$ [49], ya que en el área a analizarse existen radiobases adyacentes en todo el perímetro de su área de servicio.

Este parámetro mide faltas en cobertura, problemas con la calidad de la señal, la congestión de red y fallos de la red. El cálculo del índice de calidad de este parámetro se lo realiza de la siguiente manera:

$$\text{Porcentaje de llamadas caídas} = \frac{\text{Número de llamadas caídas}}{\text{Número de llamadas establecidas}} * 100 \quad (4.1)$$

4.1.1.2. Porcentaje de llamadas establecidas.

Es el porcentaje que representa el número de llamadas establecidas correctamente respecto al número de intentos de llamadas, en un periodo de medición. Se aplica a las llamadas originadas y terminadas dentro de la misma red.

Se consideran llamadas establecidas exitosamente a los siguientes casos:

- El usuario llamado contesta.
- El terminal llamado está ocupado. En este caso el destino es el tono de ocupado, la casilla de voz del abonado o un dispositivo interceptor.
- El terminal llamado está ocupado o se encuentra fuera del área de servicio, con lo cual se en ruta al casillero de voz.
- El terminal llamado recibe la llamada pero no contesta, en este caso el destino es el casillero de voz o un dispositivo de voz.
- El terminal se encuentra con el servicio restringido por falta de pago o a petición del abonado, en este caso el destino es el casillero de voz.
- El usuario ha marcado un número no existente, el destino es el anuncio grabado correspondiente.
- El terminal llamado timbra, no contesta la llamada y se desconecta.

El valor objetivo de éste parámetro no debe ser menor al 95% [49]. El cálculo del índice de calidad de este parámetro se lo realiza de la siguiente manera:

$$\text{Porcentaje de llamadas establecidas} = \frac{\text{Número de llamadas establecidas}}{\text{Número total de intentos}} * 100 \quad (4.2)$$

4.3. DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA EL MONITOREO DE LOS PARÁMETROS DE QoS EN LA INTERFAZ DE AIRE UMTS

El objetivo de la definición del siguiente protocolo de pruebas es establecer el procedimiento de medición de los parámetros de QoS para el servicio SMA sobre redes móviles UMTS y los recursos a usar, con el fin de efectuar mediciones en ambiente real para la obtención de valores objetivos prácticos.

Los parámetros de QoS serán monitoreados para la operadora CONECCEL S.A., ya que en base al análisis realizado en el Capítulo I se tiene un mayor número de abonados UMTS en dicha operadora y adicionalmente el número de radiobases UMTS en Pichincha son similares a las de la operadora OTECEL S.A.

El monitoreo de los parámetros en la interfaz de aire UMTS en el C.C.I. se efectuarán en un día atípico y en un día normal, debido a que el comportamiento de la red es diferente, esto quiere decir que la red puede superar la capacidad soportada en días especiales, con lo cual la interferencia aumentaría y la QoS se degradaría.

La metodología para la obtención de los parámetros de cobertura en la interfaz aire UMTS en el interior del Centro Comercial Iñaquito se describe a continuación:

4.3.1 Metodología de las mediciones de cobertura

Las mediciones de cobertura sobre la tecnología UMTS, se realizarán con dos teléfonos móviles: uno en modo inactivo (*Idle*) y otro en modo activo (llamadas cortas).

4.2.1.1. UE en modo inactivo.

El objetivo de utilizar un teléfono en modo inactivo es para obtener los niveles de cobertura y calidad. Además de verificar si el UE queda por fuera de servicio en algún instante.

En modo inactivo el comportamiento del UE se presenta de la siguiente manera: cuando el UE es encendido, se selecciona una PLMN y busca una celda conveniente para acampar¹¹ en ella, sin embargo si después de esta selección, se ha encontrado una celda más conveniente se efectúa un proceso de re-selección. El propósito de selección o re-selección de una celda adecuada permite al UE la recepción de información del sistema a través del canal de control, el envío de mensajes de “*paging*” o la recepción de servicios *broadcast* de la celda. [41]

¹¹ El término acampar se refiere a que el UE selecciona una celda conveniente para que le proporcione los servicios disponibles y la señalización correspondiente del canal de control.

Este procedimiento es efectuado con el propósito de encontrar la red que permite al móvil utilizar sus recursos. Durante este procedimiento el UE escanea todos los canales RF en las bandas de operación del UTRA, y en cada portadora el UE busca la celda con la señal más fuerte para leer su información del sistema como se indica en la figura 4.4.

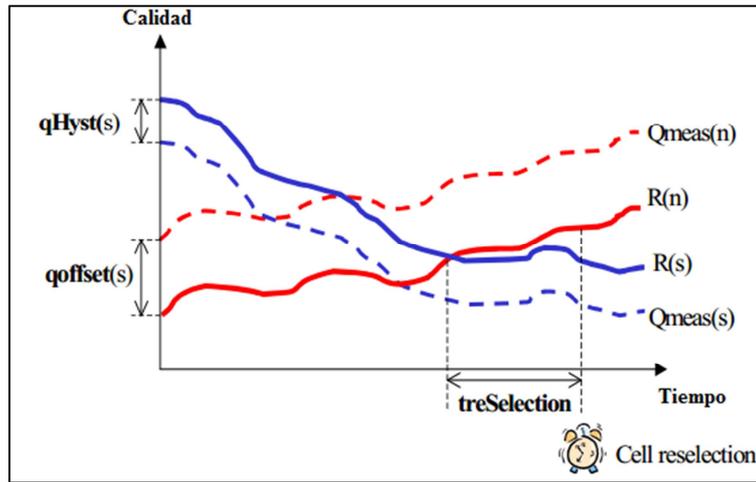


Figura. 4.4. Proceso de re-selección del UE en modo *Idle*. [42]

4.2.1.2. UE en modo activo.

El objetivo de utilizar un teléfono en modo activo (llamadas cortas) es validar que se cursen correctamente las llamadas y que no existan problemas que incidan en el servicio celular.

Las llamadas de prueba realizadas son de tipo *on net*, es decir el destino de la llamada es en la misma operadora, la elección de llamadas *on net*, se debe a que el análisis a realizarse es a nivel de la interfaz aire de la misma operadora. Las llamadas tendrán un tiempo de duración de 45 segundos, y el tiempo de espera entre cada llamada será de 30 segundos. [49]

En la Tabla. 4.1, se presenta un resumen del protocolo de pruebas a efectuarse :

Tabla. 4.1. Tipo de pruebas realizadas.

Servicio	Características
1 UE modo inactivo	N/A
1 UE modo conectado (llamadas cortas)	Duración: 45 seg. Tiempo entre llamadas: 30 seg.

4.3.2 Herramientas de monitoreo y análisis

Las mediciones de estos parámetros de QoS se realizaron por medio del *walk test*¹² en el interior del C.C.I., para lo cual se utilizó el software *TEMS Pocket Profesional 9.1* [50], que es una herramienta para verificación, mantenimiento y resolución de problemas en redes de telefonía móvil celular; este software está implementado en dos teléfonos móviles Nokia C5-00.

TEMS Pocket permite almacenar muestras y eventos de la red de telefonía móvil a analizar, y los presenta en la pantalla del teléfono; adicionalmente la información obtenida es recopilada en un archivo .log para poder analizarla con el software *TEMS Investigation*. [50]

El área en el cual se tomaron las mediciones fue en los pasillos de los tres pisos del Centro Comercial Ñaquito previa autorización para el ingreso al mismo.

4.4. ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

En base a los parámetros previamente establecidos, a continuación se presentan los resultados obtenidos de la operadora CONECEL luego del post-procesamiento a través del *TEMS Investigation* y el análisis correspondiente.

En la Tabla. 4.2 se indica la cantidad de llamadas de prueba realizadas en los tres pisos, así como la información de los eventos asociados a dichas llamadas.

¹² *Walk test* es una técnica basada en la realización de medidas discretas, en zonas concretas y períodos de tiempo determinados, mediante algún equipo y/o teléfonos capaces de recibir y decodificar la señal radio.

Tabla. 4.2. Eventos del UE en modo conectado (Llamada corta).

Día del <i>walk test</i>	Número de piso	Intentos de llamadas	Llamadas establecidas exitosamente	Llamadas fallidos	Llamadas caídas
Normal - Martes (11 am – 14 pm)	Planta Baja	7	7	0	0
	Piso 2	8	8	0	0
	Piso 3	4	4	0	0
	Total	19	19	0	0
Atípico - Sábado (11 am – 14 pm)	Planta Baja	8	7	0	1
	Piso 2	9	9	0	0
	Piso 3	6	6	0	0
	Total	23	22	0	1

De los datos obtenidos en la Tabla 4.2 en el día Martes (normal) se determinan los siguientes aspectos:

- **Porcentaje de llamadas caídas:** No se produjeron eventos de llamadas caídas o accesos fallidos de los 19 intentos de llamadas efectuadas, con lo cual el porcentaje de llamadas caídas es 0%, cumpliendo satisfactoriamente con el valor objetivo establecido por el ente regulador ($\leq 2\%$).
- **Porcentaje de llamadas establecidas exitosamente:** En este aspecto, de los 19 intentos de llamadas realizadas, los 19 fueron establecidas exitosamente sin caerse ninguna de estas llamadas, con lo cual el porcentaje de las llamadas que lograron conexión con el usuario llamado dentro de la red de la operadora es del 100%, es decir se cumple satisfactoriamente con el valor objetivo $\geq 95\%$.

Por otro lado de los datos obtenidos el día Sábado (atípico) se determinan los siguientes aspectos:

- **Porcentaje de llamadas caídas:** Se produjo una llamada caída, con lo cual el porcentaje de llamadas caídas es 4,34%, superando así el valor objetivo establecido por el ente regulador ($\leq 2\%$). Sin embargo se debe tomar en cuenta que este porcentaje está calculado en base al número de intentos de llamadas realizadas (ecuación 4.1), con lo que al existir un número de intentos de llamadas bajo (23 llamadas) el valor es mayor, a pesar de tener una llamada caída. Por tal motivo el valor no se considera significativo.

- **Porcentaje de llamadas establecidas exitosamente:** En este aspecto, de los 23 intentos de llamadas realizadas, uno fue llamada caída y el resto se establecieron exitosamente, con lo cual el porcentaje de las llamadas que lograron conexión con el usuario llamado dentro de la red de la operadora es del 95,65%, de acuerdo a la ecuación 4.2., cumpliendo con el valor objetivo.

En resumen de las muestras obtenidas en las pruebas tanto en el día normal como en el día atípico, se obtuvo un total de diecinueve y veinte y tres intentos de llamadas respectivamente. De los intentos de llamadas en el día normal (Martes) no existieron llamadas fallidas ni caídas, mientras que en el día atípico (Sábado) se presentó una llamada caída en la planta baja en el ala sur, aproximadamente a la altura del local Creaciones Imperio; la causa de este evento se originó por los bajos niveles de calidad que existieron en el área de estudio como se observa en la figura 4.7 y 4.8 de la sección 4.4.1.

A continuación se presenta el análisis de las mediciones realizadas (*walk test*) en los pasillos de los tres pisos del C.C.I. con el UE en modo inactivo tanto en el día atípico como en el normal.

4.4.1 Área de cobertura UMTS en la Planta Baja

En la planta baja existen varias zonas de interés, donde un número característico de personas suelen utilizar su teléfono celular o dispositivo inalámbrico. Los Multicines o accesos principales de esta planta son áreas significativas para el análisis de los parámetros de calidad. En la figura 4.5 y 4.6 se presentan los niveles RSCP y Ec/No reflejado en el recorrido (*walk test*) ejecutado en el UE en modo inactivo en el día normal. Mientras que en la figura 4.7 y 4.8 se presentan los niveles RSCP y Ec/No del día atípico.

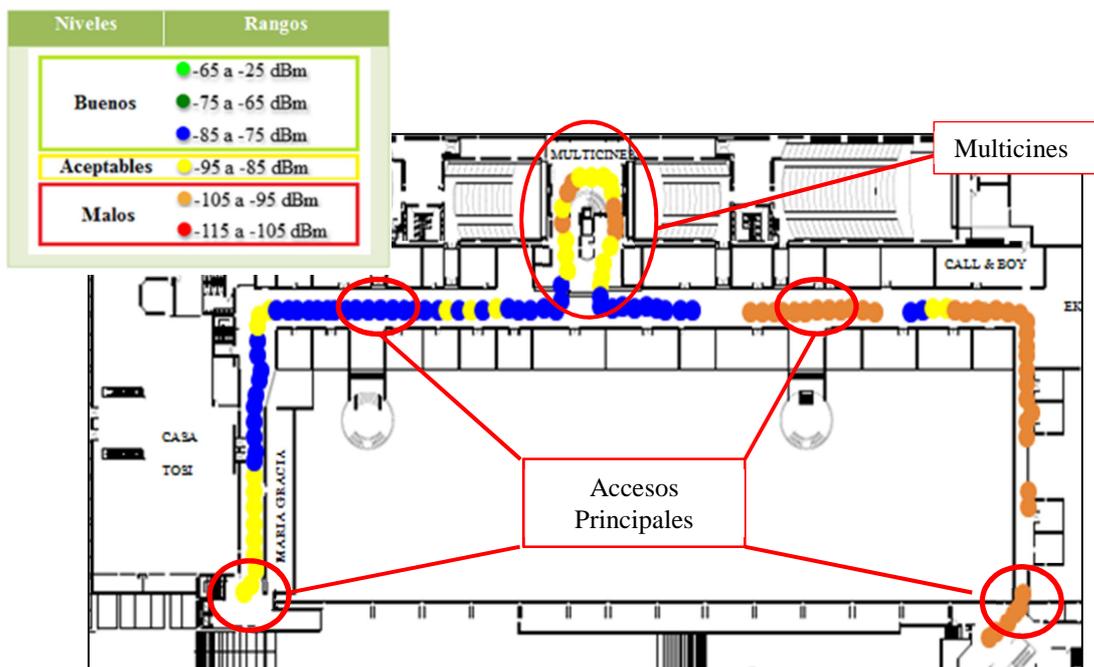


Figura. 4.5. Niveles de RSCP del UE en modo *Idle* en día normal en PB.

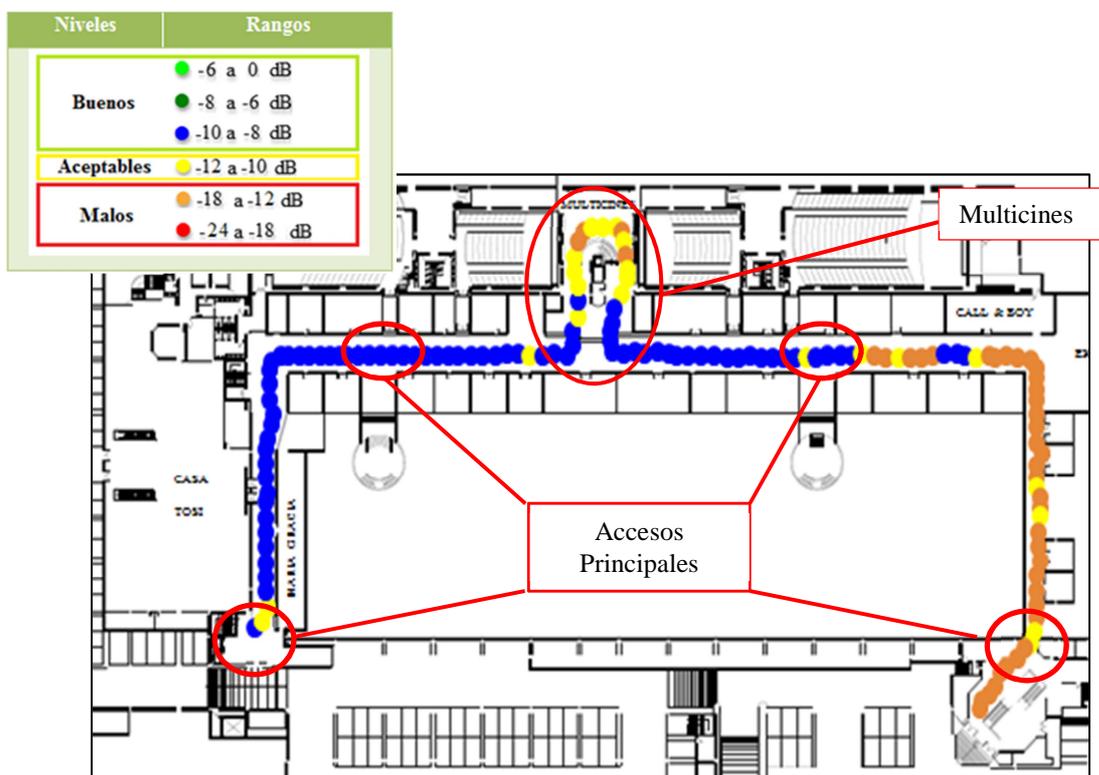


Figura. 4.6. Niveles de Ec/No del UE en modo *Idle* en día normal en PB.

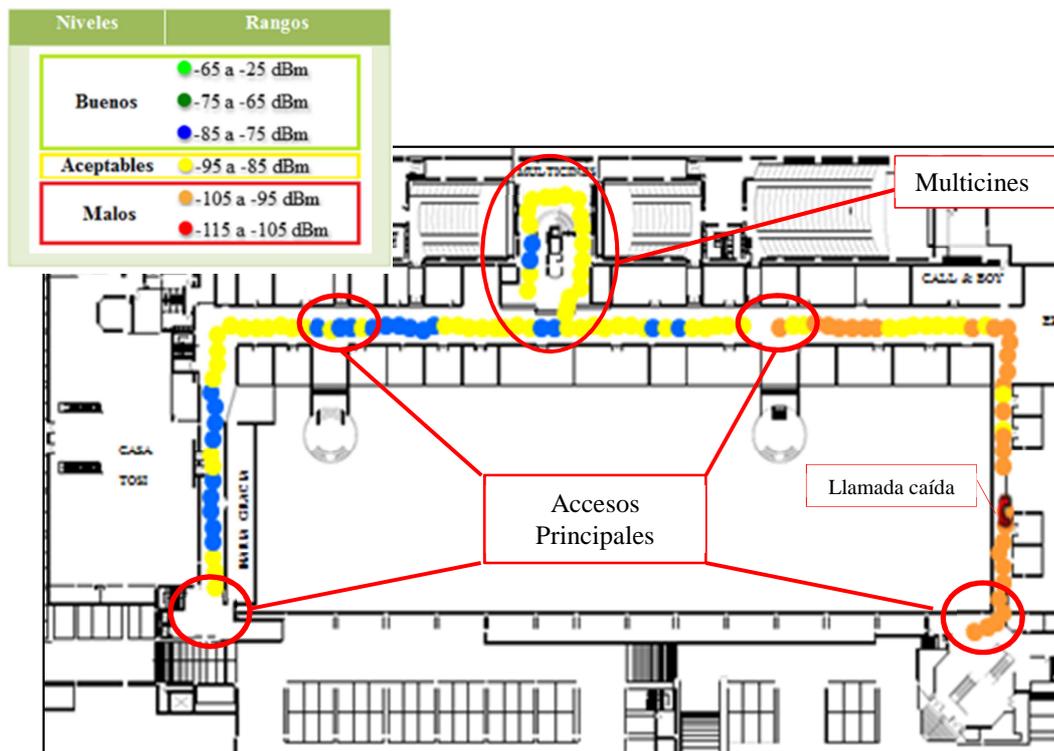


Figura. 4.7. Niveles de RSCP del UE en modo *Idle* en día atípico en PB.

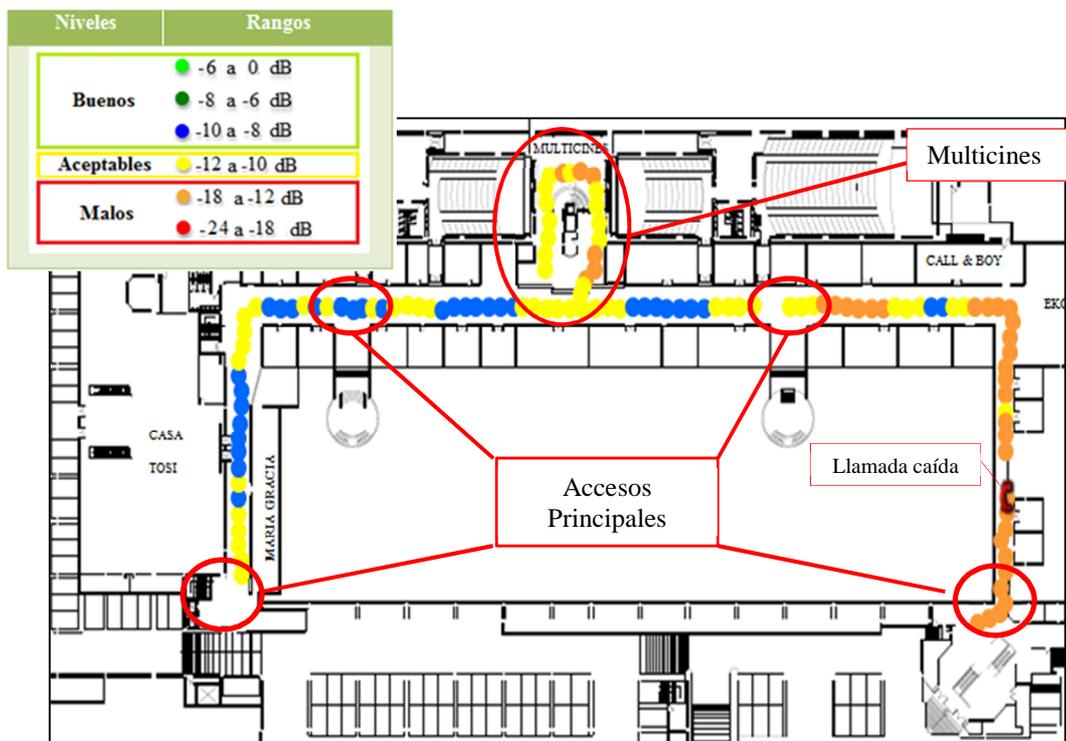


Figura. 4.8. Niveles de Ec/No del UE en modo *Idle* en día atípico en PB.

Como se puede observar los niveles de cobertura (ver Figura 4.5 y 4.7) o RSCP en los lugares de interés se encuentran entre aceptables y malos, tanto el día normal como el

atípico, con lo cual los servicios ofertados de la tecnología UMTS se pueden ver afectados, sobre todo el de datos, puesto que la velocidad disminuiría hasta velocidades comparables a las de la tecnología GPRS, es decir de 384 kbps a 19.6 kbps respectivamente.

4.4.2 Área de cobertura UMTS en el Piso 1

El acceso principal y locales de entretenimiento como el palacio del hielo se encuentran en el piso 1, por lo que el análisis de estas zonas es fundamental. En la figura 4.9 y 4.10 se presentan los niveles RSCP y E_c/N_0 tomados por el UE en modo *idle* el día normal. Y en la figura 4.11 y 4.12 se presentan los niveles RSCP y E_c/N_0 del día atípico.



Figura. 4.9. Niveles de RSCP del UE en modo *Idle* en día normal en el Piso 1.



Figura. 4.10. Niveles de E_c/N_0 del UE en modo *Idle* en día normal en el Piso 1.

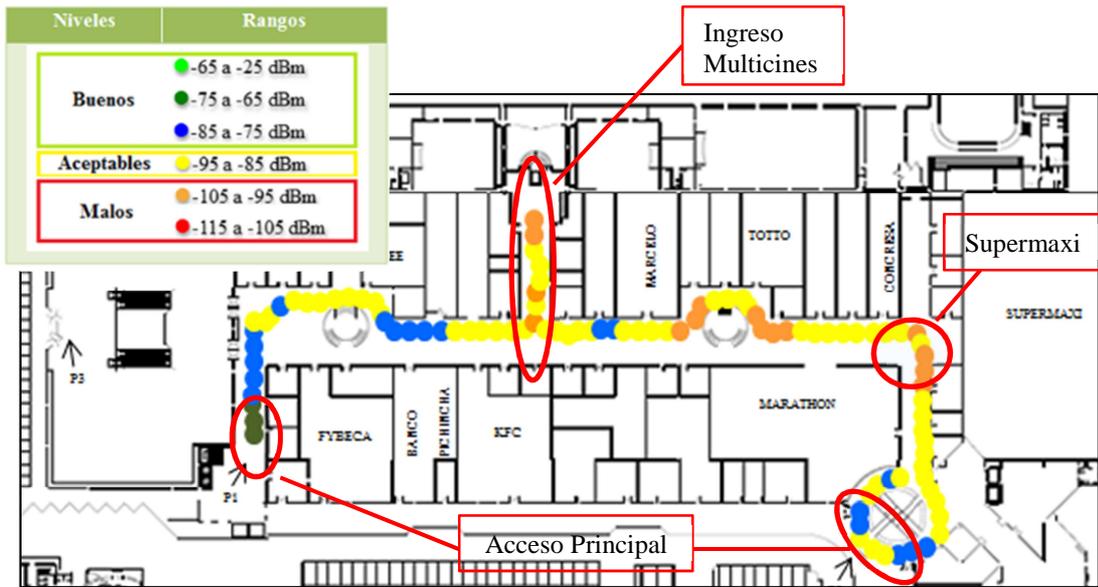


Figura. 4.11. Niveles de RSCP del UE en modo *Idle* en día atípico en el Piso 1.



Figura. 4.12. Niveles de Ec/No del UE en modo *Idle* en día atípico en el Piso 1.

Como se observa en la figura 4.9 y 4.11, los niveles de RSCP del día normal con respecto a los del día atípico se mantienen en varias zonas. Sin embargo los niveles de Ec/No del día atípico se ven notablemente inferiores a los que se obtuvo en el día Martes (día normal), con lo cual se puede asegurar que el motivo de estos resultados se debe a la presencia de mayor tráfico en la red, debido a que existe una interferencia mayor en el día atípico.

Las áreas principales de este piso, que se encuentran encerradas en círculo rojo, presentan en su gran mayoría niveles bajos de calidad, a pesar de que se tienen buenos niveles de cobertura, como es el caso del acceso principal (ver figura 4.11 y 4.12). La causa principal se debe a que no se tiene una celda predominante, por lo que varias celdas interfieren para que el UE se acampe en una de ellas y pueda obtener el servicio deseado.

Se debe tomar en cuenta que en este piso existe una entidad bancaria, por lo tanto la mejora de niveles en esta zona no es primordial. En la figura 4.13 se indica los niveles de RSCP y la ubicación del Banco del Pichincha.



Figura. 4.13. Niveles de RSCP del UE en modo *Idle* en día atípico en el Piso 1.

4.4.3 Área de cobertura UMTS en el Piso 2

El área más importante de todo el Centro Comercial se encuentra en este piso, ya que el patio de comidas es el lugar donde mucha gente se reúne por trabajo, hora de almuerzo o pasatiempo. De manera que existe una demanda mayor para el uso de servicios. En la figura 4.14 y 4.15 se presentan los niveles RSCP y E_c/N_0 tomados por el UE en modo inactivo el día normal. Mientras que en la figura 4.16 y 4.17 se presentan los niveles RSCP y E_c/N_0 del día atípico.

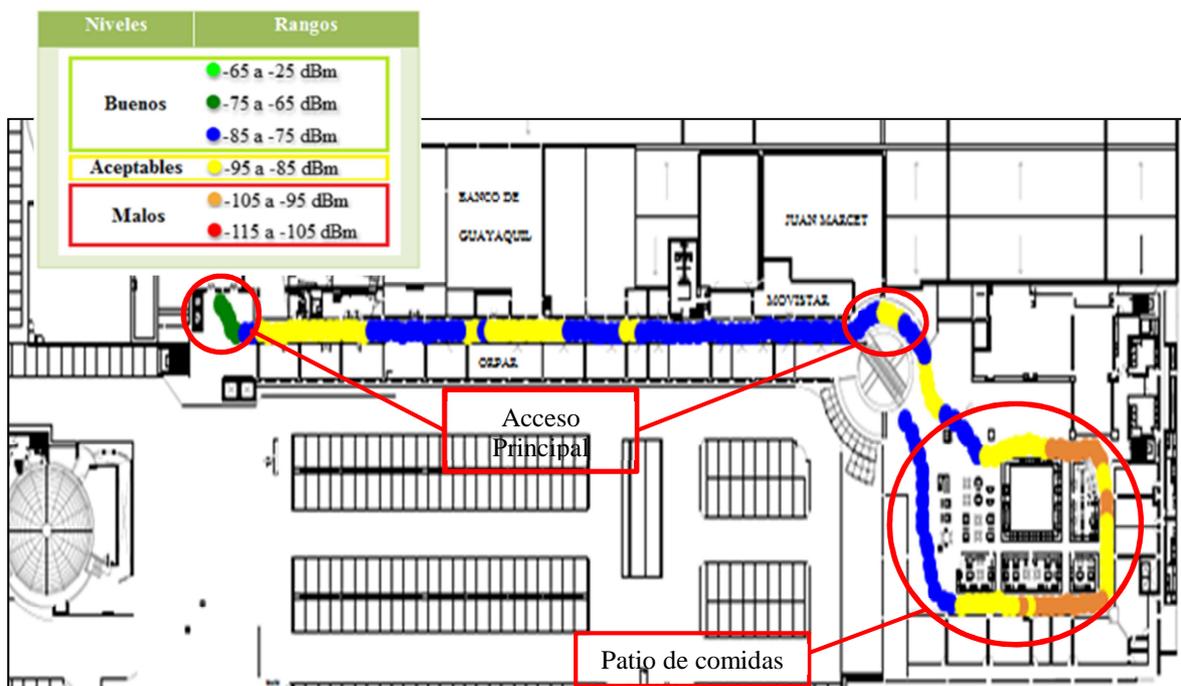


Figura. 4.14. Niveles de RSCP del UE en modo *Idle* en día normal en el Piso 2.

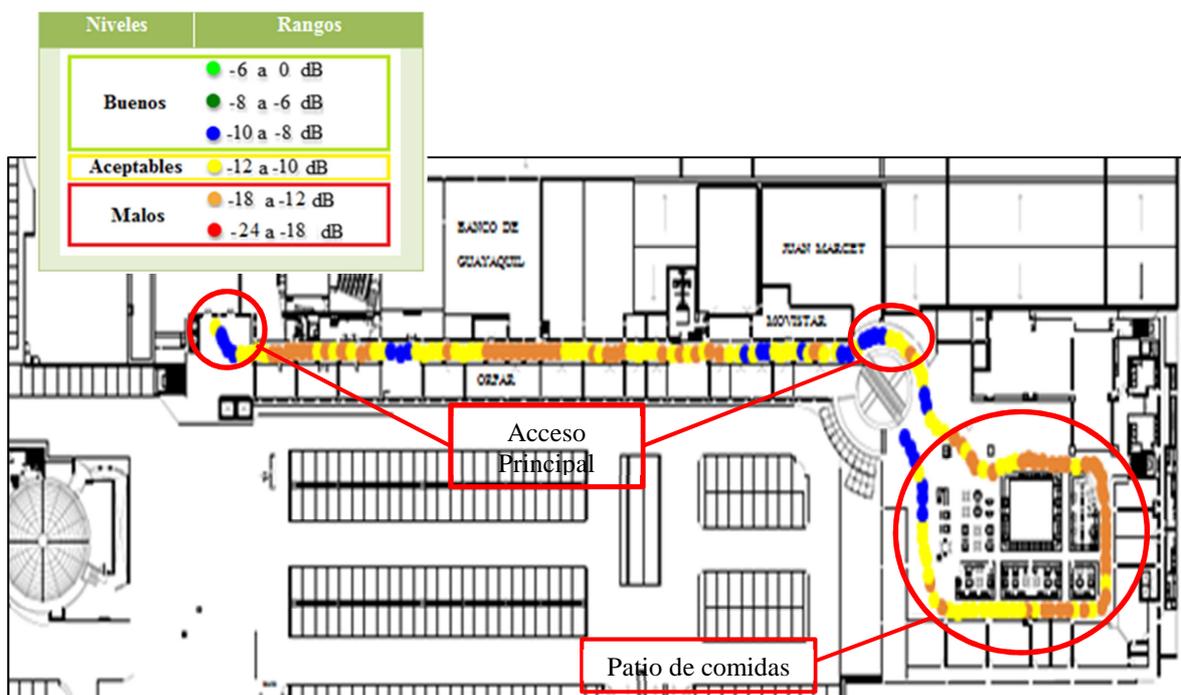


Figura. 4.15. Niveles de Ec/No del UE en modo *Idle* en día normal en el Piso 2.

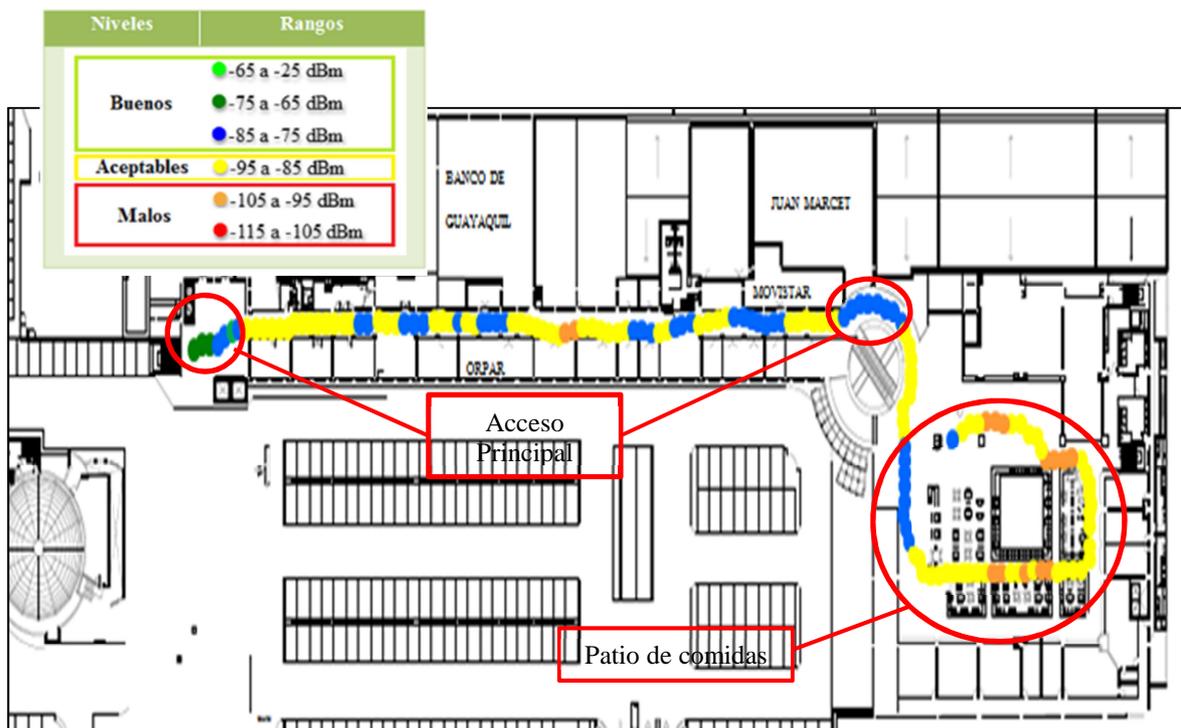


Figura. 4.16. Niveles de RSCP del UE en modo *Idle* en día atípico en el Piso 2.

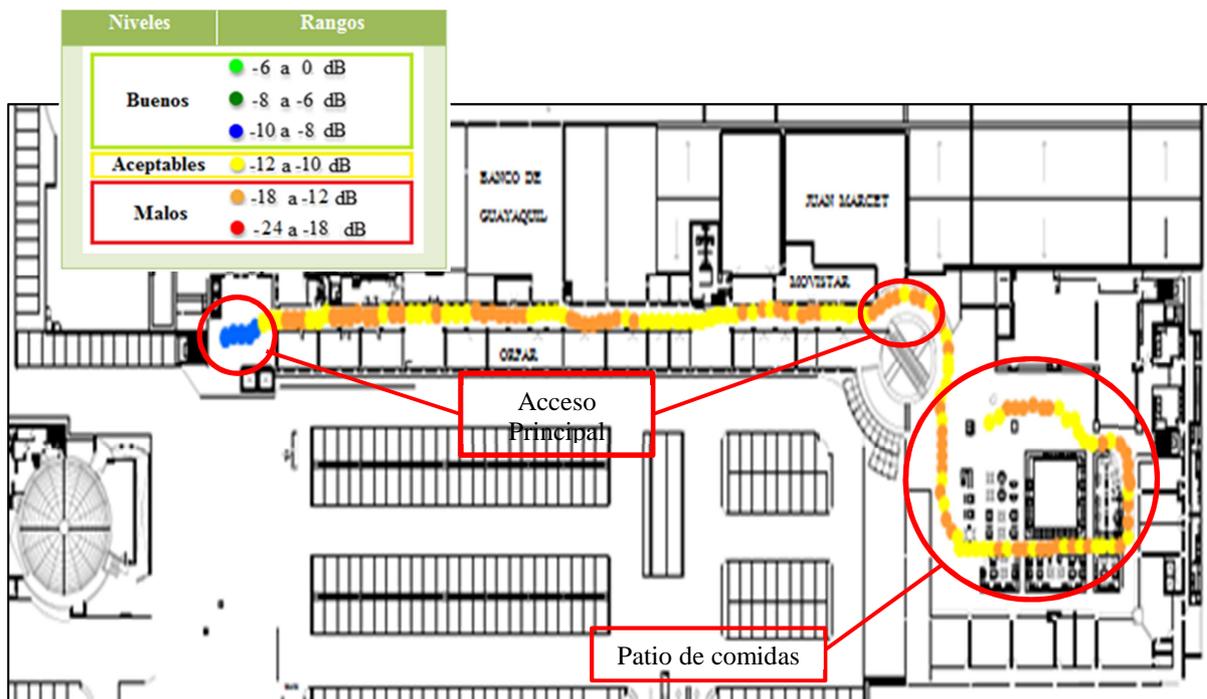


Figura. 4.17. Niveles de Ec/No del UE en modo *Idle* en día atípico en el Piso 2.

En el piso 2 el comportamiento de la red UMTS entre el día normal y el atípico es visiblemente diferente, porque los niveles de cobertura son menores en el día atípico y de igual manera los niveles de calidad.

En el patio de comidas donde se concentra un gran número de personas, los niveles de RSCP y de Ec/No son bajos en su mayoría. Lo mismo sucede en los accesos principales de este piso.

Se debe considerar que al igual que el piso 1 se tiene una entidad bancaria, en este caso el Banco de Guayaquil.

CAPÍTULO V

DISEÑO DEL SISTEMA DISTRIBUIDO DE ANTENAS PARA EL C.C.I.

5.1. INTRODUCCIÓN

Las soluciones de cobertura *indoor* permiten extender los sistemas de comunicaciones de RF a las áreas restringidas. Así la gente puede usar sus teléfonos celulares o dispositivos inalámbricos en las zonas que normalmente no existe cobertura de RF o que dicha cobertura esta por debajo del valor objetivo.

En este capítulo se profundiza plenamente en el diseño de la infraestructura de la red UMTS. Para realizar este diseño, se define el espacio para los equipos UMTS, así como el esquema de conexión del cable coaxial, elementos pasivos y antenas para la distribución de la señal.

Por último se explica como se realiza un balance de potencias, partiendo del esquema unifilar que se ha diseñado. De esta forma se sabe si la potencia que recibe cada una de las antenas se encuentra dentro del margen que recomiendan las empresas de telecomunicaciones como bueno para poder dar servicio.

5.2. DISEÑO PROPUESTO

Tal y como se estudio en el capítulo III, la solución tecnológica a diseñarse para el entorno interior del C.C.I. es un sistema distribuido de antenas pasivo a través de una estación base (BTS/Nodo-B).

El diseño de cobertura propuesto utilizó la siguiente información:

- Información de la cobertura actual al interior de C.C.I. (niveles de señal, porcentaje de llamadas establecidas exitosamente, etc.).
- Planos del Centro Comercial Ñaquito.
- Información y documentación técnica de los equipos.

5.2.1 Esquema General del Sistema

Todo sistema distribuido de antenas celulares se compone de tres elementos básicos que son: la fuente de RF, el sistema de distribución y las antenas de cobertura. En la figura 5.1 se tiene el esquema general del diseño propuesto.

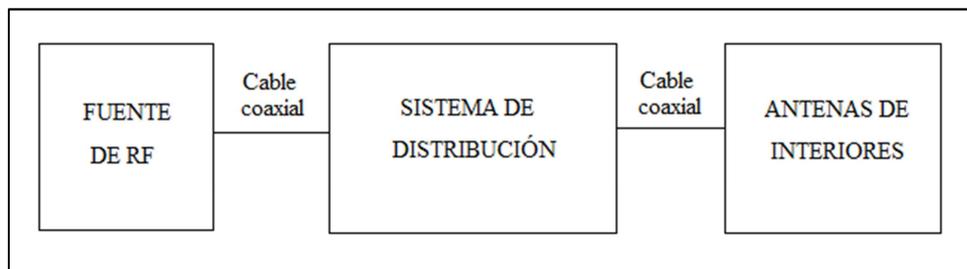


Figura. 5.1. Esquema general del sistema

5.2.2 Equipos utilizados

5.2.2.1. Estación Base (Nodo B).

Para el diseño a desarrollarse se considerará una RBS3308 del fabricante Ericsson, ya que dicho equipo es aplicable en escenarios de cobertura *indoor* [51] y además nos provee la potencia necesaria para dicho sistema, como se detalla en las características técnicas del Anexo A.

La estación base RBS3308 soporta HSDPA y HSUPA.

5.2.2.2. Elementos pasivos.

Los datos técnicos de los elementos pasivos del DAS se describen en el Anexo B entre estos tenemos los *splitters* marca Kathrein (860-10017 y 860-10018), los *tappers* marca Kathrein (860-10020, 860-10021 o 860-10022), el cable coaxial de marca Andrew

tipo 7/8" HELIAX LDF5-50A con conectores L5PNM-RPC y tipo 1/2" HELIAX LDF4-50A con conectores L4PNM-RC.

5.2.2.3. Antenas para interiores.

Como antenas de cobertura para interiores se consideran antenas omnidireccionales modelo 800-10249 de Kathrein con 2 dBi de ganancia y antenas direccionales modelo 800-10465 de Kathrein de 7 dBi de ganancia (ver Anexo C).

Con el fin de no desarmonizar con la simetría y arquitectura de los elementos instalados en el C.C.I. las antenas consideradas tienen un diseño, tamaño y color que disminuye el impacto visual como se indica en la figura 5.2, de manera que sean poco percibidas por las personas.



Figura. 5.2. Ejemplo de antena omnidireccional montada en cielo falso

5.3. UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN BASE

El espacio considerado para la ubicación de los equipos de la estación base está en la parte superior del local Mundo *Light* (patio de comidas) como se indica en la figura 5.3 y desde aquí será el punto desde el cual se distribuirá la señal radio hacia todas las antenas.



Figura. 5.3. Ubicación de los equipos de la estación base UMTS

En la misma área asignado para la distribución de los equipos existe un ducto por el cual se puede pasar el cable hacia los demás pisos como se indica en la figura 5.4. Adicionalmente cabe señalar que existe disponibilidad de espacio para la distribución del mismo.

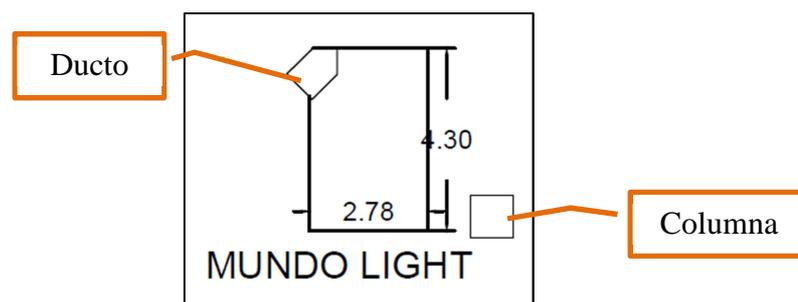


Figura. 5.4. Localización del ducto para la distribución del cable.

5.4. POSICIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS PASIVOS Y ANTENAS

Como se ha visto en las especificaciones técnicas de la RBS 3308 (Anexo A), la potencia de salida es de 43dBm (20W), de la cual el 10% es asignado para el CPICH

(*Common Pilot Channel*) y el resto para los canales de tráfico [9]. En nuestro caso la potencia es de 33 dBm (2W), a este valor se le restarán las pérdidas y atenuaciones de los cables (feeder), conectores, spitters, tappers y ganancia de las antenas a utilizar.

El área objetivo consta de tres pisos, por lo que lo primero que se debe conseguir es dividir la potencia por plantas, de manera que en el piso 1 y PB haya más potencia para repartir que en la P2, ya que la RBS se encuentra en el piso superior, por lo cual existirá menos pérdidas hacia las antenas.

En la figura 5.5 se presenta el esquema principal del diseño a desarrollarse.

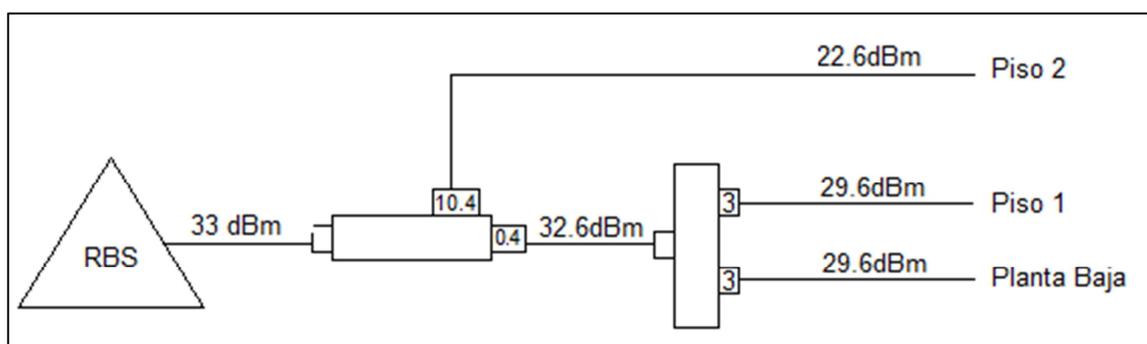


Figura. 5.5. Esquema Principal

Como podemos comprobar, sin tener en cuenta la longitud de los cables, las potencias de salida para cada planta serán conforme se muestran en la Tabla 5.1.

Tabla. 5.1. Potencias de Salida en función de la Planta

Planta	Potencia de Salida (dBm)
Planta Baja	29.6 dBm
Piso 1	29.6 dBm
Piso 2	22.6 dBm

5.4.1 Piso 2

Debido a que el lugar de ubicación de la RBS3308 está sobre este piso se comenzará el diseño en el mismo. En la figura 5.6 se muestra el esquema de cableado.

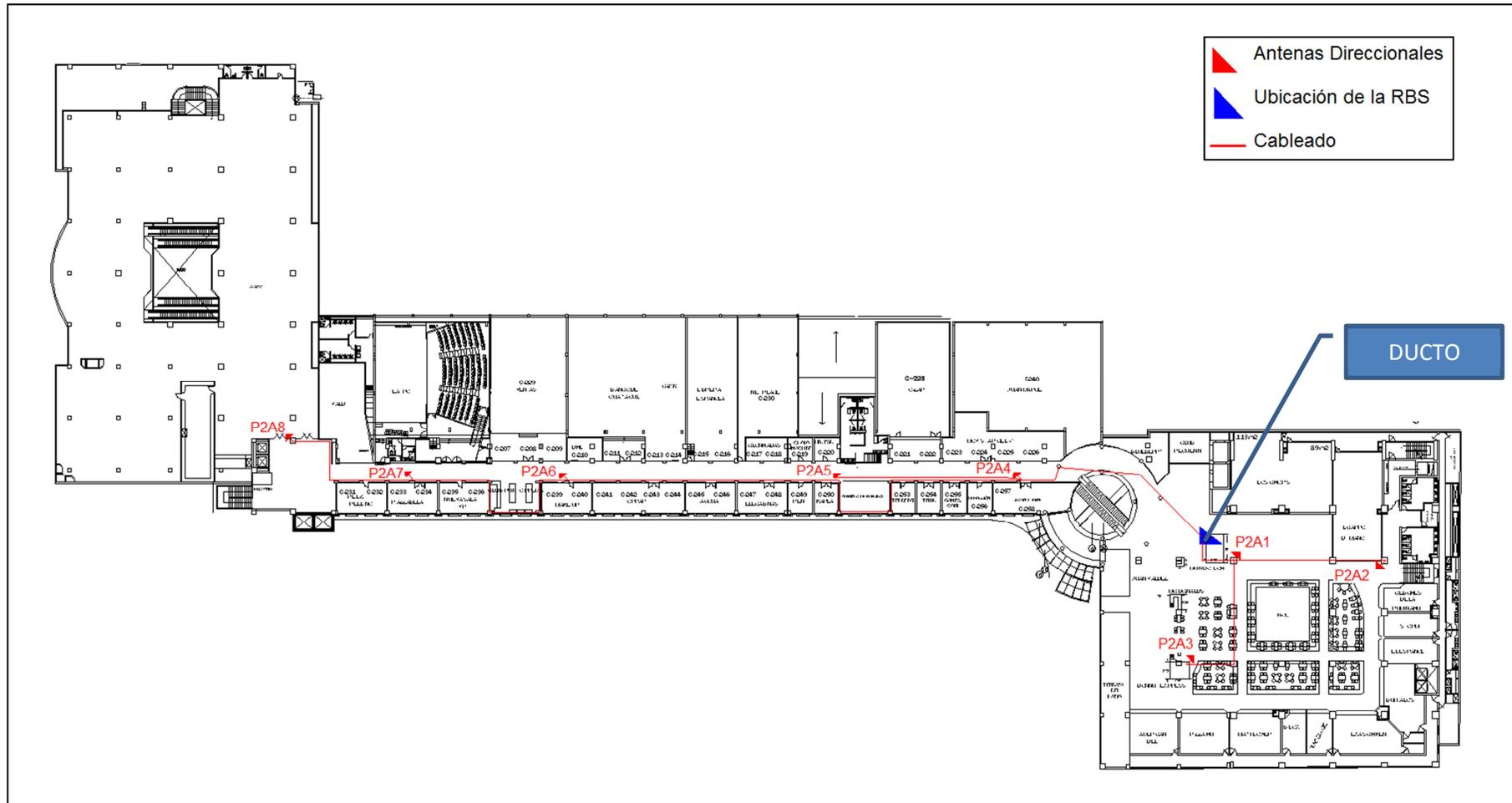


Figura. 5.6. Esquema de cableado Piso 2

En el plano del Piso 2 se plantea la ubicación de 8 antenas direccionales, logrando con esto un esquema como el que se muestra en la figura 5.7.

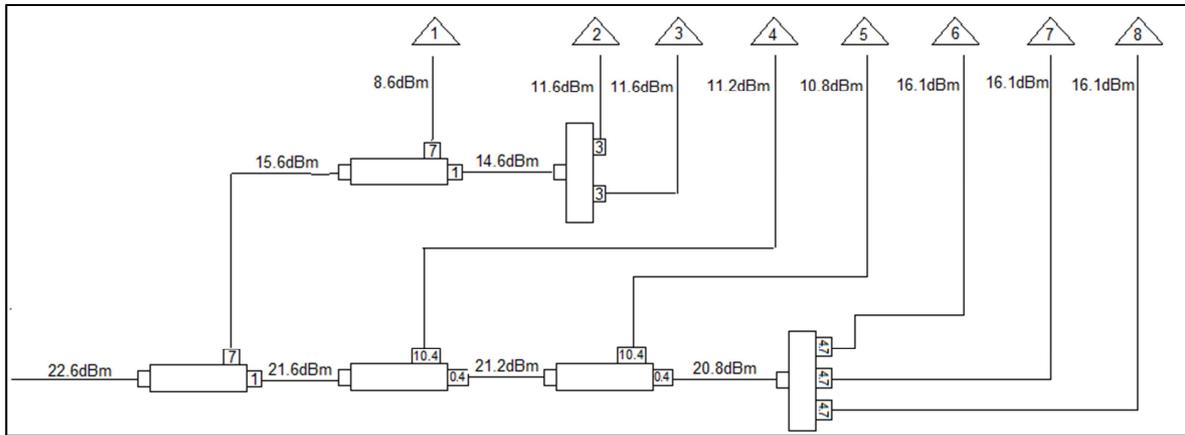


Figura. 5.7. Resultado de potencias del piso 2 sin atenuación del cable.

En este caso se podrían haber puesto divisores, pero con los acopladores lo que se consigue es que las antenas más alejadas del nodo tengan más potencia, ya que aún no se ha calculado las pérdidas por cables.

La potencia de cada antena considerando la atenuación del cable y la ganancia de la misma se detalla en la sección 5.5.

5.4.2 Piso 1

A diferencia del Piso 2, el Piso 1 tiene una infraestructura que permite colocar antenas omnidireccionales, debido que el techo no tiene ventanas. En la figura 5.8 se muestra el posicionamiento las antenas y el cableado respectivo.

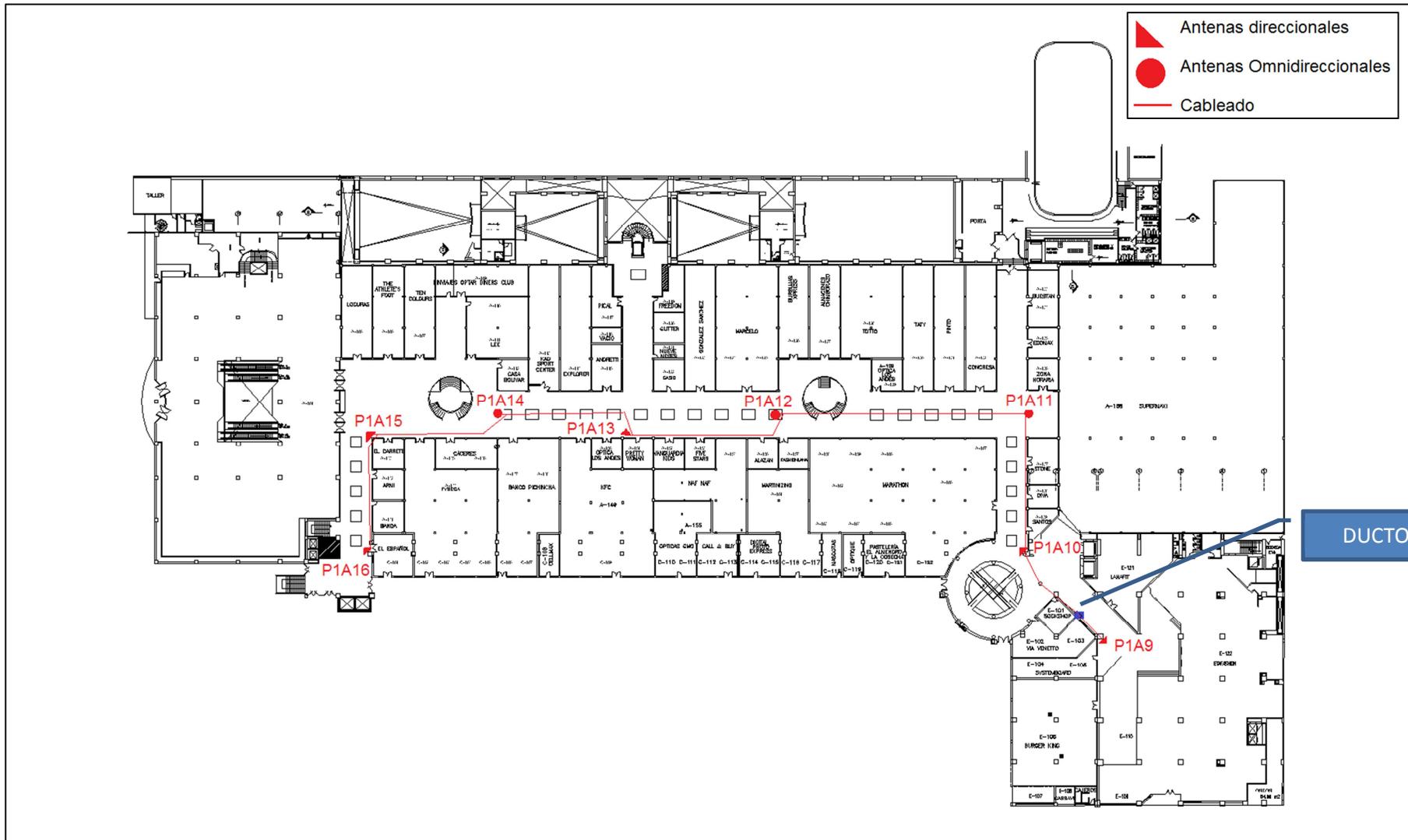


Figura. 5.8. Esquema de cableado Piso 1

En la figura 5.9 se indica el resultado de potencias que tiene cada antena sin la atenuación del cable.

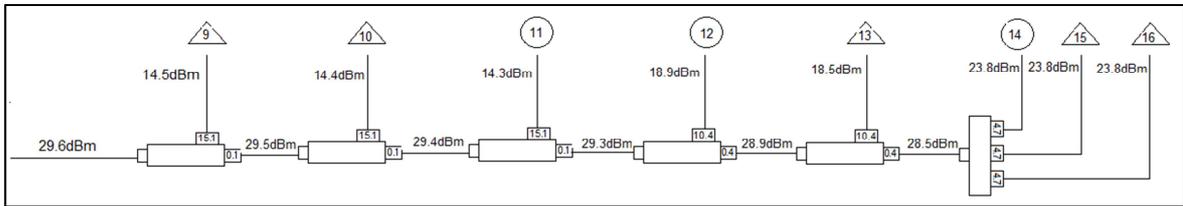


Figura. 5.9. Resultado de potencias del piso 1 sin atenuación del cable.

Al igual que en el esquema del Piso 2 la atenuación del cable no se está considerando, ni siquiera la ganancia de la antena. En la sección 5.5 se indica este valor, a la vez se muestra la potencia de cada antena.

5.4.3 Planta Baja

En la figura 5.10 se indica la distribución de las antenas y el esquema de cableado.

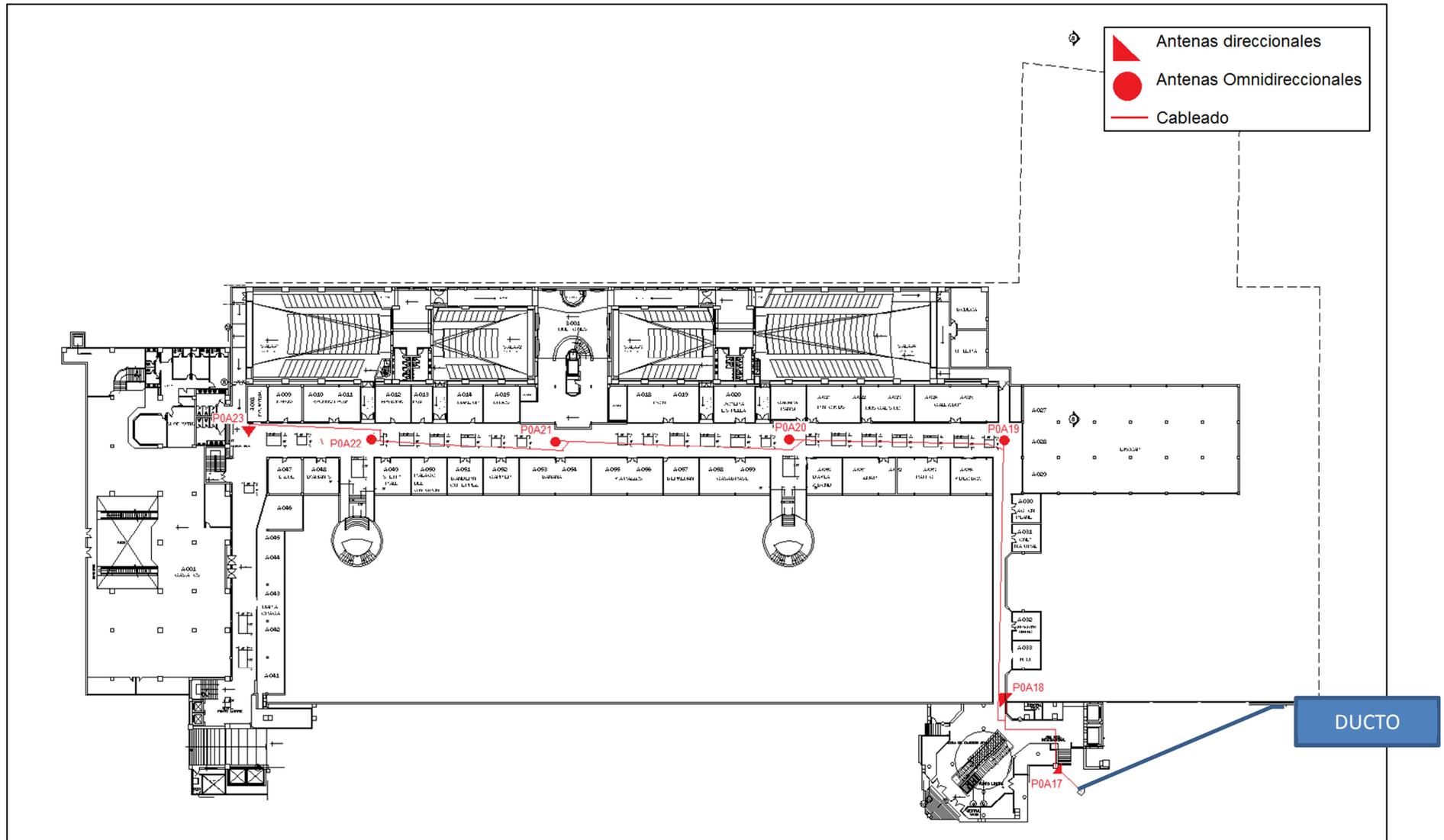


Figura. 5.10. Esquema de cableado Planta Baja

En la figura 5.11 se indica el resultado de potencias que tiene cada antena sin la atenuación del cable.

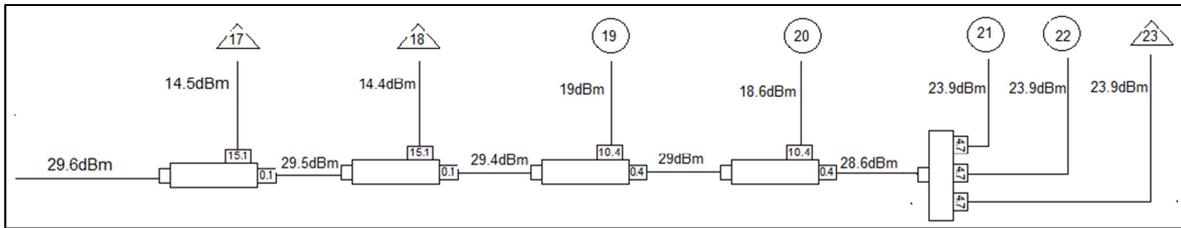


Figura. 5.11. Resultado de potencias de la PB sin atenuación del cable.

En la siguiente sección 5.5 se indica el balance de potencia de los tres pisos.

5.5. ESQUEMA UNIFILAR Y CÁLCULOS DE INGENIERÍA

En el esquema unifilar que se indica en la figura 5.12 se detalla la potencia de cada antena considerando las atenuaciones, tanto de los elementos pasivos como la del cable. Adicionalmente se aprecian las distancias del cableado.

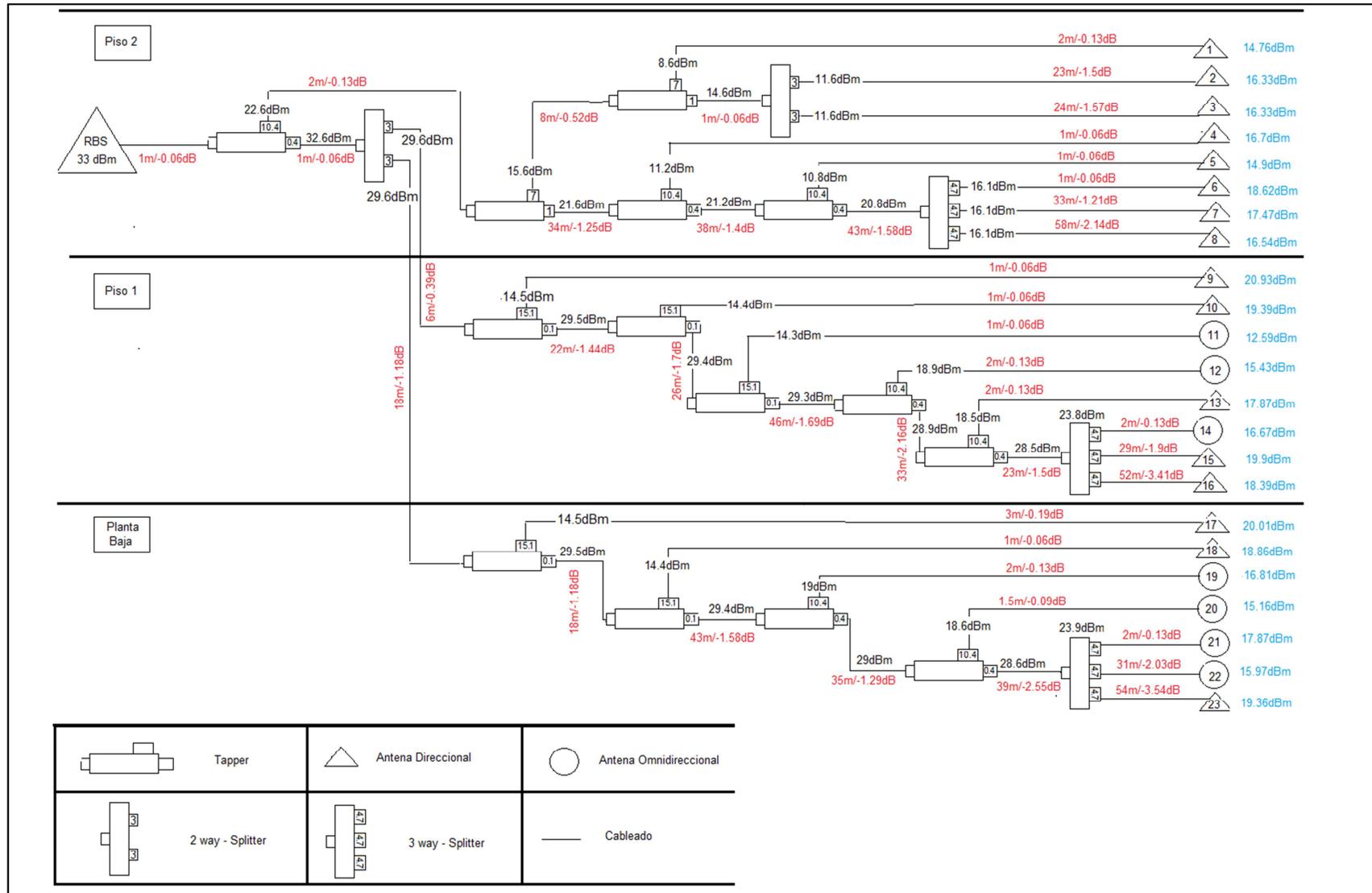


Figura. 5.12. Esquema Unifilar

Se debe señalar que en el esquema unifilar se ha tenido en cuenta la atenuación del cable por distancia, más no la de los conectores. Debido a que la potencia de salida de la antena es tan buena que si tuviéramos 10 conectores a 0,2dB de atenuación por cada uno, nos restaría 2dB y la potencia seguiría siendo buena, es decir, estaría dentro del rango recomendada por la empresa de telecomunicaciones Ericsson, el cual es de 0dBm a 20dBm (1mW – 100mW). [57]

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- ✓ Con el desarrollo del presente trabajo se ha logrado efectuar un diseño acorde a la infraestructura del lugar, ya que actualmente los niveles de cobertura del sistema UMTS al interior del C.C.I. de la operadora CONECEL se encuentran en su gran mayoría dentro del rango de niveles considerados como bajos, tanto en cobertura como en calidad, teniendo así niveles de cobertura (RSCP) menores a -95dBm y niveles de calidad (E_c/N_o) menores a -12dB .
- ✓ El *walk test* es una prueba sumamente importante al momento de realizar un diseño al interior de una edificación, ya que se puede identificar de mejor manera las áreas con bajos niveles de cobertura, mediante las mediciones obtenidas, puesto que con dichas pruebas se consiguen ver los niveles de señal, los niveles de interferencia, la calidad de la llamada, como también se pueden ver todos los eventos que ocurren mientras se realiza la llamada como: accesos fallidos, llamadas caídas, etc.
- ✓ Las soluciones en ambientes *indoor* amplían el área de cobertura, facilitando la propagación de la señal, por eso es primordial comprender que las estaciones base de sitio *indoor* transmiten a una potencia menor que las de sitios *outdoor*, ya que ahora para alcanzar los lugares mas inaccesibles es mucho más fácil llegar, debido a que la antena se encuentra prácticamente donde uno lo desea. También de esta manera se produce un ahorro energético al operador y se reducen los niveles de interferencia.
- ✓ El cálculo de potencias permite realizar un equilibrio en las potencias de todas las antenas del sistema, para que la solución sea homogénea en todos los niveles del lugar. Además se puede verificar la factibilidad de la futura realización del

proyecto, tomando en cuenta que la potencia de la antena debe estar dentro del rango recomendado, es decir, entre 0dBm y 20dBm.

- ✓ El despliegue de soluciones dedicadas en espacios interiores donde se producen altas densidades de tráfico de servicios móviles ofrece beneficios y oportunidades a los operadores móviles así como a los propietarios o gestores de estos espacios. Para los operadores móviles, estas soluciones permiten incrementar la capacidad de sus redes a la vez que mejoran la calidad de la cobertura interior en aquellos lugares en los que se produce una elevada demanda de servicios. Además, les permite profundizar en el proceso de sustitución fijo-móvil así como asegurar la propagación de su servicio de banda ancha móvil. Para los gestores de estos lugares, el despliegue de estas soluciones les ofrece la posibilidad de participar en los mismos con el objetivo de capturar el máximo valor posible o bien solicitar a los operadores contraprestaciones económicas por la ocupación del dominio físico de su propiedad.

6.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Al momento de diseñar la distribución de las antenas, es muy importante tener en cuenta la idea de cómo se va a propagar la señal en el sitio en donde se desplegará el sistema, con esto se busca brindar buenos niveles de señal en el interior de la edificación.
- ✓ El uso de una estación base es la forma más sencilla y recomendada para el sistema de antenas distribuidas en ambientes interiores. Sin embargo, en grandes edificios donde el objetivo fundamental es brindar cobertura en extensas áreas y por ende los valores de pérdidas a considerar serán mayores el uso de una BTS no será suficiente, por lo que en muchas ocasiones el uso de más de una BTS será necesario.
- ✓ Debido a la demanda de los usuarios del servicio móvil avanzado el negocio de la telefonía móvil celular y actualmente de la prestación del SMA en la tecnología UMTS seguirá creciendo, y conforme pasa el tiempo ya no únicamente requeriremos la comunicación a través de la voz, sino también tendremos la

imperiosa necesidad de conectarnos al mundo con tasas de velocidad cada vez más altas. Por tal motivo es misión de las operadoras de dicho servicio y a los organismos de regulación y control de las telecomunicaciones el entregar un servicio de calidad, con mejoras para que satisfagan la necesidad de los ecuatorianos.

- ✓ La migración a 3G y 3.5G conlleva a un mejoramiento en el rendimiento de la red de acceso, sin embargo, esto debe ir de la mano con un mejoramiento en el manejo interno del tráfico, para poder sacar mayor provecho a las características superiores que tiene 3G con respecto a las tecnologías 2G.
- ✓ Los costos para implementar este tipo de infraestructura son altos, por lo que un análisis minucioso de la red (interfaz de aire) es de vital importancia, con el fin de verificar otros parámetros y obtener varias alternativas de solución.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CONATEL, **Reglamento para la prestación del Servicio Móvil Avanzado**, Ecuador 2012.
http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/index.php?option=com_content&view=article&catid=335%3AAtodos&id=114%3AReglamento-para-la-prestacion-del-servicio-movil-avanzado&Itemid=104
- [2] SUPERTEL, **Revista Institucional No. 8**, 2011.
http://www.supertel.gob.ec/pdf/publicaciones/revista_supertel_8.pdf
- [3] MINTEL, **Misión**.
http://www.mintel.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=102&Itemid=70, Marco regulatorio de telecomunicaciones en Ecuador
- [4] CONATEL, **Plan Nacional de Frecuencias Ecuador**, 2012.
http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/index.php?option=com_content&view=article&id=1615%3Aplan-nacional-de-frecuencias-edicion-2012&Itemid=310
- [5] SENATEL, **Línea base de la banda ancha en la república del Ecuador**, 2011.
http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/files/bandaanchaenecuador2011.pdf
- [6] CONATEL, **Estadísticas de servicios de telefonía móvil**, Actualizado Junio 2012.
http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/index.php?option=com_content&view=article&id=671&Itemid=556
- [7] INEC, **Resultados del Censo 2010 de la población y vivienda en el Ecuador**.
http://www.inec.gob.ec/cpv/descargables/fasciculo_nacional_final.pdf
- [8] ASETA, **El Sector de las Telecomunicaciones**.
<http://www.aseta.org/documentos/ECUADORsector.pdf>

- [9] HOLMA Harri, TOSKALA Antti, **WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications**, Tercera Edición, Editorial John Wiley & Sons Ltd, 2004.
- [10] Heikki Kaaranen, Ari Ahtiainen, Lauri Laitinen, Valtteri Niemi, **UMTS Networks Architecture, Mobility and Services**, Segunda Edición, Editorial John Wiley & Sons Ltd, 2005.
- [11] 3GPP, **WARC-92 frequencies for IMT-2000**.
http://www.3gpp.org/ftp/tsg_sa/tsg_sa/TSGS_08/Docs/PDF/SP-000257.pdf
- [12] NOKIA, **System Training: Introduction UMTS**, 2005.
<http://www.telecomsource.net>
- [13] Ericsson, **3G Trial Network Optimization, Graduation Project Report**, 2007.
http://etudionet.com/v0/communaute/xuser/etudionet/docs/Jouini_soufien.pdf
- [14] KABIR, Monzur, **UMTS and CDMA Overview**, TCOM, Abril 2009.
- [15] MILLS, Bridge, **UMTS Air Interface**, Wray Castle, Diciembre 2008.
- [16] 3GPP, TS 23.002, **Network Architecture Release 7**, V. 7.1.0.
<http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/23002.htm>
- [17] 3GPP, R10, TS 23.107, **Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); QoS Concept and Architecture**, V. 10.2.0.
<http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/23107.htm>
- [18] **UMTS Release 99 Architecture**.
http://www.mastertelecomfaster.com/umts/UMTS_re199_3D_animation.swf
- [19] UIT-T, G.1000, **Calidad de servicio en las comunicaciones**, Noviembre 2011.
<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.1000-200111-I/es>

- [20] UIT-T, E.800, **Calidad de los servicios de telecomunicación: conceptos, modelos, objetivos, planificación de la seguridad de funcionamiento – Términos y definiciones relativos a la calidad de los servicios de telecomunicación**, Septiembre 2008.
<http://www.itu.int/rec/T-REC-E.800-200809-I>
- [21] ETSI TS 102 250-1, *Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 1: Identification of Quality of Service criteria*, V 1.2.1, 2007.
http://pda.etsi.org/exchangefolder/ts_10225001v010201p.pdf
- [22] AHCIET, **Las Telecomunicaciones y la Movilidad en la Sociedad**.
http://www.ahciet.net/index.php/estudios/estudios-ahciet/cat_view/5-estudios/18-estudios-ahciet?limitstart=0
- [23] 3GPP, TS 25.401, **UTRAN Overall Description Release 99**, Versión 3.10.0, Junio 2002.
<http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/25401.htm>
- [24] 3GPP, **Description Releases**.
http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/
- [25] Ph. D. Iván Bernal, **Comunicaciones Inalámbricas**, Escuela Politécnica Nacional
http://clusterfie.epn.edu.ec/ibernal/html/CURSOS/Marzo07Agosto07/ComInalam/C-lasesNuevas/3G_JULIO.pdf
- [26] Eduardo Alonso Frech, **Evolución de la radio UMTS**, Telefónica.
http://sociedadinformacion.fundacion.telefonica.com/DYC/SHI/seccion=1188&idoma=es_ES&id=2009100116300147&activo=4.do?elem=3847
- [27] 3GPP, **Broadband evolution to IMT-Advanced, Characteristics of 3GPP Technologies**.
http://www.4gamericas.org/UserFiles/file/White%20Papers/3G_Americas_RysavyResearch_HSPA-LTE_Advanced_FINALv1x.pdf

- [28] Morten Tolstrup, *Indoor Radio Planning: A practical guide for GSM, DCS, UMTS and HSPA*, Primera Edición, Editorial John Wiley & Sons Ltd, 2008.
- [29] CommScope, **Soluciones Integrales para Interiores**.
http://docs.commscope.com/Public/InBuilding_Wireless_Solutions_Brochure_es.pdf
- [30] Ericsson, *Wireless networks for in-building environments*, Abril 2005.
<http://es.scribd.com/doc/58274754/Wireless-Networks-for-in-Building-Ericsson>
- [31] Jack Daniel Company, *Introduction to in-Building Wireless Signal Distribution for Public Safety*, 2007.
<http://www.rfsolutions.com/rfdist.pdf>
- [32] Guillaume de la Roche, Jie Zhang, *Indoor Coverage Techniques*.
<http://es.scribd.com/doc/67205072/Indoor-Coverage-Techniques>
- [33] Ditzel Guerrero, Sergio Andrés, **Estudio y análisis del comportamiento de RF en espacios edificados, In-Building**, Chile, 2008.
<http://es.scribd.com/doc/101043070/23/III-2-4-Cobertura-utilizando-una-RBS-en-una-solucion-In-Building>
- [34] Darrell Davies, *Femtocells in the home*, Motorola, 2007.
http://www.motorola.com/web/Business/Solutions/Technologies/Femtocells/_Documents/Static%20files/Femtocells_Briefing_Paper.pdf
- [35] Ericsson, *The importance of in-building solutions in third-generation networks*, 2004.
http://www.ericsson.com/ericsson/corpinfo/publications/review/2004_02/files/2004_121.pdf
- [36] Antolín Moral, Jorge Pérez Martínez, Arturo Vergara Pardillo, Ana Olmos Sanz, **Análisis Comparado de las Principales Soluciones Dedicadas para la Provisión de Servicios Móviles en Interiores**, Madrid, Septiembre 2008.
http://ursi.usc.es/articulos_modernos/madrid2008/PDF/SC11.pdf

- [37] Alberto Escudero Pascual, **Antenas y cables**, Octubre 2007.
http://www.itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/08_es_antenas_y_cables_guia_v02.pdf
- [38] Ericsson, **Indoor Planning Guidelines**, 2002.
<http://www.docstoc.com/docs/58364118/indoor-planning-wcdma>
- [39] Huawei Technologies, **RAN 12.0 3900 series Node B Product Description**, 2010.
<http://es.scribd.com/doc/62812811/2-7-1-5-RAN12-3900-Series-NodeB-Product-Description>
- [40] Huawei Technologies, **Single BTS**.
<http://www.huawei.com/ec/products/radio-access/signleran/index.htm>
- [41] Ajay R. Mishra, **Advanced Cellular Network Planning and Optimisation 2G/2.5G/3G Evolution to 4G**, Editorial John Wiley & Sons Ltd, 2007.
- [42] ITU, Sami Tabbane, **Radio Network Planning and engineering**, Damscu-Syria, Julio 2009.
<http://www.itu.int/ITU-D/arb/COE/2009/RuralCommunications/Documents/Doc1-RadioNetworkPlanning%20and%20Engineering.pdf>
- [43] ETSI TS 102 250-2, **Speech and multimedia Transmission Quality (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 2: Definition of Quality of Service parameters and their computation**, V. 1.7.1, Octubre 2009.
http://pda.etsi.org/exchangefolder/ts_10225002v010701p.pdf
- [44] ETSI EG 202 057-3, **Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); User related QoS parameter definitions and measurements; Part 3: QoS parameters specific to Public Land Mobile Networks (PLMN)**, V 1.1.1, Abril 2005.
http://pda.etsi.org/exchangefolder/eg_20205703v010101p.pdf

- [45] 3GPP, TR 22.925, *Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Service aspects; Quality of Service and Network Performance*, V. 3.1.1, Abril 1999.
<http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/22925.htm>
- [46] *Electronic Communications Committee (ECC), UMTS Coverage Measurements*, Mayo 2007.
<http://www.erodocdb.dk/Docs/doc98/official/pdf/ECCREP103.PDF>
- [47] 3GPP TS 25.133 R99, *Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Requirements for support of radio resource management (FDD)*, V 13.22.0, Septiembre 2005.
http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/125100_125199/125133/03.22.00_60/ts_125133_v032200p.pdf
- [48] ITU, *Quality of Services for Wireless/Fixed Communications Systems*, Tunis-Hammamet, Noviembre 2010.
<http://www.itu.int/ITU-D/arb/COE/2010/QualityofService/FinalDocuments/Session10.pdf>
- [49] **Anexo 5 de los contratos de concesión CONECEL S.A. y OTECEL S.A.**
- [50] Ascom, *Manual TEMS*.
<http://www.ascom.com/en/index/>
- [51] **WCDMA Radio Base Station RBS 3308**.
<http://dc394.4shared.com/doc/KquecwHw/preview.html>
- [52] Ericsson, *RBS3308 Product Description*, 2010.
<http://es.scribd.com/doc/61750039/rbs3308>
- [53] 3GPP, *Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Requirements for support of radio resource management (FDD)*, Marzo 2001.
http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/WG1_RL1/TSGR1_19/docs/PDFs/R1-01-0248.pdf

[54] Kulasekaran, *In-Building Coverage Solution*, Diciembre 2005.

<http://www.telecomsource.net/showthread.php?219-In-building-Coverage-Solutions>

[55] Jayan, *IBS Training*, ADA Cellworks.

<http://es.scribd.com/doc/60930775/IBS-Training-Module>

[56] Commscope, *In-building Wireless Coverage and the Case for Pre-wiring*, Enero 2011.

[http://docs.commscope.com/Public/Inbuilding Design and the Case for Prewiring%20DAS.pdf](http://docs.commscope.com/Public/Inbuilding_Design_and_the_Case_for_Prewiring%20DAS.pdf)

[57] Ericsson, *Radio Waves & Health In-building solutions*, Global Services, 2004.

<http://archive.ericsson.net/service/internet/picov/get?DocNo=2/28701-FGB101277&Lang=EN&HighestFree=Y>

[58] Andrew, *Heliac Coaxial Cables*.

http://photos.imageevent.com/qdf_files/technicalgoodies/satcomengineer/Heliac%20Coax%20Specifications%20440-635.pdf

[59] Kathrein, *Elementos Pasivos*.

<http://www.kathrein-scala.com>