



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“ESTUDIO DE VOZ SOBRE IP (VoIP) EN REDES UMTS”

Tesina de Seminario

Previa a la obtención del Título de:

Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

Presentada por:

Luis Osmar Domínguez Viteri

Danny Gabriel Satán Cevallos

Guayaquil - Ecuador

2010

AGRADECIMIENTO

A mis padres por el apoyo incondicional brindado en todo momento y al Ing. Washington Medina profesor del Seminario de Graduación.

Luis Domínguez Viteri

A mis padres, quienes con su esfuerzo, ejemplo y valores han sido la principal guía en mi vida. Al Ing. Washington Medina por su tiempo, conocimientos y consejos. A mis compañeros.

Danny Satán Cevallos

DEDICATORIA

Deseo dedicar este presente trabajo a Dios por ayudarme a llegar a este punto de mi vida, a mis padres Isabel y Arturo por apoyarme siempre y a mi enamorada Gianella.

Luis Domínguez Viteri

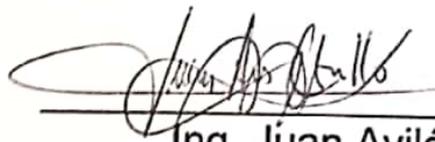
A mis padres, por todo su amor, cariño y comprensión, por su apoyo incondicional en todo momento. Siempre los llevo en mi corazón. A mis hermanos y amigos

Danny Satán Cevallos

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Washington Medina
PROFESOR DEL SEMINARIO



Ing. Juan Avilés
PROFESOR DELEGADO DEL DECANO

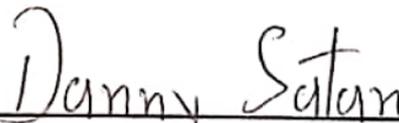
DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesina de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral".

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Luis Domínguez Viteri



Danny Satán Cevallos

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo analizar como se transmite VoIP (Voz sobre IP) sobre redes UMTS (Sistema universal de telecomunicaciones móviles). Explicaremos como funciona la tecnología VoIP, que es un servicio en tiempo real, y necesita de un QoS aceptable para su buen funcionamiento, mostraremos los problemas comunes al implementar VoIP y como evitarlos, además de los diferentes servicios que nos puede ofrecer, como por ejemplo: buzón de voz, llamadas en espera, control de acceso, etc.

Luego analizaremos la implementación de VoIP en telefonía móvil (redes UMTS), la cual se lleva a cabo por medio de la arquitectura IMS (Subsistema Multimedia IP), que está encargada de todas las aplicaciones multimedia, que obligatoriamente necesitan transmitirse en tiempo real, como lo son: VoIP, teleconferencias, etc., veremos las ventajas principales de usar UMTS, como es el caso de su gran ancho de banda, movilidad y sobre todo con la implementación de IMS, nos ofrece un elevado QoS.

Por último se realizarán pruebas para obtener los parámetros más importantes para una comunicación VoIP y así demostrar la buena calidad que tiene una comunicación VoIP al ser transmitida en un entorno 3G.

INDICE GENERAL

RESUMEN	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
ABREVIATURAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XVI
ÍNDICE DE TABLAS	XVIII
INTRODUCCION	1

CAPÍTULO 1

1 VOZ SOBRE IP (VoIP)

1.1	Objetivos	3
1.2	Definición de Voz sobre IP (VoIP).....	3
1.3	Calidad de Servicio (QoS) en VoIP	4
1.3.1	Latencia	5
1.3.2	Jitter.....	5
1.3.2.1	Jitter Buffer.....	6
1.3.3	Pérdida de paquetes	6
1.3.4	Puntaje Promedio de Opinión (MOS) y Factor R.....	7
1.4	Funcionamiento de VoIP	8
1.4.1	Convergencia de voz y datos	8
1.4.2	Empaquetado de la voz.....	9
1.5	Principales componentes de una red de VoIP	10
1.5.1	Terminales IP	10
1.5.2	Puerta de Enlace (Gateway): La salida de nuestra red	12
1.5.3	Gatekeeper.....	12

1.6	Protocolos VoIP	13
1.6.1	Protocolo de datagramas de usuario (UDP)	13
1.6.2	Protocolo IP	13
1.6.2.1	Versiones	14
1.6.3	Protocolos de Señalización VoIP	15
1.6.3.1	Protocolo de inicio de sesión (SIP)	16
1.6.3.1.1	Arquitectura de servicios SIP	17
1.6.3.1.2	Solicitudes o Métodos SIP	19
1.6.3.1.3	Establecimiento de sesiones SIP	20
1.6.3.2	Protocolo de Descripción de Sesión (SDP).....	21
1.6.3.3	Control de Pasarelas de Medios (MEGACO).....	22
1.6.4	Protocolo de Transporte en Tiempo Real (RTP)	22
1.7	Codificación de la voz	24
1.7.1	Códecs	24
1.8	Falencias de seguridad en VoIP	26
1.8.1	Problemas de Seguridad	27
1.8.1.1	Ataques de denegación de servicios.....	28
1.8.1.2	Espionaje	28
1.8.1.3	Fraude en las tarifas	29
1.9	Ventajas del uso de VoIP	29
1.10	Desventajas del uso de VoIP	31

CAPÍTULO 2

2 SISTEMA UNIVERSAL DE TELECOMUNICACIONES MÓVILES (UMTS)

2.1	Objetivos	32
2.2	Generalidades UMTS.....	32

2.3	Arquitectura global UMTS	34
2.3.1	Equipo de Usuario (UE).....	35
2.3.2	Red de Acceso Radio (UTRAN)	36
2.3.2.1	Componentes de UTRAN	37
2.3.2.2	Tecnologías de acceso al medio (Interfaz Uu).....	38
2.3.2.2.1	Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha (WCDMA)	38
2.3.2.2.2	Tecnologías de Acceso Radio.....	40
2.3.3	Núcleo de Red (CN)	41
2.3.3.1	Componentes del Dominio CN.....	42
2.3.4	Redes externas	45
2.4	Modelo del Núcleo IP sobre UMTS	46
2.4.1	Modelo conceptual del plano de transporte IP de UMTS	47
2.4.2	Trayectorias de comunicación	49
2.4.3	Protocolos y mecanismos de IP sobre redes UMTS	50
2.4.3.1	Servicios Diferenciados (DiffServ)	51
2.5	Principales beneficios de UMTS	51
2.5.1	Nuevos y mejores servicios	51
2.5.2	Acceso rápido.....	52
2.5.3	Transmisión de paquetes de datos y velocidad de transferencia de datos a pedido	52
2.5.4	Movilidad y cobertura	53
2.5.5	Radio-tecnología para todos los entornos	54
2.5.6	Calidad de Servicio (QoS) en redes UMTS	56

CAPÍTULO 3

3 Subsistema Multimedia IP (IMS)

3.1	Objetivos	57
3.2	Introducción a IMS	57
3.3	Arquitectura IMS	59
3.3.1	Especificación detallada de las capas IMS.....	60
3.3.2	Capa de aplicación	61
3.3.2.1	Servicio de Aplicación (AS).....	61
3.3.2.2	Administrador de la Capacidad de Servicio (SCIM)	62
3.3.3	Capa de control	62
3.3.3.1	Función de Control de Pasarela de Salida (BGCF)	62
3.3.3.2	Función de Control de Pasarela de Medios (MGCF)	63
3.3.3.3	Función de Recursos de Medios (MRF).....	63
3.3.3.4	Servidor del Suscriptor de la Red de Origen (HSS)	64
3.3.3.5	Función de las Políticas de Decisión (PDF)	65
3.3.3.6	Pasarela de Señalización (SGW).....	65
3.3.3.7	Función de Control de la Sesión de Llamada (CSCF)	66
3.3.4	Capa de Usuario.....	70
3.3.4.1	Pasarela de Medios (MGW).....	70
3.3.4.2	Nodos SGSN y GGSN en IMS	71
3.4	Red Local y Visitada	71
3.5	Puerta de Enlace PSTN	74
3.6	Protocolos usados en IMS	76
3.6.1	DIAMETER	76
3.6.2	Protocolo de Transferencia de Hiper Texto (HTTP)	76
3.6.3	COPS	76
3.7	Identidades de usuario.....	77

CAPÍTULO 4

4 SIMULACIONES

4.1	Objetivos	78
4.2	Generalidades.....	78
4.3	Programas a usar.....	79
4.3.1	Softphone	79
4.3.2	Wireshark	80
4.3.3	Medidor de ancho de banda	81
4.3.4	Elastix.....	81
4.4	Configuración del Softphone.....	83
4.5	Pruebas.....	85
4.6	Topologías a usar	86
4.7	Escenario 1: Entorno LAN.....	88
4.7.1	Códec: Ancho de Banda reales	88
4.7.2	Señalización SIP	91
4.7.3	Flujo de información RTP	93
4.7.4	Pruebas de Latencia, Jitter, Pérdida de paquetes y MOS	94
4.7.4.1	Prueba LAN códec G711 u-law.....	95
4.7.4.2	Prueba LAN códec GSM.....	98
4.7.4.3	Prueba LAN códec iLBC	101
4.7.4.4	Prueba LAN códec Speex.....	104
4.7.4.5	Análisis del entorno LAN	107
4.8	Escenario 2: Entorno UMTS	109
4.8.1	Señalización SIP generada	109
4.8.2	Latencia en HSDPA.....	110
4.8.3	Prueba UMTS códec G711u.....	111
4.8.4	Prueba UMTS códec GSM	113

4.8.5	Prueba UMTS códec iLBC.....	116
4.8.6	Prueba UMTS códec Speex.....	118
4.8.7	Análisis del entorno HSDPA 3.5G	121
4.9	Escenario 2: Entorno EDGE	122
4.9.1	Latencia en EDGE.....	123
4.9.2	Prueba EDGE códec G711u.....	124
4.9.3	Prueba EDGE códec GSM	126
4.9.4	Prueba EDGE códec iLBC.....	129
4.9.5	Prueba EDGE códec Speex	131
4.9.6	Análisis del entorno EDGE	134
4.10	Escenario 3: Comparaciones.....	135
4.10.1	Comparaciones con los resultados de la LAN.....	135
4.10.2	Comparaciones entre HSDPA y EDGE	138

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ABREVIATURAS

<u>Abreviatura</u>	<u>Significado</u>
2G	Segunda Generación
3G	Tercera Generación
3GPP	Proyecto de Alianza para 3G
AAA	Autenticación, Autorización y Contabilidad
ADSL	DSL Asíncrono
ANSI	Instituto Nacional Estadounidense de Estándares
AS	Servidor de Aplicaciones
AuC	Centro de Autenticación
BGCF	Función de Control de Pasarela de Salida
CDMA	Acceso múltiple por división de código
CDR	Grabación de datos Cargados
CN	Núcleo de Red
CS	Conmutación de circuitos
CSCF	Función de Control de la Sesión de Llamada
CSMA	Acceso múltiple con detección de portadora
DiffServ	Servicios Diferenciados
DSL	Línea de Subscriptor Digital
EIA	Asociación de Industrias Electrónicas
EIR	Registro de Identificación de Equipo
FCC	Comisión Federal de Comunicaciones
GGSN	Nodo de Apoyo para Pasarela GPRS
GMSC	Pasarela MSC
GTP	GPRS Tunneling Protocol
HLR	Registro de Localización de la Red de Origen
HSDPA	Acceso Descendente de Paquetes a Alta Velocidad
HSPA	Acceso de Paquetes de Alta Velocidad
HSS	Servidor del Suscriptor de la Red de Origen
HSUPA	Acceso Ascendente de Paquetes a Alta Velocidad

Abreviatura**Significado**

HTTP	Protocolo de transferencia de Hipertextos
I-CSCF	Interrogación CSCF
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
IETF	Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet
IMS	Subsistema Multimedia IP
IMSI	Identidad del terminal
IP	Protocolo de internet
IPSec	Protocolo de seguridad IP
IPV4	IP Versión 4
IPV6	IP Versión 6
ISDN	Red digital de servicios conmutados
ISO	Organización internacional para la estandarización
ITU	Unión internacional de telecomunicaciones
MCU	Unidad de control multipunto
ME	Equipamiento Móvil
MEGACO	Control de pasarelas de medios
MT	Terminación Móvil
MGCF	Función Control Pasarela del Medio
MGW	Pasarela del Medio
MRF	Función de Recursos del Medio
MRFC	Controlador MRF
MRFP	Procesador MRF
MSC	Centro de Conmutación de Servicios Móviles
MTU	Unidad Máxima de Transferencia
NAT	Traducción de Direcciones de Red
OSI	Interconexión de Sistemas Abiertos
PBX	Central Telefónica Privada
PCM	Códec de modulación por impulsos codificados
P-CSCF	Proxy CSCF
PDF	Función de Políticas de Decisión
PS	Conmutación de paquetes
PSTN	Red Telefónica Pública Conmutada
QoS	Calidad de servicio.
RDSI	Red Digital de Servicio Integrado
RFC	Pedidos para Comentarios
RNC	Controlador de la Red de Radio
RTCP	Protocolo de Control de Transporte en Tiempo Real
RTP	Protocolo de Transporte en Tiempo Real

Abreviatura**Significado**

SCIM	Administrador de la Capacidad de Servicio
S-CSCF	Servicio CSCF
SDP	Protocolo de descripción de sesión
SGSN	Nodo de Apoyo para Servicios GPRS
SGW	Pasarela de Señalización
SIM	Módulo de identidad del Usuario
SIP	Protocolo de Inicio de Sesión
SMTP	Protocolo simple de transferencia de correo
TCP	Protocolo de control de transmisión
TE	Equipamiento de Terminal
TIA	Asociación de la Industria de las Telecomunicaciones
UA	Agente de Usuario
UDP	Protocolo de Datagrama de Usuario.
UE	Equipo de Usuario
UMTS	Sistema universal de telecomunicaciones móviles
URI	Identificador Universal de Recursos
URL	Localizador Uniforme de Recursos
USIM	Modulo de identidad de servicios de usuario
UTRAN	Red de Acceso por Radio Terrestre UMTS
VHE	Entorno de Hogar Virtual
VLR	Registro de Localización del Visitante
VoIP	Voz sobre IP
VPN	Red privada virtual
WCDMA	Acceso múltiple por división de código de banda ancha
WLAN	LAN Inalámbrico

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.4.1 Convergencia en redes IP	9
Figura 1.5.1 (a) - Teléfono IP	11
Figura 1.5.1 (b) – Equipo Móvil IP	11
Figura 1.5.1 (c) – Softphone X-Lite	11
Figura 1.5.3 – Gatekeeper	13
Figura 1.6.3.1.3 – Establecimiento y liberación de sesión SIP	21
Figura 2.3 – Arquitectura UMTS: Dominios	34
Figura 2.3.2 – Componentes de UTRAN	36
Figura 2.3.3 – Arquitectura del Núcleo de red	42
Figura 2.4.1 (a) - Planos de la Red UMTS V5	48
Figura 2.4.1 (b) - Modelo simplificado del sistema UMTS	49
Figura 2.4.2 (a) - Trayectoria entre dos UE móviles	50
Figura 2.4.2 (b) - Trayectoria entre un UE móvil y un UE fija.....	50
Figura 3.3 – Representación simplificada de la Arquitectura IMS.....	60
Figura 3.3.1 – Arquitectura IMS.....	61
Figura 3.3.3.7 – Elementos de CSCF	66
Figura 3.4 (a) – Nodo P-CSCF localizado en una red visitada	73
Figura 3.4 (b) – Nodo P-CSCF localizado en una red local	74
Figura 3.5 – Uso de IMS en CS.....	75
Figura 4.3.1 – X-Lite Versión 2	80
Figura 4.3.2 – Wireshark.....	81
Figura 4.3.4 – Elastix	82
Figura 4.4 (a) – X-Lite tecla Menú	83
Figura 4.4 (b) – System Settings	83
Figura 4.4 (c) – SIP Proxy.....	84
Figura 4.4 (d) – Default	84
Figura 4.4 (e) – Cuenta SIP	85
Figura 4.6 (a) – Topología 1: Entorno LAN.....	87
Figura 4.6 (b) – Topología 2: Entorno UMTS.....	88
Figura 4.7.1 (a) – Ancho de Banda códec G711.....	89
Figura 4.7.1 (b) – Ancho de Banda códec GSM	89
Figura 4.7.1 (c) – Ancho de Banda códec iLBC.....	90
Figura 4.7.1 (d) – Ancho de Banda códec Speex	90
Figura 4.7.2 (a) – Wireshark: Filtro protocolo SIP	92

Figura 4.7.2 (b) – Wireshark: Señalización SIP	92
Figura 4.7.3 – Wireshark: Filtro protocolo RTP.....	93
Figura 4.7.4 – Llamadas realizadas.....	95
Figura 4.7.4.1 (a) – LAN: Forma de onda Jitter con códec G711u	96
Figura 4.7.4.1 (b) – LAN: Grafica SQS G711u.....	97
Figura 4.7.4.1 (c) – LAN Latencia G711u	98
Figura 4.7.4.2 (a) – LAN: Forma de onda Jitter con códec GSM.....	99
Figura 4.7.4.2 (b) – LAN: Grafica SQS GSM	100
Figura 4.7.4.2 (c) – LAN Latencia GSM.....	101
Figura 4.7.4.3 (a) – LAN: Forma de onda Jitter con códec iLBC	102
Figura 4.7.4.3 (b) – LAN: Grafica SQS iLBC.....	103
Figura 4.7.4.3 (c) – LAN Latencia iLBC	104
Figura 4.7.4.4 (a) – LAN: Forma de onda Jitter con códec Speex	105
Figura 4.7.4.4 (b) – LAN: Grafica SQS Speex	106
Figura 4.7.4.4 (c) – LAN Latencia Speex.....	107
Figura 4.8.1 – Señalización SIP en pruebas UMTS.....	109
Figura 4.8.2 – Latencia en 3.5G	110
Figura 4.8.3 (a) – HSDPA: Forma de onda Jitter con códec G711u	112
Figura 4.8.3 (b) – HSDPA: Gráfica SQS G711u	113
Figura 4.8.4 (a) – HSDPA: Forma de onda Jitter con códec GSM.....	114
Figura 4.8.4 (b) – HSDPA: Gráfica SQS GSM.....	115
Figura 4.8.5 (a) – HSDPA: Forma de onda Jitter con códec iLBC	117
Figura 4.8.5 (b) – HSDPA: Gráfica SQS iLBC	118
Figura 4.8.6 (a) – HSDPA: Forma de onda Jitter con códec Speex.....	119
Figura 4.8.6 (b) – HSDPA: Gráfica SQS Speex.....	120
Figura 4.9.1 – Latencia en EDGE	123
Figura 4.9.2 (a) – EDGE: Forma de onda Jitter con códec G711u	125
Figura 4.9.2 (b) – EDGE: Gráfica SQS G711u	126
Figura 4.9.3 (a) – EDGE: Forma de onda Jitter con códec GSM.....	128
Figura 4.9.3 (b) – EDGE: Gráfica SQS GSM	129
Figura 4.9.4 (a) – EDGE: Forma de onda Jitter con códec iLBC	130
Figura 4.9.4 (b) – EDGE: Gráfica SQS iLBC	131
Figura 4.9.5 (a) – EDGE: Forma de onda Jitter con códec Speex.....	132
Figura 4.9.5 (b) – EDGE: Gráfica SQS Speex.....	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I – MOS y Factor R	7
Tabla II – Rangos para parámetros VoIP	8
Tabla III – Códecs (Datos Teóricos)	25
Tabla IV – Interfaces de UTRAN	37
Tabla V – Parámetros LAN códec G711 u-law	95
Tabla VI – LAN: Parámetro SQS G711u	97
Tabla VII – Parámetros LAN códec GSM	98
Tabla VIII – LAN: Parámetro SQS GSM	100
Tabla IX – Parámetros LAN códec iLBC.....	102
Tabla X – LAN: Parámetro SQS iLBC	103
Tabla XI – Parámetros LAN códec Speex	105
Tabla XII – LAN: Parámetro SQS Speex	106
Tabla XIII – Códecs datos teóricos y reales.....	108
Tabla XIV – Códecs: Jitter y pérdida de paquetes.....	108
Tabla XV - Parámetros HSDPA códec G711u.....	111
Tabla XVI – HSDPA: Parámetro SQS G711u.....	113
Tabla XVII - Parámetros HSDPA códec GSM	114
Tabla XVIII – HSDPA: Parámetro SQS GSM	115
Tabla XIX - Parámetros HSDPA códec iLBC.....	116
Tabla XX – HSDPA: Parámetro SQS iLBC.....	117
Tabla XXI - Parámetros HSDPA códec Speex	118
Tabla XXII – HSDPA: Parámetro SQS Speex	120
Tabla XXIII – Eficiencia de Códecs en HSDPA	121
Tabla XXIV – Mejores códecs.....	122
Tabla XXV - Parámetros EDGE códec G711u.....	124
Tabla XXVI – EDGE: Parámetro SQS G711u.....	126
Tabla XXVII - Parámetros EDGE códec GSM	127
Tabla XXVIII – EDGE: Parámetro SQS GSM	128
Tabla XXIX - Parámetros EDGE códec iLBC.....	129
Tabla XXX – EDGE: Parámetro SQS iLBC.....	130

Tabla XXXI - Parámetros EDGE códec Speex	132
Tabla XXXII – EDGE: Parámetro SQS Speex	133
Tabla XXXIII – Eficiencia de Códecs en HSDPA	134
Tabla XXXIV – Comportamiento de los códecs en EDGE	135
Tabla XXXV – Comparación LAN Vs HSDPA.....	136
Tabla XXXVI – Comparación LAN Vs EDGE	137
Tabla XXXVII – Comparación HSDPA Vs EDGE	138

INTRODUCCION

El gran crecimiento y evolución de las redes UMTS han permitido ofrecer servicios con nuevas aplicaciones en tiempo real y con movilidad, todo esto ha sido posible gracias al desarrollo de nuevas tecnologías como HSDPA y HSUPA las mismas que presentan como fortaleza su gran velocidad tanto en los enlaces de bajada como en subida.

Nuestro trabajo ha sido desarrollado con el objetivo de mostrar las buenas condiciones que presentan las redes UMTS para poder brindar el servicio de VoIP.

CAPITULO 1: Se explicará que es Voz sobre IP (VoIP), como se relaciona con la capa de transporte y de red del modelo TCP/IP, analizando también las ventajas y desventajas del mismo. Además hablaremos de los diferentes servicios que nos brinda esta tecnología y por las cuales ha ganado un gran mercado entre los usuarios finales.

CAPITULO 2: Analizaremos la arquitectura de las redes UMTS, dando énfasis en el núcleo IP que le fue implementado en los Releases 99 y 4, en los cuales se empezó a hablar de redes que converjan totalmente sobre el protocolo IP y con su alto ancho de banda se dieran lugar a aplicaciones

multimedia como es el caso de VoIP que hoy en día solo habían en redes cableadas. Las ventajas y desventajas de usar la tecnología 3G.

CAPITULO 3: Luego de la aparición de las redes UMTS y la gran demanda de los usuarios por tener las mismas aplicaciones multimedia que se encuentran en redes cableadas, a mas de esto las redes UMTS nos ofrecen algo muy importante como lo es la movilidad que nos brindan las redes celulares, aparece en el Release 5 de 3GPP (Proyecto de Alianza de Tercera Generación) una entidad llamada IMS (Subsistema Multimedia IP) que se hace responsable del control y la convergencia total de dichas aplicaciones multimedia, para de esta manera proporcionarles mecanismos de asignación de calidad de servicio según las necesidades de cada aplicación, seguridad y convergencia entre redes fijas y móviles.

CAPITULO 4: En este capítulo analizaremos los resultados de las pruebas de campo realizadas en los entornos LAN, HSDPA y EDGE para obtener valores de los parámetros más importantes que determinan una buena comunicación VoIP los cuales son el jitter, latencia, perdida de paquetes y MOS. Con los cuales podremos determinar la eficiencia que tiene la comunicación VoIP en redes 3G HSDPA.

1 VOZ SOBRE IP (VoIP)

1.1 Objetivos

- Comprender el funcionamiento de la tecnología Voz sobre IP.
- Conocer sus principales protocolos y el uso de ellos en una comunicación VoIP.
- Analizar los diferentes problemas y el uso de calidad de servicio (QoS) en redes IP.

1.2 Definición de Voz sobre IP (VoIP)

Durante las últimas décadas, la industria de las telecomunicaciones ha sido testigo de rápidos cambios en la forma en que las personas y organizaciones se comunican. Muchos de estos cambios se han dado por el gran crecimiento de Internet. [REF. 1]

VoIP es una tecnología que permite la transmisión de voz a través de redes IP en forma de paquetes de datos, esta tecnología consiste en

agregar y prestar nuevos servicios sobre terminales, asociadas a una misma administración, por ejemplo transferencia de llamadas, llamada en espera, entre otros servicios que antes solo se podían encontrar en centrales analógicas. [REF. 1]

VoIP se encontró con algunas limitaciones al momento de marcar diferencias respecto a la calidad en las llamadas, puesto que hasta entonces, las comunicaciones analógicas contaban con algunos parámetros y lineamientos que aseguraban cierta calidad en el servicio. En este sentido se establecieron parámetros mínimos para garantizar una comunicación legible y comparable en calidad a la ya existente comunicación analógica. [REF. 1]

1.3 Calidad de Servicio (QoS) en VoIP

QoS implica tomar en cuenta aspectos como tratamiento diferenciado de los paquetes transmitidos, consideraciones de retardo o variaciones del mismo; QoS busca establecer y garantizar un nivel de aceptación sobre la información que llega al usuario, que por este precepto es aplicable a redes de datos como analógicas. [REF. 2]

Para lograr una QoS apropiada, VoIP utiliza protocolos para garantizar un cierto grado de QoS, aceptable para la voz; entre las funciones que

ejercen los protocolos de VoIP tenemos: dan prioridad a la voz sobre los datos, también controlan el número máximo de saltos y demás factores que contribuyen al retardo de transmisión. [REF. 2]

1.3.1 Latencia

Al comunicar dos puntos por medio de redes IP para alcanzar a un destino e intercambiar información, los paquetes tienen que atravesar toda una red, lo que lleva a trasladar un paquete de un nodo a otro para llegar al destino, QoS implica que un paquete tendrá un tiempo máximo para llegar a su destino, a este tiempo se conoce con el nombre de latencia o retardo. Se recomienda un retardo no mayor a 200 ms. en un sentido de la comunicación, como límite para mantener una comunicación legible y fluida. [REF. 2]

1.3.2 Jitter

Este problema se da cuando los paquetes enviados de un origen a un destino llevan distintos valores de latencia lo cual hace que los paquetes lleguen en desorden o más retrasados unos de otros. Para dejar un poco más claro este tipo de problema, imaginemos una voz robotizada, este sería una similitud al audio que escucharíamos con problemas de jitter. Lo máximo permitido de jitter es de 50 ms para obtener una buena comunicación. [REF. 2]

1.3.2.1 Jitter Buffer

El jitter buffer es la solución mas ampliamente adoptada para problemas de jitter y consiste básicamente en asignar una pequeña cola o almacén para ir recibiendo los paquetes y sirviéndolos con un pequeño retraso. Si alguno paquete no está en el buffer (se perdió o no ha llegado todavía) cuando sea necesario se descarta. Un aumento del buffer implica menos pérdida de paquetes pero más retraso. Una disminución implica menos retardo pero más pérdida de paquetes. [REF. 2]

1.3.3 Pérdida de paquetes

Las comunicaciones en tiempo real se basan en el protocolo UDP. UDP es un protocolo no orientado a conexión, esto significa que si un paquete se pierde no es retransmitido; además, la pérdida de paquetes también se produce por descartes de paquetes que no llegan a tiempo al receptor. La pérdida de paquetes máxima admitida para que no se degrade la comunicación deber ser inferior al 3%. [REF. 2]

Sin embargo, la voz es bastante predictiva y si se pierden paquetes aislados se puede recomponer la voz de una manera bastante óptima.

El problema es mayor cuando se producen pérdidas de paquetes en ráfagas. [REF. 2]

1.3.4 Puntaje Promedio de Opinion (MOS) y Factor R

El parámetro MOS es una medida subjetiva de la calidad del sonido. Los valores van de 1 a 5. Sirve para valorar la calidad de los códec que comprimen la voz o las conversaciones telefónicas y Factor R es su correspondencia en una escala del 0 al 100, el sistema de calificación es el siguiente: [REF. 3]

Factor R	MOS	Eficiencia	Satisfacción de Usuario
90	4.3	Excelente	Muy Satisfecho
75	3.8	Bueno	Satisfecho
65	3.3	Aceptable	Algunos usuarios insatisfechos
55	2.8	Pobre	Muchos usuarios insatisfechos
45	2.3	Malo	Casi todos insatisfechos
0	1	Inaceptable	No recomendable

Tabla I – MOS y Factor R

Calidad VoIP	Excelente	Bueno	Aceptable	Pobre
Jitter	$t < 10$	$10 \leq t < 20$	$20 < t < 50$	$t \geq 50$
Latencia	$t < 100$	$100 \leq t < 200$	$200 \leq t < 300$	$t \geq 300$
Pérdida de paquetes	$p < 1$	$1 \leq p < 2$	$2 \leq p < 3$	$p \geq 3$

Tabla II – Rangos para parámetros VoIP

1.4 Funcionamiento de VoIP

VoIP convierte la voz en datos comprimidos que son transportados a través de redes de datos en lugar de líneas telefónicas tradicionales. La evolución de la transmisión conmutada por circuitos a la transmisión basada en paquetes toma el tráfico de la red pública telefónica y lo coloca en redes IP bien definidas. [REF. 2]

1.4.1 Convergencia de voz y datos

Se trata de la unificación de la transmisión y del tratamiento del tráfico de las aplicaciones de voz, datos o multimedia, bajo un mismo sistema. En vez de utilizar redes separadas para cada tráfico, todo es soportado en una infraestructura de comunicaciones IP. [REF. 4]

Las redes convergentes IP se convierten por lo tanto, en un elemento crítico y esencial para el crecimiento de cualquier empresa en un

entorno tan cambiante como el actual. Son el punto único de soporte de comunicación y tratamiento de tráfico que requieren los distintos usuarios corporativos. [REF. 4]

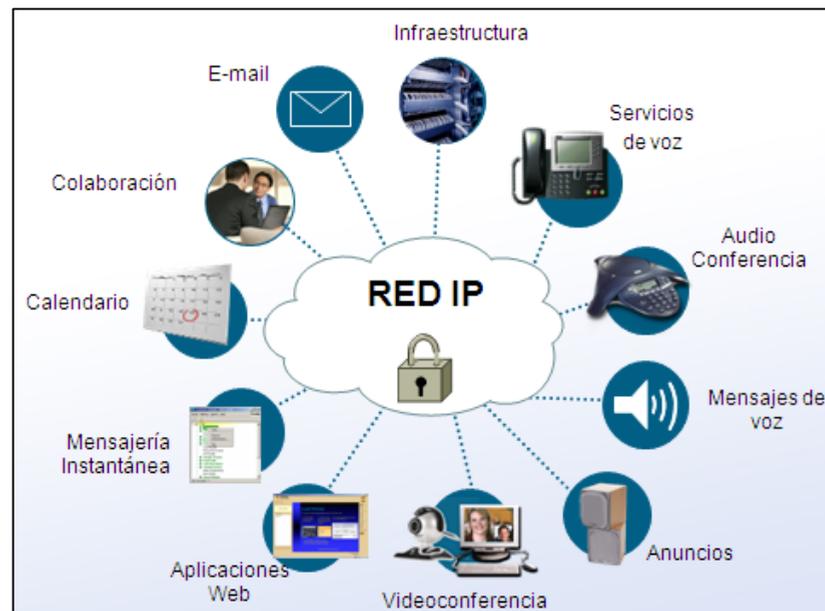


Figura 1.4.1 Convergencia en redes IP [REF. 1]

1.4.2 Empaquetado de la voz

Para transmitir las muestras codificadas de voz sobre redes de datos es necesario armar paquetes. Si una conversación se realiza a un flujo de 64 Kbps., cada muestra dura 125 μ s. Si bien se podría formar un paquete con cada muestra de voz, esto generaría una sobrecarga (overhead) demasiado importante, ya que cada paquete necesita encabezados. Por otro lado, si se espera a juntar demasiadas muestras de voz, para formar un paquete con mínima sobrecarga

porcentual, se pueden introducir retardos no aceptables. Un paquete IP puede tener hasta 1500 bytes de información, para entenderlo mejor expondremos el siguiente ejemplo: Si con muestras de 64 Kbps se quisiera completar los 1500 bytes del paquete IP, se introduciría un retardo de $125\mu\text{s} \times 1500 = 187,5 \text{ ms}$. Esta demora no es aceptable en aplicaciones de voz. [REF. 5]

Por esta razón se toman generalmente ventanas de 10 a 30 ms. Las muestras de voz de cada una de estas ventanas consecutivas se juntan y con ellas se arman paquetes. [REF. 5]

1.5 Principales componentes de una red de VoIP

Entre los componentes más importantes en una red VoIP tenemos: terminales IP, gateways y los gatekeepers. [REF. 2]

1.5.1 Terminales IP

Son elementos tanto de hardware como de software, cuyo funcionamiento incluye el tratamiento de la señal para su envío por la red de datos. Se debe realizar la captación, la digitalización y la compresión de la señal. Un equipo terminal debe de soportar los mismos protocolos que su equipo gateway para una correcta comunicación. [REF. 2]



Figura 1.5.1 (a) - Teléfono IP [REF.6]



Figura 1.5.1 (b) – Equipo Móvil IP [REF.7]



Figura 1.5.1 (c) – Softphone X-Lite

1.5.2 Puerta de enlace (Gateway): La salida de nuestra red

Una puerta de enlace (gateway) es un dispositivo, con frecuencia un ordenador, que permite interconectar redes con protocolos y arquitecturas diferentes a todos los niveles de comunicación. Su propósito es traducir la información del protocolo utilizado en una red al protocolo usado en la red de destino. [REF. 8]

1.5.3 Gatekeeper

Es una entidad que proporciona la traducción de direcciones y el control de acceso a la red de los terminales, gateways y MCUs (Unidades de control multipuntos), puede también ofrecer otros servicios como gestión del ancho de banda y localización de los gateways. Es un elemento opcional en la red pero cuando está presente todos los demás elementos que contacten dicha red deben hacer uso del mismo. La potencia real del sistema se pone de manifiesto cuando dentro de cada zona existe el correspondiente gatekeeper. [REF. 5]

Realizan funciones como por ejemplo: control de admisiones o registros de terminales, gestión y control del ancho de banda, controla el enrutamiento de llamadas, gestión de zonas, etc. Los Gatekeepers son el centro de toda la organización de VoIP. [REF. 5]

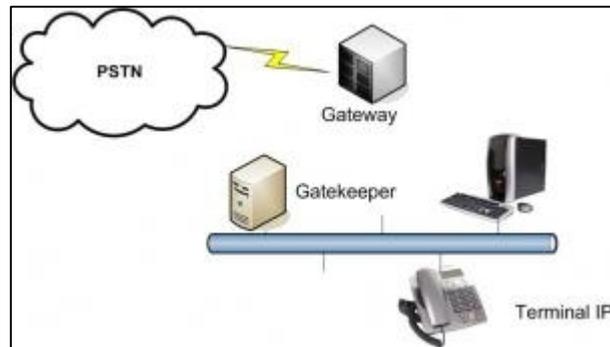


Figura 1.5.3 - Gatekeeper [REF. 9]

1.6 Protocolos VoIP

1.6.1 Protocolo de datagramas de usuario (UDP)

UDP es un protocolo simple, no orientado a la conexión, funciona en la capa de transporte del modelo de redes TCP/IP, cuenta con la ventaja de proveer la entrega de datos sin utilizar muchos recursos. Las porciones de comunicación en UDP se llaman datagramas. Este protocolo de la capa de transporte envía estos datagramas como "mejor intento", con lo cual garantiza que los paquetes llegarán a su destino lo más pronto posible. Entre las aplicaciones que utilizan UDP se incluyen: Vídeo y Voz sobre IP (VoIP). [REF. 10]

1.6.2 Protocolo IP

Es el protocolo principal de la capa de red del modelo TCP/IP. Las cabeceras IP contienen las direcciones de las máquinas de origen y

destino (direcciones IP), direcciones que serán usadas por los enrutadores (routers) para decidir el tramo de red por el que reenviarán los paquetes. [REF. 11]

1.6.2.1 Versiones

En la actualidad, la mayoría de las máquinas conectadas a Internet operan sobre la versión 4 del protocolo IP: IPv4 (IP versión 4); sin embargo, es inevitable y necesaria la progresiva migración a la versión 6 de este protocolo: IPv6 (IP versión 6), también conocida como IP de Próxima Generación. [REF. 4]

La principal causa de esta migración es la escasez de direcciones IPv4 disponibles, que tendría solución empleando los 128 bits de direccionamiento IPv6 y no 32 bits como IPv4, con lo cual podríamos ponerle una dirección pública a cada dispositivo existente en el mundo, sin preocuparnos del agotamiento de direcciones y lo más importante sin hacer uso del protocolo de Traducción de Direcciones de Red (NAT), el cual asigna direcciones públicas a equipos conectados en una red privada. Además de su escalabilidad, IPv6 presenta otra serie de ventajas frente a IPv4, como por ejemplo, mejoras en seguridad y calidad de servicio. Hasta la migración

definitiva a IPv6, parece probable que las dos versiones del protocolo convivirán durante un largo periodo. [REF.4]

1.6.3 Protocolo de Señalización VoIP

VoIP necesita protocolos de señalización entre los diferentes elementos que constituyen la red VoIP: terminales, servidores de llamadas, pasarelas entre VoIP y red telefónica convencional. [REF. 2]

Algunas de las funciones que realizan estos protocolos son equivalentes a las que existen en la actualidad en las redes telefónicas tradicionales. [REF. 2]

- **Funciones de establecimiento de llamada:** Negocian las direcciones IP y puertos UDP a utilizar.
- **Señales de progreso de llamada:** Por ejemplo el timbrado del teléfono.
- **Control de acceso:** Permite identificar a los terminales y facturar.
- **Servicios suplementarios y de movilidad:** Procesos usados para intercambio de redes.
- **Selección de la modalidad de acceso:** Según el tipo de red a la que se conecta el terminal como pueden ser LAN, Red Digital de Servicios Integrados (RDSI), DSL Asíncronico (ADSL), etc.

- **Negociación del códec de voz:** Según los requerimientos de la red se usa la compresión adecuada.

1.6.3.1 Protocolo de inicio de sesión (SIP)

Es un protocolo de señalización que no ocupa mucho ancho de banda, es muy parecido a H.323 con la única diferencia que no es tan maduro como el y no ocupa muchos recursos de la red, motivo por el cual hoy en día esta teniendo mucha aceptación. [REF. 1]

Como su nombre lo indica, SIP es un protocolo de inicio de sesión, el cual esta encargado del inicio, modificación y finalización de sesiones interactivas de usuario, donde intervienen elementos multimedia como video, voz, mensajería instantánea, juegos online y realidad virtual. SIP hereda ciertas funciones de los Protocolos de Transferencia de Hiper Texto (HTTP) utilizado para navegar en páginas Web y el Protocolo de Transporte de Correo Simple (SMTP) utilizado para la transmisión de mensajes electrónicos. Todo usuario en una red que use SIP es alcanzado por medio de una dirección con formato igual a Localizador Uniforme de Recursos (URL). SIP esta conformado por requerimientos a los cuales le responde con un código digital tomados del protocolo HTTP. Además SIP fue elegido por 3GPP para la arquitectura IMS el cual hablaremos más adelante. [REF. 1]

Hay que tener claro que SIP no es un protocolo de reservación de recursos, y en consecuencia, no puede asegurar QoS. Se trata de un protocolo de control de llamada y no de control del medio, además SIP trabaja con volúmenes pequeños de información, parecido a los mensajes de señalización cortos en los teléfonos celulares. [REF. 1]

1.6.3.1.1 Arquitectura de servicios SIP

En la arquitectura de SIP existen dos elementos fundamentales, los Agentes de Usuario (UA) y los servidores SIP.

a) Agentes de Usuario (UA)

UA se divide en cliente y servidor. Un UA cliente es una entidad lógica que genera peticiones SIP y recibe respuestas a esas peticiones. Un UA servidor es una entidad lógica que genera respuestas a las peticiones SIP. Los UAs corresponden a los terminales de usuario, que pueden ser teléfonos específicamente diseñados como terminales SIP o un PC que ejecute una aplicación SIP. [REF. 1]

b) Servidores SIP

Los servidores SIP, en cambio, pueden ser de tres tipos:
Servidor Proxy, Servidor Registro y Servidor de Redirección:

- **Servidor Proxy:** Retransmiten las solicitudes y deciden a que otro servidor las debe remitir, alterando los campos de la solicitud en caso necesario. Es una entidad intermedia que actúa como cliente y servidor con el propósito de establecer llamadas entre los usuarios. [REF. 1]

- **Servidor Registro:** Acepta las peticiones de registro de los usuarios y guarda la información de estas peticiones, para suministrar un servicio de localización y traducción de direcciones en el dominio que controla. [REF. 1]

- **Servidor de Redirección:** Genera las respuestas de redirección a las peticiones que recibe. Este servidor reencamina las peticiones hacia el próximo servidor. Hay que mencionar que la división entre estos tres servidores es únicamente conceptual y que podrían estar en una misma máquina o en diferentes, según se requiera, ya sea por criterios de seguridad o escalabilidad. Es usado dentro de la arquitectura IMS para el intercambio de mensajes SIP entre sus diferentes bloques de control los cuales lo analizaremos en el capítulo 4. [REF. 1]

1.6.3.1.2 Solicitudes o Métodos SIP

Existen seis solicitudes SIP principales para su funcionamiento:

INVITE: Inicio de Sesión.

ACK: Reconocimiento de INVITE.

BYE: Terminación de sesión.

CANCEL: Cancelación de INVITE.

REGISTER: Registro URL.

OPTIONS: Preguntar por opciones y capacidades de un usuario o servidor.

Entre las extensiones de solicitudes usadas por SIP tenemos:

INFO: Transporte de información en llamada.

PRACK: Reconocimiento provisional.

COMET: Notificación de precondición.

REFER: Transferencia a otra URL.

SUSCRIBE: Requerir notificación de evento.

UNSUBSCRIBE: Cancelar notificación de evento.

NOTIFY: Notificación de evento.

MESSAGE: Mensaje instantáneo.

1.6.3.1.3 Establecimiento de sesiones SIP

En la Figura 1.6.3.1.3 mostramos el intercambio de mensajes SIP entre dos terminales las cuales pueden ser teléfonos SIP, palms, teléfonos celulares, etc. El usuario que realiza la llamada tiene como URI SIP “sip: ua1@dominio.com” y el destinatario de la llamada “sip: ua2@dominio.com”. [REF. 12]

Para establecer la llamada se envía un mensaje SIP INVITE emitido por UA que genera la llamada hacia el Proxy Server. Este ultimo interroga la base de datos de localización para identificar la localización del que esta llamado (dirección IP) y encamina la llamada a su UA destino. [REF. 12]

Luego el UA destinatario si esta disponible responde con 180 RINGING hacia el UA que genera la llamada. Cuando el UA destinatario acepta la sesión envía la respuesta 200 OK de aceptación hacia el UA que genera la llamada. La UA del que genera la llamada devuelve un método ACK al destinatario, relevada por la entidad Proxy Server. Así comienza la conversación en la cual no interviene SIP y entra en función el Protocolo de Transporte en Tiempo Real (RTP) el cual lo veremos más adelante. Cuando el UA que genera la llamada cuelga, su UA envía un requerimiento BYE para

terminar la sesión. Este requerimiento es entregado al Proxy Server quien lo encamina a la UA de destino. Este último, devuelve la respuesta 200 OK, finalizando así la comunicación entre ambos UA.

[REF. 12]

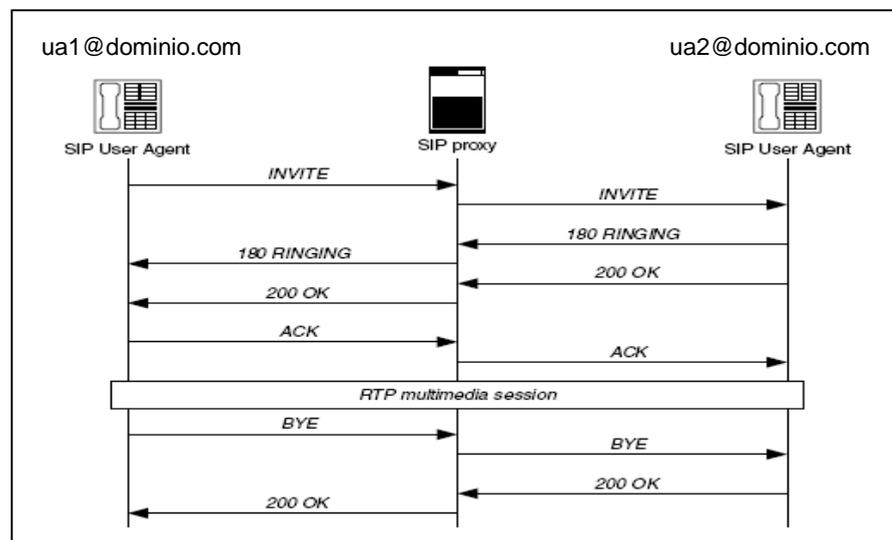


Figura 1.6.3.1.3 – Establecimiento y liberación de sesión SIP [REF. 12]

1.6.3.2 Protocolo de Descripción de Sesión (SDP)

Puesto que no todos los dispositivos son capaces de soportar los mismos servicios, al establecer la sesión se negocian las características de ésta mediante SDP, que se trata de un protocolo basado en texto, que describe la sesión multimedia; así los extremos de una sesión pueden indicar sus capacidades multimedia y definir el tipo de sesión que desean mantener [REF. 13]. Los mensajes SDP se transfieren en los mensajes SIP. SDP incluye la siguiente información:

- Nombre y propósito de la sesión.
- Tiempos de inicio y fin de la sesión.
- Los tipos de medios que comprende la sesión.
- Información detallada necesaria para establecer la sesión (dirección IP, protocolo de transporte a ser usado, números de puerto involucrados y esquemas de codificación).

1.6.3.3 Control de Pasarelas de Medios (MEGACO)

MEGACO o H.248 es un protocolo de señalización, usado entre un Media Gateway y un Media Gateway Controller (también denominado agente de llamada o Softswitch) para definir los mecanismos de señalización necesarios para permitir a un Media Gateway Controller controlar Gateways para proporcionar soporte a las llamadas de voz entre Redes Telefónicas Públicas Conmutadas (PSTN) - IP o IP - IP. H.248 es un complemento del protocolo SIP: se utilizará el H.248 para controlar las Media Gateways y SIP para comunicarse con otro controlador Media Gateway. [REF. 13]

1.6.4 Protocolo de Transporte en Tiempo Real (RTP)

RTP es el protocolo que se encarga de transportar la voz propiamente dicha. Muchas personas se confunden y piensan que ese es el trabajo de SIP pero no es así. Una vez que SIP establece una llamada es

RTP quien toma el control para transportar la voz a su destino.
[REF.13]

RTP trabaja sobre UDP y por lo tanto no hay mucho control de transmisión. Es decir que el equipo emisor envía la voz hacia el otro extremo con la esperanza de que llegue, pero no espera recibir confirmación de esto y a decir verdad tampoco hay tiempo para hacerlo, pues la voz necesita ser transmitida en tiempo real. Si un paquete de voz se pierde en el camino, simplemente se rellenará ese espacio con un silencio lo que técnicamente se llama ruido comfortable (comfort noise). A pesar de encargarse de casi toda la labor de transportar la voz, RTP no está solo y tiene un protocolo de apoyo denominado Protocolo de Control de Transporte en Tiempo Real (RTCP), el cual no es del todo indispensable pero proporciona valiosa ayuda al momento de transportar la voz de manera óptima, pues proporciona estadísticas e información de control que le permiten al origen o destino tomar decisiones para mejorar la transmisión en caso de ser posible. Por lo tanto, los paquetes RTCP se transmiten periódicamente para comunicar dicha información a los equipos de voz involucrados. [REF.13]

1.7 Codificación de la voz

Ya tenemos claro que para transportar la voz se utilizan algunos protocolos como SIP y RTP o RTCP. Pero la voz es una onda analógica que necesita transformarse a digital en algún formato antes de ser transmitida. Lógicamente podríamos tratar de transmitirla tal cual resulta de la conversión analógica-digital pero resulta que nos encontramos en una red de paquetes, así que debemos paquetizar esta información. Además si la transmitimos tal cual resulta de la conversión ADC desperdiciaríamos recursos de la red por lo que hace falta encontrar un formato óptimo. Esa búsqueda de un formato óptimo, se generaron algunas alternativas de formatos de transmisión llamadas códecs. Hay que tener en cuenta que los códecs realmente no son exclusivos de la VoIP pues también se usan en otros tipos de comunicaciones digitales.

[REF. 1]

1.7.1 Códecs

La palabra códec proviene de abreviar las palabras **CO**dificación y **DEC**odificación. Su función principal es la de adaptar la información digital de la voz para obtener algún beneficio. La compresión de la forma de onda representada puede permitir el ahorro del ancho de banda. Esto es especialmente interesante en los enlaces de poca capacidad y permite tener un mayor número de conexiones de VoIP

simultáneamente. A continuación se muestra en la Tabla III con las especificaciones teóricas para los códecs G711u, GSM, iLBC y Speex [REF. 1]:

- El Bit Rate indica la cantidad de información que se manda por segundo.
- El Sampling Rate indica la frecuencia de muestreo de la señal vocal.
- El Frame size indica cada cuantos milisegundos se envía un paquete con la información sonora.
- MOS indica la calidad que ofrece dicho códec.

Nombre	Bit Rate (Kbps)	Sampling Rate (Kbps)	Frame Size (ms)	MOS	Observaciones
G711	64	8	20	4.3	Tiene dos versiones u-law (US, Japan) y a-law (Europa)
GSM	13	8	22.5	3.5	Usado por la tecnología celular GSM
iLBC	15.2	8	30	4.14	
Speex	2.15 – 24.6	8	30	4.1	Comprime la información según la red

Tabla III – Códecs (Datos teóricos)

1.8 Falencias de seguridad en VoIP

Desafortunadamente existen numerosas amenazas que conciernen a las redes VoIP; muchas de las cuales no resultan obvias para la mayoría de los usuarios. Los dispositivos de redes, los servidores y sus sistemas operativos, los protocolos, los teléfonos y su software, todos son vulnerables. [REF. 14]

La información sobre una llamada es tan valiosa como el contenido de la voz. Por ejemplo, una señal comprometida en un servidor puede ser usada para configurar y dirigir llamadas, del siguiente modo: una lista de entradas y salidas de llamadas, su duración y sus parámetros. Usando esta información, un atacante puede obtener un mapa detallado de todas las llamadas realizadas en tu red, creando grabaciones completas de conversaciones y datos de usuario. La conversación es en sí misma un riesgo y el objetivo más obvio de una red VoIP. Consiguiendo una entrada en una parte clave de la infraestructura, como una puerta de enlace de VoIP, un atacante puede capturar y volver a montar paquetes con el objetivo de escuchar la conversación. O incluso peor aún, grabarlo absolutamente todo y poder retransmitir todas las conversaciones sucedidas en tu red. [REF.14]

Las llamadas son también vulnerables al “secuestro”. En este escenario, un atacante puede interceptar una conexión y modificar los parámetros de la llamada. Se trata de un ataque que puede causar bastante pavor, ya que las víctimas no notan ningún tipo de cambio. La enorme disponibilidad de las redes VoIP es otro punto sensible. En el PSTN la disponibilidad era raramente un problema, pero es mucho más sencillo ingresar a una red VoIP. Todos estamos familiarizados con los efectos demoledores de los ataques de denegación de servicio. Si se dirigen a puntos clave de tu red, podrían incluso destruir la posibilidad de comunicarte vía voz o datos. [REF. 14]

Ya que los teléfonos y servidores usados en VoIP usan software, y como todos sabemos un software es vulnerable a los mismos tipos de bugs o agujeros de seguridad que pueden hacer que un sistema operativo pueda estar a plena disposición del intruso. Un código puede ser insertado para configurar cualquier tipo de acción maliciosa. [REF.14]

1.8.1 Problemas de Seguridad

Por desgracia, los mismos tipos de ataques que afectan las redes de datos pueden afectar las redes VoIP. Como consecuencia, el contenido de las comunicaciones VoIP es vulnerable a los ataques, las

modificaciones, las interceptaciones y los redireccionamientos. Peor aún, como las comunicaciones de voz y de datos se ejecutan en la misma infraestructura, un ataque al sistema VoIP podría hacer peligrar toda la disponibilidad de la red IP, lo que pondría en peligro la capacidad de la empresa para comunicarse por medio de voz y de datos [REF. 14]. Entre los riesgos para la seguridad mas conocidos en un sistema VoIP podemos destacar los siguientes:

1.8.1.1 Ataques de negación de servicios

Esto sucede cuando se lanzan peticiones y registros de llamadas sucesivamente en un tiempo muy largo para intentar superar la capacidad de los dispositivos de telefonía VoIP. Este desbordamiento puede dar lugar a que los recursos se agoten, las líneas parezcan continuamente ocupadas y las llamadas se pierdan. [REF. 14]

1.8.1.2 Espionaje

El software de medición de servicios y resolución de problemas que forma parte de una solución VoIP, convierten al espionaje en una tarea relativamente sencilla. Al monitorear los paquetes de señales de llamadas, terceros no autorizados pueden obtener nombres de usuario, claves y números telefónicos, y, de esta manera, tener el control de los planes de llamadas, el correo de voz, la transferencia de

llamadas e información sobre la facturación. Además terceros pueden obtener acceso a información confidencial personal o de la empresa mediante el espionaje de conversaciones basadas en VoIP. [REF. 14]

1.8.1.3 Fraude en las tarifas

El fraude en las tarifas se produce cuando un intruso obtiene el control de la red VoIP e imita a un usuario autorizado, o toma el control de la red y usa la cuenta para realizar llamadas de larga distancia a costa del propietario. [REF. 14]

1.9 Ventajas del uso de VoIP

VoIP nos puede brindar una gran cantidad de ventajas, entre las más importantes podemos destacar las siguientes:

- **Integrado redes de datos y voz:** Al hacer la voz "sólo una aplicación IP", las empresas pueden realmente construir redes integradas de voz y datos. Estas redes integradas no sólo proporcionan la calidad y la fiabilidad, sino que también permiten a las empresas de manera rápida y flexible aprovechar las nuevas oportunidades dentro del mundo cambiante de las comunicaciones. [REF. 15]

- **Ahorro de costos:** Al mover el tráfico de voz para redes IP, las empresas pueden reducir o eliminar los costos asociados con el transporte de llamadas a través de la red telefónica pública conmutada, además de transporta voz y datos sobre el mismo enlace. Los prestadores de servicios y los usuarios finales pueden también ahorrar ancho de banda mediante la inversión en capacidad adicional sólo cuando sea necesario. Esto es posible por la naturaleza distribuida de VoIP y por la reducción de gastos de operaciones. [REF. 15]

- **Estándares abiertos y la interoperabilidad de diversas marcas:** Mediante la adopción de estándares abiertos, las empresas y los proveedores de servicios pueden comprar equipos de múltiples proveedores y eliminar su dependencia en soluciones propietarias. [REF. 15]

Otras ventajas que podemos observar en su uso son [REF. 15]:

- Ahorro de ancho de banda y aprovechamiento de los intervalos entre ráfagas de datos haciendo un uso más efectivo de canales costosos Integración de servicios y de empresas.
- Mayor número de aplicaciones.
- Facilidad de incorporar servicios especiales.

- Fácil de usar.
- Expansión sencilla.
- Extiende las capacidades de Red actuales hacia nuevas aplicaciones de voz, datos y video.
- Migración suave.

1.10 Desventajas del uso de VoIP

Entre las limitaciones de VoIP tenemos [REF. 15]:

- Las redes IP normalmente no permiten garantizar un tiempo mínimo para atravesarlas.
- Las redes IP están diseñadas para descartar paquetes en caso de congestión y retransmitirlos en caso de error. Esto no es adecuado para la voz.
- Los retardos de cientos de milisegundos, comunes en redes de datos, son inaceptables en una conversación telefónica.

2 REDES CELULARES 3G - UMTS

2.1 Objetivos

- Conocer la arquitectura de un sistema UMTS y su evolución progresiva hacia un sistema ALL IP.
- Conocer las distintas aplicaciones y servicios que nos ofrece un sistema UMTS.

2.2 Generalidades UMTS

Este apartado se centra en la descripción del sistema UMTS de forma general, con la intención de ofrecer una visión de conjunto. Ya que UMTS o comúnmente llamada sistema 3G se trata de una mejora de la antigua red GSM (2G – Segunda Generación), daremos mayor énfasis en lo que a cambiado de dicha red 2G a 3G pero también mencionando lo más importante que incorporo 2G en su momento y que aún hace uso la red 3G. [REF. 15]

UMTS tendrá un papel protagónico en la creación del futuro mercado masivo para las comunicaciones multimedia inalámbricas de alta calidad que alcanzarán a 2000 millones de usuarios en todo el mundo en el año 2010. UMTS es la plataforma de prestaciones móviles preferida para los servicios y aplicaciones con gran contenido del mañana. [REF. 15]

En los últimos diez años, UMTS ha sido objeto de intensos esfuerzos de investigación y desarrollo en todo el mundo, y cuenta con el apoyo de numerosos e importantes fabricantes y operadores de telecomunicaciones, ya que representa una oportunidad única a la sociedad de crear un mercado masivo para el acceso de la información de servicios móviles altamente personalizados y de uso fácil. [REF. 15]

UMTS busca extender las actuales tecnologías móviles, inalámbricas y satelitales proporcionando mayor capacidad, posibilidades de transmisión de datos y una gama de servicios mucho más extensa, usando un innovador programa de acceso radioeléctrico y una red principal mejorada. [REF. 15]

2.3 Arquitectura global UMTS

Una red UMTS se compone básicamente de un núcleo de red (CN), una red de Acceso Radio (UTRAN) y el Equipo de Usuario (UE) o terminales móviles, tal como se indica en la Figura 2.3; a estos componentes de UMTS también se los conoce como Dominios. [REF. 15]

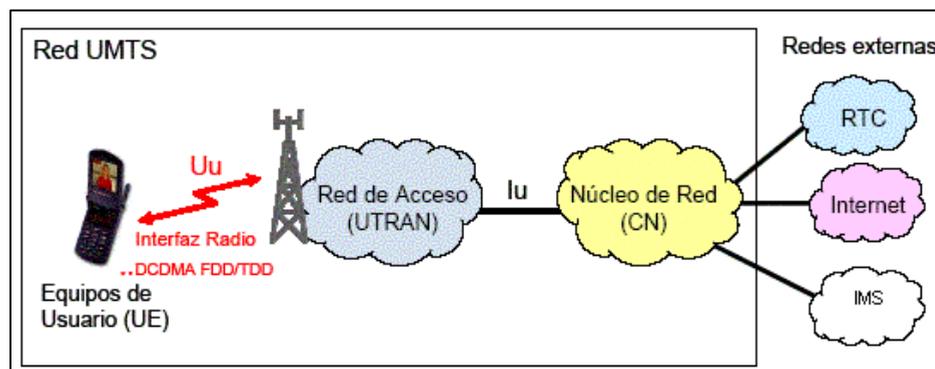


Figura 2.3 – Arquitectura UMTS: Dominios [REF. 16]

Los dominios son unidos por interfaces. La interfaz Uu es la encargada de unir el dominio de usuario (UE) y la red UTRAN, y a la vez este se enlaza con la red central o Core Network por medio de la interfaz Iu. [REF. 16]

UMTS consta de diferentes versiones o Releases que son su evolución a medida iba mejorando su arquitectura; en el presente documento hablaremos principalmente de los Releases 99, 4 y 5, en los cuales se incorpora el núcleo IP de UMTS y la arquitectura IMS,

que son los responsables del gran crecimiento de UMTS dando servicios multimedia avanzados como es el caso de VoIP y videoconferencias. [REF. 15]

A continuación detallaremos la arquitectura de UMTS en su Release 99, con sus diferentes componentes.

2.3.1 Equipo de Usuario (UE)

Es también llamado móvil, es el equipo que el usuario trae consigo para lograr la comunicación con una estación base en el momento que lo desee y en el lugar en donde exista cobertura. Este puede variar en su tamaño y forma, sin embargo debe estar preparado para soportar el estándar y los protocolos para los que fue diseñado. Por ejemplo, si un móvil trabaja bajo el sistema UMTS debe ser capaz de acceder a la red UTRAN mediante la tecnología de WCDMA para lograr la comunicación con otro móvil, con la PSTN, con GSM de 2.5G, tanto para voz como para datos. Además UE habilita la generación de tráfico para aplicaciones multimedia. Permite codificar y empaquetar independientemente cada tipo de medio (audio, video o datos) en paquetes RTP y transportarlos en datagramas UDP sobre IP. [REF.15]

2.3.2 Red de Acceso Radio (UTRAN)

La red de acceso radio proporciona la conexión entre los terminales móviles y el núcleo de red. En UMTS la red de acceso radio se denomina UTRAN, y se compone de un conjunto de sistemas de red radio o RNS, constituidos a su vez por los RNC que controlan a los denominados Nodos B (estaciones bases) dependientes de él. [REF.15]

En la Figura 2.3.2 se muestra la arquitectura de UTRAN.

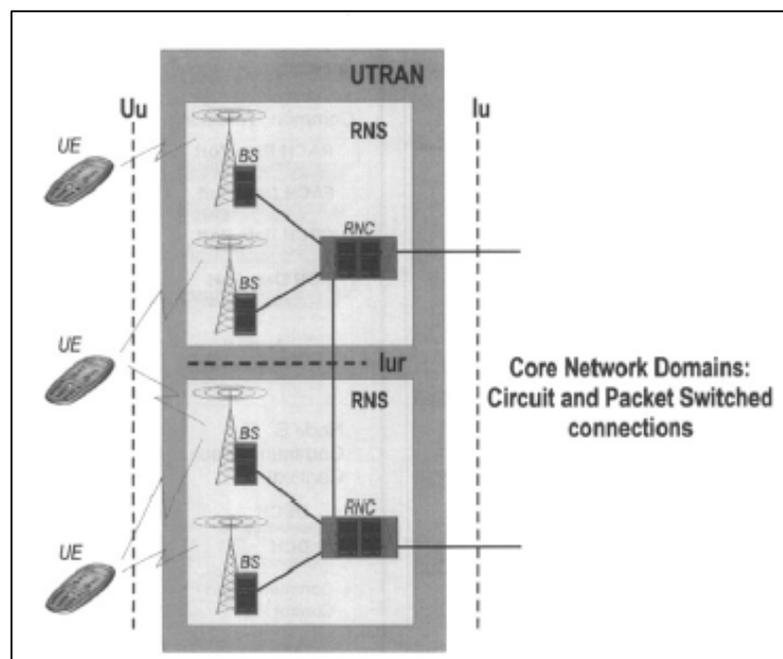


Figura 2.3.2 – Componentes de UTRAN [REF. 15]

Los elementos funcionales que constituyen la UTRAN se comunican entre si a través de las siguientes interfaces y se muestran también en la Tabla IV:

- La interfaz entre el CN y el RNC se denomina I_{U} .
- La interfaz entre dos RNCs se denomina I_{UR} .
- La interfaz entre un Nodo B y el RNC se denomina I_{Ub} .
- La interfaz radio o aire entre un Nodo B y el Terminal móvil se denomina U_U .

Interface	Location	Equivalent in GSM	
Uu	UE ↔UTRAN	Um	
Iu	UTRAN↔CN	Iu-CS: RNC↔MSC	A
		Iu-PS: RNC↔SGSN	Gb
Iur	RNC↔RNC	None	
Iub	Node B↔RNC	Abis	

Tabla IV – Interfaces de UTRAN [REF. 17]

2.3.2.1 Componentes de UTRAN

Entre los elementos más importantes del Dominio UTRAN ya antes mencionados tenemos el RNC, Nodo B y las interfaces I_U y U_U .

- **Controlador de la Red de Radio (RNC):** Es el encargado del control de uno o varios Nodos B. [REF. 15]

- **Estación base (Nodo B):** Es el encargado de dar servicio a una o más células, sin embargo las especificaciones hablan de una sola célula por Nodo B. Es el nodo de intercambio entre la UTRAN y los UE, asegura funciones de la capa física como lo son la modulación. [REF. 15]

- **Interfaz Iu:** Esta interfaz conecta al CN con la UTRAN. Es la interfaz central y la más importante para el concepto de 3GPP. [REF. 15]

- **Interfaz Radio Uu:** Es la interfaz encargada del enlace entre UTRAN y el equipo de usuario (UE), para que se entienda de mejor manera es la tecnología inalámbrica o de acceso al medio utilizada para la comunicación como por ejemplo WCDMA, HSPA, etc. [REF. 15]

2.3.2.2 Tecnologías de acceso al medio (Interfaz Uu)

2.3.2.2.1 Acceso Múltiple Por División de Código de Banda

Ancha (WCDMA)

Es el sistema de acceso de radio utilizada para los sistemas celulares 3G que se empezó a utilizar en diversas partes del mundo y que sirve de apoyo a los sistemas 3G de banda ancha como servicios de alta velocidad de acceso a Internet, video y transmisión

de imágenes de alta calidad con la misma calidad que las redes fijas. [REF. 17]

El estándar WCDMA fue desarrollado por 3GPP que tiene como objetivo garantizar la interoperabilidad entre las diferentes redes 3G. La información del usuario se extiende sobre una banda de aproximadamente 5 MHz. Este ancho de banda ha dado lugar al nombre Acceso múltiple por división de código (Wideband-CDMA) o WCDMA. Entre las principales características que podemos mencionar tenemos [REF. 17]:

- Soporte de alta tasa de transmisión de datos: 384 Kbps con amplia zona de cobertura, de 2 Mbps, con cobertura local.
- Alta flexibilidad de servicio: soporte de múltiples servicios paralelos a tasa variable en cada conexión.
- Construido en soporte para futura capacidad y cobertura reforzada como tecnologías con antenas adaptivas, estructuras avanzadas de recepción y diversidad de transmisión.
- Soporte de inter-frecuencia handover y handover hacia otros sistemas, incluyendo handover hacia GSM.

2.3.2.2.2 Tecnologías de Acceso Radio

Acceso de Paquetes de Alta Velocidad (HSPA): Es la combinación de tecnologías posteriores y complementarias a 3G, como son el 3.5G o HSDPA y 3.5G Plus, 3.75G o HSUPA. Teóricamente admite velocidades de hasta 14,4 Mbps en bajada y hasta 2 Mbps en subida, dependiendo del estado o la saturación la red y de su implantación. [REF.18]

Acceso Descendente de Paquetes a Alta Velocidad (HSDPA): Es la optimización de la tecnología espectral UMTS/WCDMA, incluida en las especificaciones de 3GPP Release 5 y consiste en un nuevo canal compartido en el enlace descendente (downlink) que mejora significativamente la capacidad máxima de transferencia de información pudiéndose alcanzar tasas de hasta 14 Mbps. . Es la evolución de la 3G llamada 3.5G. Es totalmente compatible en sentido inverso con WCDMA y aplicaciones ricas en multimedia desarrolladas para WCDMA funcionarán con HSDPA. La mayoría de los proveedores UMTS dan soporte a HSDPA. [REF.18]

Acceso Ascendente de Paquetes a Alta Velocidad (HSUPA): Es un protocolo de acceso de datos para redes de telefonía móvil con alta tasa de transferencia de subida (de hasta 7.2 Mbps.). Calificado como

3.75G o 3.5G Plus, es una evolución de HSDPA. La solución HSUPA potenciará inicialmente la conexión de subida UMTS/WCDMA (3G). Es definido en el Release 6 publicado por 3GPP, como una tecnología que ofrece una mejora sustancial en la velocidad para el tramo de subida, desde el terminal hacia la red. [REF.18]

2.3.3 Núcleo de Red (CN)

El núcleo de red incorpora funciones de transporte (de la información y señalización, incluida la conmutación) y de inteligencia (aquí se incluye el encaminamiento, esta encargado de la lógica y el control de ciertos servicios, además de la gestión de la movilidad). [REF. 15]

En UMTS se ha buscado definir un núcleo de red universal, que pueda gestionar distintos tipos de red de acceso radio y conectarse a distintos tipos de redes fijas. En una primera fase se parte de la red troncal GSM, con lo que se busca minimizar costos y facilitar la evolución. [REF. 15]

Como ocurría en GSM, en la primera fase de UMTS de núcleo de red se ha dividido en dos dominios: Conmutación de Circuitos (Circuit Switch CS) y Conmutación de Paquetes (Packet Switch PS). A través del modo CS se encaminaran los tráficos de voz y datos en modo de

circuito, y el modo PS haría lo propio con el tráfico de datos en modo de paquetes. [REF. 15]

Los elementos funcionales comunes a los dos dominios se muestran a continuación en la Figura 2.3.3:

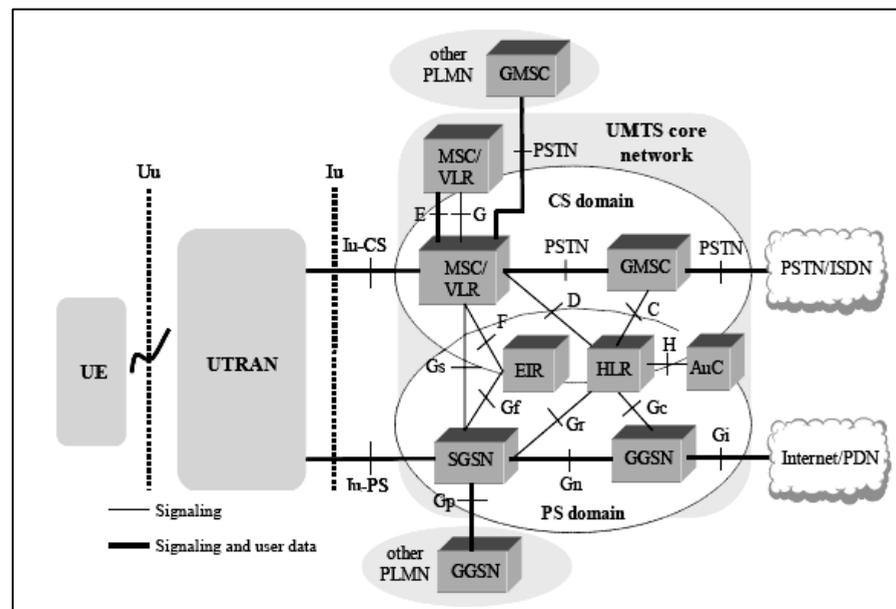


Figura 2.3.3 – Arquitectura del Núcleo de red [REF. 15]

2.3.3.1 Componentes del Dominio CN

Como ya sabemos el CN se divide en dos dominios internos que son el CS y el PS, entre los elementos funcionales referentes al dominio CS tenemos:

➤ **Centro de Conmutación de Servicios Móbiles (MSC):**

Proporciona la conexión con el UTRAN y otros MSCs. Maneja el

registro de los suscriptores dentro del área que el controla, así como su movilidad. El MSC valida la conexión de la llamada, las demandas del UEs y asigna los recursos físicos necesarios en combinación con el UTRAN. [REF. 15]

- **Registro de Localización del Visitante (VLR):** Es una base de datos que dinámicamente guarda la información del suscriptor cuando el UE se localiza en el área cubierto por el VLR. [REF. 15]

- **Puerta de Enlace MSC (GMSC):** Es un MSC que funciona como una entrada que colecciona la información de la situación para dirigir una llamada de un UE al MSC que sirve al UE en ese momento. El GMSC también asegura el trabajo con las redes como PSTN e ISDN. [REF. 15]

- **Registro de Localización del Usuario (HLR):** Es una base de datos compartida por los dominios CS y PS encargada de la gestión de los clientes y la información correspondiente a cada uno. [REF.15]

- **Registro de Identificación del Equipo (EIR):** También es una base de datos compartida por los dominios CS y PS dónde una

lista de equipos móviles es mantenido, identificados por su IMEI, de esta manera los equipos se asignan a una lista blanca, gris o negra, atendiendo a su situación. Es decir, que puedan operar sin restricciones en la red, que deban ser objeto de cierto seguimiento o que tengan prohibido el servicio, respectivamente. [REF. 15]

- **Centro de Autenticación (AuC):** Es una base de datos protegida, accedida por el HLR. En el AuC se guarda una copia de la contraseña contenida en el USIM de cada suscriptor que es usado para la autenticación, encriptación y procedimientos de integridad. [REF. 15]

- **Puerta de Enlace al Medio(MGW):** Es el encargado de funcionar como Gateway IP de medios, que permite la comunicación con redes externas CS. [REF. 15]

Los siguientes elementos pertenecen al dominio PS y funcionan como enrutadores IP para dar acceso a redes externas PS:

- **Nodo de Apoyo para Servicios GPRS (SGSN):** Es responsable de la comunicación entre el dominio de PS y todos los usuarios

de UMTS localizados dentro de su área de servicio. Además de la transferencia y enrutamiento de datos, se ocupa de la autenticación, cifrado e integridad del usuario. En el dominio de PS, la funcionalidad de VLR está ya empotrado dentro del SGSN. [REF. 15]

- **Nodo de Apoyo para Puertas de Enlace GPRS (GGSN):** Es el nodo frontera de las comunicaciones en modo paquete. Almacena dos tipos de información necesaria para manejar las llamadas de datos originadas y terminadas en el terminal: Identidad de Terminal (IMSI y cero o más contextos PDP que contienen la información necesaria para identificar una conexión concreta, incluyendo dirección IP asignada al terminal, atributos de calidad de servicio, tipo de servicio portador, etc.) y la información de localización como lo es la dirección del nodo SGSN en el que el terminal esta registrado. [REF. 15]

2.3.4 Redes externas

La conexión hacia redes externas de paquetes de datos se representa con un elemento capaz de introducir retardos y pérdidas de paquetes. Estas redes a medida vayan adoptando los estándares de la industria

para ofrecer QoS y su debida implementación de la arquitectura IMS, este problema ira desapareciendo, brindándonos sistemas más confiables y rápidos. [REF. 19]

2.4 Modelo del Núcleo IP sobre UMTS

Con el deseo de obtener una convergencia total, por motivos de ahorro de costos respecto a los modelos tradicionales, la necesidad de compartir infraestructuras entre distintas unidades de negocio, la compatibilidad entre distintas redes, simplificar y unificar la gestión, la operación y el mantenimiento de los servicios y la gran preponderancia cada vez mayor de internet, llevó a una tendencia IP total la cual llamamos modelo "All-IP". [REF. 20]

Si el sistema UMTS expuesto en su versión 99 o también llamado Release 99 presentaba cambios radicales frente a GSM en la red de acceso radio, al emplear la tecnología WCDMA en la interfaz aire, a partir de los Releases 4 y 5 los cambios fundamentales se presentan en el núcleo de red y en las capacidades de servicio. En estos Releases de UMTS, 3GPP introduce opciones en la configuración de red, y especifica la arquitectura y protocolos IP de Internet para su transporte de datos de extremo a extremo. [REF. 20]

Como pudimos observar en el Release 99, el acercamiento a la opción “All-IP” no es suficiente para motivar un aumento del tráfico de datos en las redes móviles. De hecho, solo proporciona beneficios a los operadores en lo que se refiere al ahorro de costos de infraestructura, a una mejor escalabilidad, a una mayor flexibilidad y a la simplificación de la operación y mantenimiento, ya que básicamente su implementación se da como un red IP típica adoptando todos sus beneficios y desventajas como lo es la baja QoS, es por eso que “All-IP” no aumenta por si mismo el uso de los servicios de datos y en 3GPP no tiene mayor interés aisladamente. Es por eso que ante esta situación, 3GPP define e incorpora la arquitectura IMS en su fase 1 al núcleo de la red móvil en el Release 5 el cual es un sistema de control de sesión diseñado con tecnologías de internet adaptadas al mundo móvil, que hace posible la provisión de servicios móviles multimedia sobre conmutación de paquetes, IMS se detallara en profundidad en el próximo capítulo para mejor comprensión de su gran utilidad. [REF. 20]

2.4.1 Modelo conceptual del plano de transporte IP de UMTS

De acuerdo con las especificaciones de 3GPP el uso de la arquitectura IMS en su fase 1 se da en el Release 5, en el cual la arquitectura de la red UMTS está diseñada en planos de operación (Figura 2.4.1 (a)): plano de servicio, plano de control y plano de transporte. Esto significa

que los servicios de transporte están separados de los servicios de señalización y gestión de sesión. Con esto se logra una dependencia mínima entre los planos y además facilita la adición de nuevas redes de acceso al sistema. Cuando las aplicaciones están separadas y se ofrecen funciones en común, la terminal del usuario puede obtener las mismas aplicaciones empleando diversos tipos de acceso. [REF. 19]

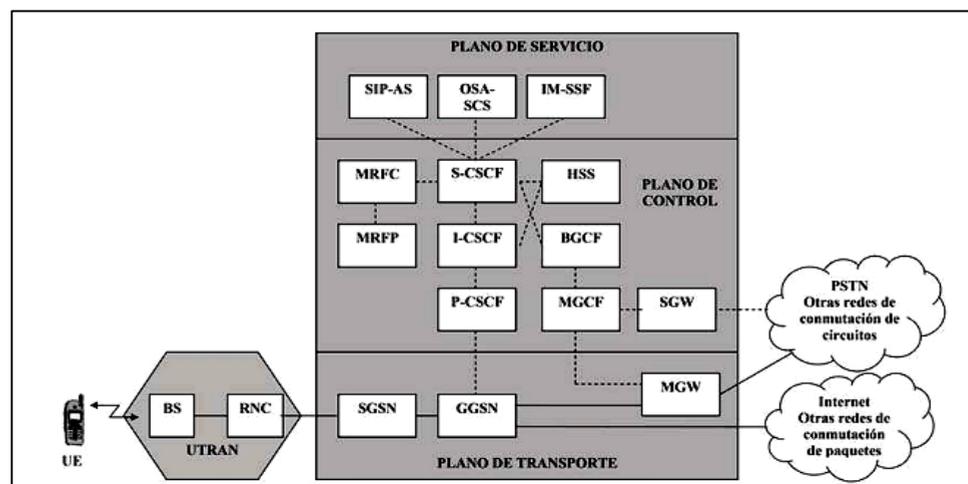


Figura 2.4.1 (a) - Planos de la Red UMTS V5 [REF. 19]

El plano de transporte está formado por los elementos de red (bloques unidos por líneas continuas) que manejan el flujo de datos entre las terminales móviles de los usuarios y las redes externas, que constituye la mayor proporción del tráfico que maneja la red UMTS. La otra parte del tráfico manejado por la red es generado por las necesidades de señalización. Para la aplicación de voz, el tráfico de señalización

presenta un volumen de aproximadamente del 6.5% en relación al tráfico de los usuarios. [REF. 19]

Para el desarrollo de este capítulo solamente se considera el plano de transporte de la red UMTS, debido a que el enfoque de interés es caracterizar el comportamiento y la capacidad de manejo de tráfico de dicha red, con el objetivo de habilitar el transporte de multimedia en tiempo real. De esta forma, la Figura 2.4.1 (b) presenta un modelo simplificado de UMTS a partir del cual se desarrolla este trabajo. [REF.19]

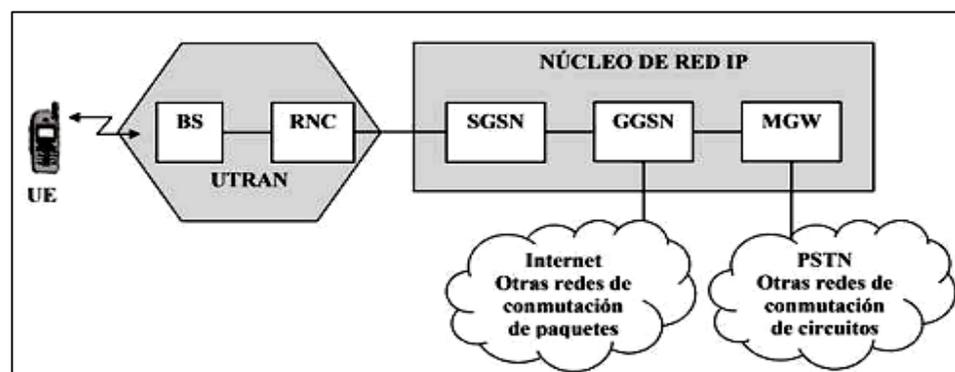


Figura 2.4.1 (b) - Modelo simplificado del sistema UMTS [REF. 18]

2.4.2 Trayectorias de comunicación

Para la comunicación de extremo a extremo en la red IP habrá dos trayectos, correspondientes a los que se establecen para voz y para

datos. Los elementos de red involucrados en cada ruta se muestran en las Figuras 2.4.2 (a) y (b). [REF. 19]

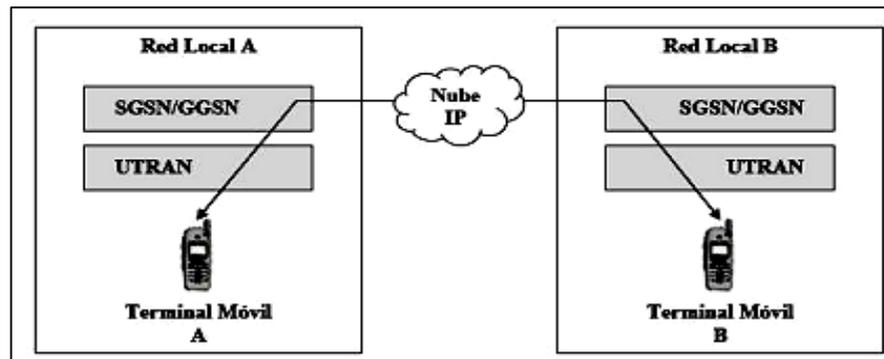


Figura 2.4.2 (a) - Trayectoria entre dos UE móviles [REF. 19]

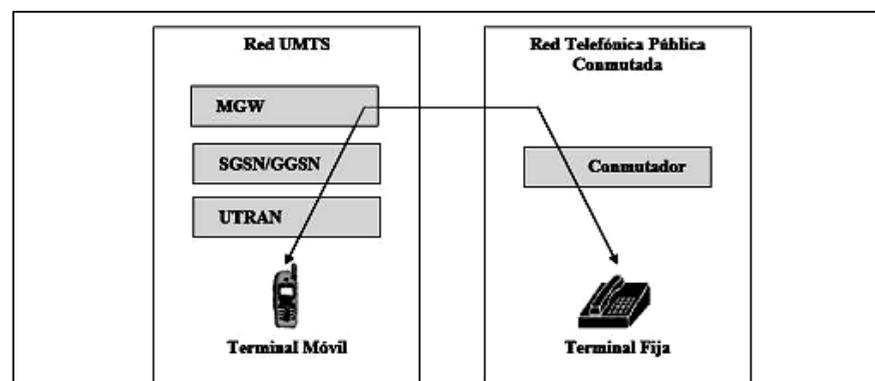


Figura 2.4.2 (b) - Trayectoria entre un UE móvil y un UE fija [REF. 19]

2.4.3 Protocolos y mecanismos de IP sobre redes UMTS

Dentro del modo de operación del modelo conceptual se emplean los siguientes protocolos y mecanismos de IP, especificados por 3GPP para UMTS [REF. 19]:

- Protocolos RTP/UDP para aplicaciones en tiempo real.

- Hace uso del protocolo DiffServ para entregar QoS a la comunicación.

2.4.3.1 Servicios Diferenciados (DiffServ)

3GPP especifica el protocolo DiffServ de la IETF como mecanismo para el aprovisionamiento de QoS en el núcleo de red UMTS. Para esto se requiere una conversión en el RNC entre los parámetros de QoS en UMTS y los de DiffServ. En el GGSN se necesita una conversión similar para los paquetes entrantes. [REF. 21]

2.5 Principales beneficios de UMTS

UMTS es apropiado para una variedad de usuarios y tipos de servicios, entre las cosas más importantes que nos ofrece una red UMTS tenemos:

2.5.1 Nuevos y mejores servicios

Los servicios de voz mantendrán una posición dominante durante varios años. Uno de los aspectos más importantes a considerar en el modelo de negocio UMTS son los servicios que pueden entregarse al usuario final. UMTS es simplemente una tecnología que proporciona redes móviles con capacidad superior y velocidades más altas. La disponibilidad de estas características no garantiza la rentabilidad del

negocio. Los servicios son la razón por la cuál el usuario está dispuesto a pagar. Los servicios que serán entregados en redes UMTS son muy amplios. De un mundo dominado por comunicaciones de voz, pasamos a uno donde coexistirán las comunicaciones de datos y de voz. Las capacidades multimedias aparecen para ofrecer un amplio rango de servicios, por ejemplo servicios de entretenimiento, mensajería instantánea, VoIP, ubicación, etc. [REF. 22]

2.5.2 Acceso rápido

UMTS aventaja a los sistemas móviles 2G por su potencial para soportar mayores velocidades de transmisión de datos. Esta capacidad sumada al soporte inherente del protocolo IP, se combina poderosamente para prestar servicios multimedia interactivos y nuevas aplicaciones de banda ancha, tales como servicios de video telefonía y video conferencia. [REF. 22]

2.5.3 Transmisión de paquetes de datos y velocidad de transferencia de datos a pedido

La mayoría de los sistemas celulares utilizan tecnología de conmutación de circuitos para la transferencia de datos. GSM ofrece una capacidad de conmutación de paquetes de datos de velocidades bajas y medias. UMTS integra la transmisión de datos en paquetes y

por circuitos de conmutación de alta velocidad a los beneficios de [REF. 22]:

- Conectividad virtual a la red en todo momento.
- Formas de facturación alternativas (por ejemplo, pago por byte, por sesión, tarifa plana, ancho de banda asimétrico de enlace ascendente/descendente) según lo requieran los variados servicios de transmisión de datos que están haciendo su aparición, UMTS también ha sido diseñado para ofrecer velocidad de transmisión de datos a pedido, lo que combinado con la transmisión de paquetes de datos, hará que el funcionamiento del sistema resulte mucho más económico.

2.5.4 Movilidad y cobertura

UMTS ha sido concebido como un sistema global, que incluye tanto componentes terrestres como satelitales globales. Terminales multimodo capaces de funcionar también sobre sistemas 2G. Con estas terminales, un abonado tendrá la posibilidad de usar el roaming desde una red privada hacia una red pública picocelular/microcelular, luego a una red macrocelular de un área amplia (por ejemplo, una red de 2G), y luego a una red satelital, con una interrupción ínfima de la comunicación. [REF. 22]

Existen tres tipos de celdas celulares que ofrece UMTS según el sector a cubrir:

Macroceldas (radio entre 1 y 40 Km)

- Cobertura celular en grandes áreas abiertas.
- Servir de celdas paraguas para cubrir huecos en zonas con microceldas.

Microceldas (50 a 1000 m. de radio)

- Cobertura celular en áreas urbanas y autopistas.
- Antenas direccionales.
- Cubrir zonas oscuras en macroceldas.

Picoceldas (radios inferiores a 50 m.)

- Uso en entornos residenciales e interiores de oficinas.
- La zona cubierta depende de la estructura del edificio y los materiales empleados.

2.5.5 Radio-tecnología para todos los entornos

El sistema de acceso radioeléctrico de UMTS, soportará las operaciones con una alta eficiencia espectral y calidad de servicio. Posiblemente las terminales UMTS no puedan operar en todo

momento a las velocidades más altas de transmisión de datos, y en áreas alejadas o excesivamente congestionadas los servicios del sistema pueden llegar a soportar solamente velocidades de transmisión de datos más bajas debido a limitaciones de propagación o por razones económicas. Con el fin de permitir a los abonados usar siempre su terminal, los servicios serán adaptables a diferentes disponibilidades de velocidad de transmisión de datos y otros parámetros de QoS. [REF. 22]

El esquema de modulación y codificación es adaptativo dependiendo de la calidad de la señal y del requerimiento de tasa de transmisión. La modulación inicial en malas condiciones es QPSK en el cual la tasa de transferencia teóricamente no supera los 384Kbps, pero en buenas condiciones la modulación es 16QAM el cual puede aumentar significativamente las tasas de rendimiento de procesamiento de datos a más de 2Mbps de bajada y 128Kbps de subida. HSDPA mejora la velocidad de datos, disminuye la latencia y el tiempo de ida y vuelta para las aplicaciones. [REF. 23]

2.5.6 Calidad de Servicio (QoS) en redes UMTS

La calidad de servicio en UMTS conlleva requisitos técnicos generales de alto nivel definidos mediante conjuntos de atributos como [REF.21]:

- La existencia de mecanismos de control de QoS en UMTS que permitan gestionar los atributos de QoS entre UE y nodos 3G.
- Comportamiento dinámico de la QoS que permita modificar los valores de los atributos durante una sesión activa.

La QoS extremo a extremo se basa en la calidad que proporcionan los servicios portadores subyacentes: el servicio portador local, el servicio portador UMTS y el servicio portador externo cuyo objetivo es no limitar innecesariamente los equipos terminales a emplear (Ej. un PC) y las posibles redes destino (Ej. Internet) que van a comunicarse. La QoS se relaciona prácticamente con los retrasos, en donde la contribución de retrasos dentro de la red móvil debe ser llevada al mínimo. [REF. 20]

3 Subsistema Multimedia IP (IMS)

3.1 Objetivos

- Conocer la arquitectura IMS y su implementación en un sistema UMTS.
- Conocer los protocolos mas usados en una arquitectura IMS y su analogía con aplicaciones multimedia como VoIP.

3.2 Introducción a IMS

IMS es la pieza clave de la arquitectura 3G introducida en el Release 5 de UMTS por 3GPP. Se trata de una arquitectura integrada en el núcleo de red para ofrecer servicios multimedia sobre una infraestructura IP. El diseño de IMS ofrece mecanismos para agrupar servicios independientes bajo un mismo modelo de control de sesiones apoyado en SIP y SDP, que permite señalar los servicios sobre conmutación de paquetes, es decir, IMS está orientado a habilitar la convergencia de servicios, combinando el crecimiento de la Internet con el de las comunicaciones móviles, desde cualquier ubicación y método de forma

continua y permanente. El uso de la palabra subsistema en el nombre de IMS nos da conocer que IMS no se trata de una red propiamente, sino que es más bien un paquete de recursos que buscan obtener el máximo provecho de la red existente. [REF. 13]

Adicionalmente, la arquitectura IMS puede soportar múltiples flujos multimedia con diferentes QoS, basada en el principio de que la red puede disociar entre los flujos de portadores y los diferentes flujos de señalización dentro de la sesión multimedia. Así, mediante esta arquitectura, se logra la transmisión eficiente sobre IP de contenidos multimedia en las redes móviles. [REF. 13]

En la parte de servicios, IMS ofrece la posibilidad de mezclarlos, así la voz y los datos podrán combinarse para la oferta de aplicaciones multimedia en tiempo real. Mediante el uso SIP los operadores además romperán las barreras de las redes de acceso, pudiendo ofrecer a sus usuarios, sus servicios a través de redes fijas y móviles. IMS es pues un claro habilitador de la convergencia de redes. [REF. 13]

IMS se construye sobre el concepto de sesión, la misma que se realiza normalmente entre el terminal del usuario y una aplicación o con otro usuario directamente. Dentro de la sesión, gestionada por los nodos

que tienen funciones de control, se pueden generar llamadas, enviar datos, mensajes o bajar contenidos dependiendo de la naturaleza de la aplicación. [REF. 13]

La característica más notable de IMS es la naturaleza de su arquitectura basada en Internet, adoptando así todos los servicios basados en TCP/IP, pero ofreciendo QoS garantizada y adaptada a cada flujo de datos. REF. 13]

3.3 Arquitectura IMS

IMS es una arquitectura para ofrecer servicios multimedia sobre infraestructura IP. Con IMS el usuario es accesible mediante una única dirección, similar a la del correo electrónico, independientemente del dispositivo (teléfono móvil o fijo, PC, Asistente Personal Digital PDA, televisor, etc.) y tipo de red de acceso ya que soporta múltiples tipos de tecnologías de acceso, como GSM, UMTS, Línea de Subscriptor Digital (DSL), Wi-Fi, WI-MAX (Interoperabilidad mundial para el acceso por microondas), Bluetooth, etc. Lo que permitirá pasar de un sistema a otro sin interrumpir la conexión y utilizar varios medios a la vez. Fue implementado inicialmente para aplicaciones en redes móviles 3G lo cual lo hace una arquitectura muy madura sobre las redes 3G. [REF.24]

Dentro de la arquitectura IMS, se distinguen las siguientes capas o planos operacionales como son: acceso, control y aplicación tal como puede observarse en la Figura 3.3, razón por la cual se dice que IMS define una arquitectura horizontal estructurada en capas. [REF.24]

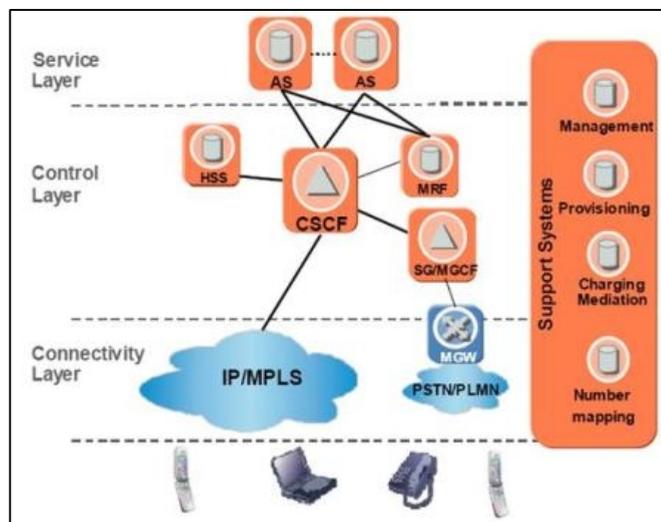


Figura 3.3 – Representación simplificada de la Arquitectura IMS [REF. 25]

3.3.1 Especificación detallada de las capas IMS

En la Figura 3.3.1 podemos observar un poco más detallado los distintos elementos correspondientes a las capas de IMS. [REF.24]

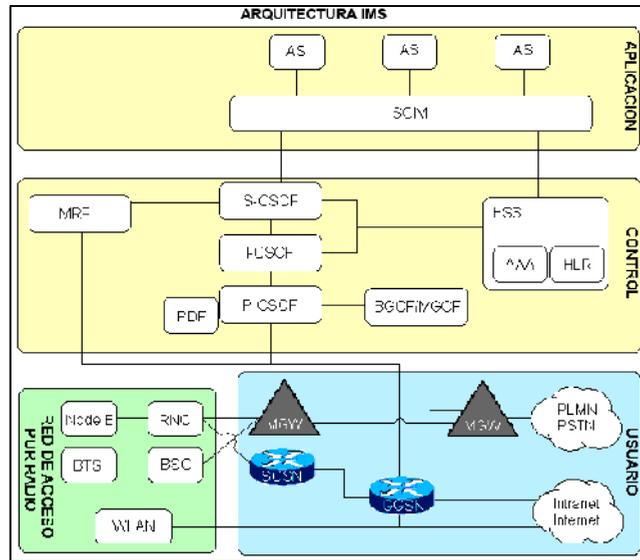


Figura 3.3.1 – Arquitectura IMS [REF. 24]

3.3.2 Capa de aplicación

La capa de aplicación es la más cercana al usuario. Se basa en los programas los cuales se encargan de generar la información. Esta capa mediante la definición de protocolos, asegura una estandarización de las aplicaciones de red. Sus bloques funcionales son los siguientes [REF.24]:

3.3.2.1 Servicio de Aplicación (AS)

Se encuentra en el nivel más alto de la arquitectura IMS y permite agregar valor a los servicios multimedia basados en IP, servicios a los cuales hospeda y ejecuta. El concepto de separación de capas ayuda a la convergencia de tecnologías y a la seguridad. [REF.26]

3.3.2.2 Administrador de la Capacidad de Servicio (SCIM)

Provee la administración dinámica de recursos entre todas las aplicaciones y se asegura de que haya suficientes recursos asignados a las aplicaciones cuando éstas son solicitadas o usadas por los usuarios finales. [REF.26]

3.3.3 Capa de control

Se encarga de la señalización, para el establecimiento de la sesión entre las entidades correspondientes, los protocolos entre los elementos y las funciones de cada uno de ellos. [REF.24]

Entre sus muchas funciones, provee QoS a las aplicaciones multimedia, identificación y localización de usuario, proporciona componentes de seguridad y gestión de movilidad (roaming), políticas tarifarias y permite interactuar con las redes de otros proveedores. Sus bloques funcionales son los siguientes [REF. 24]:

3.3.3.1 Función de Control de Pasarela de Salida (BGCF)

Un BGCF es un servidor SIP que incluye funcionalidades de direccionamiento. Es usado solamente cuando se llama desde un teléfono IMS a un teléfono de una red conmutadora de circuitos

(PSTN, GSM). Selecciona la red en la cual debe ocurrir el acceso a la red pública conmutada. [REF.26]

Si el BGCF determina que el acceso va a ocurrir en la misma red en donde el BGCF está localizado, entonces el BGCF selecciona un MGCF, quien será responsable del funcionamiento con la red pública. Si el punto de acceso está en otra red, el BGCF enviará la señalización de esta sesión a un BGCF o MGCF (dependiendo de la configuración) en otra red. El objetivo final es minimizar el recorrido de la llamada/sesión. [REF.26]

3.3.3.2 Función de Control de Pasarela de Medios (MGCF)

El MGCF maneja el interfuncionamiento entre la PSTN y el flujo IP de la red IMS. Implementa un plano de control del interworking, traduciendo la señalización IMS SIP/SDP a SS7, y viceversa. Además el MGCF se encarga de recibir el mensaje SIP proveniente del S-CSCF y determinar qué conexión realizar con el MGW. [REF.26]

3.3.3.3 Función de Recursos de Medios (MRF)

La función de recursos de medios MRF permite que se realicen multiconferencias mezclando los flujos de media de varios

participantes. El MRF comprende dos nodos: el Controlador y el Procesador. El MRFC (controlador) está situado en el plano de señalización como un Agente de Usuario SIP; y, el MRFP (procesador) está situado en el plano de media y provee funciones relacionadas a funciones de media, tales como anuncio de servicios de voz para conferencia de voz y video conferencia. [REF.26]

3.3.3.4 Servidor del Suscriptor de la Red de Origen (HSS)

Es la principal base de datos de usuario que soporta a las entidades de la red IMS que estén manipulando las llamadas/sesiones. Los datos almacenados dentro del HSS corresponden a información de acceso, identidad del usuario final (perfiles de usuario), información de inscripción e iniciación de servicio al cual las entidades lógicas de control (CSCF) acceden al momento de administrar los suscriptores. Estos datos son pasados al S-CSCF mientras que el HSS almacena temporalmente la información con la localización del S-CSCF donde el usuario está registrado en un determinado momento. También contiene información requerida en redes móviles en el HLR e información de Autenticación, Autorización y Contabilidad (AAA) para redes de conmutación de paquetes. [REF.26]

3.3.3.5 Función de las Políticas de Decisión (PDF)

PDF es la función lógica responsable de implementar la política de decisión basada en la información de sesión y medios de comunicación relacionados, obtenida del P-CSCF. [REF.26]

Adicionalmente hace uso de mecanismos de QoS en la capa de conectividad IP. Almacena la información de sesión y medios de comunicación relacionados (dirección IP, número de puertos, ancho de banda, etc.). También genera un testigo (token) de autorización para identificar el PDF y la sesión. [REF.26]

3.3.3.6 Pasarela de Señalización (SGW)

Una característica dentro del Subsistema Multimedia IP es que los componentes de la arquitectura mayoritariamente utilizan una comunicación basada en IP a excepción de dos interfaces, que utilizan el portador y la señalización para interactuar con una red tradicional de conmutación de circuitos (la PSTN o una red móvil GSM/GPRS). El SGW asegura la conversión del transporte para el encaminamiento de la señalización entre SS7 y señalización basada en IP, es decir, entre el conmutador telefónico y el MGCF. [REF.26]

3.3.3.7 Función de Control de la Sesión de Llamada (CSCF)

La transferencia de datos entre usuarios IMS se organiza en sesiones. Una vez que el usuario inicia una sesión, el control de ésta, tiene que ser asumido por la red en la cual el usuario suscribe sus servicios IMS, es decir la red local. [REF.27]

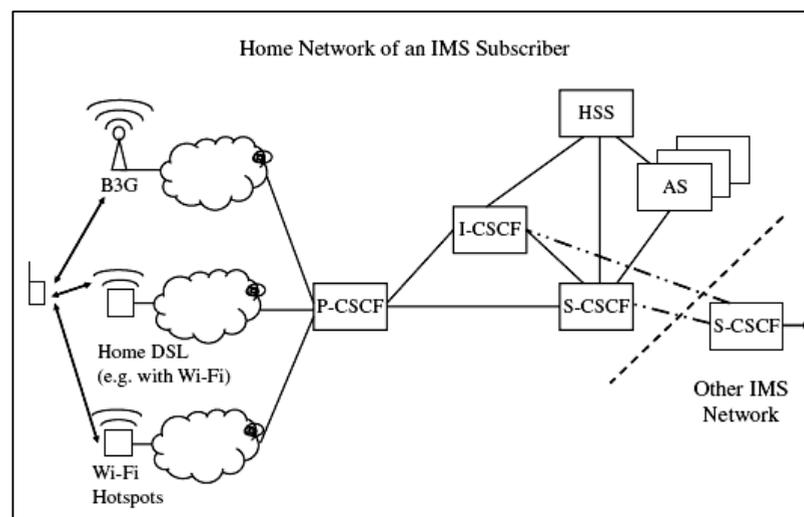


Figura 3.3.3.7 – Elementos de CSCF [REF. 27]

El CSCF está conformado por los siguientes nodos:

- a) Servicio CSCF (S-CSCF):** El S-CSCF realiza los servicios del control de la sesión para poder proporcionar el servicio al usuario. A cada usuario registrado en IMS se le asigna un S-CSCF, el cual se encarga de enrutar las sesiones destinadas o iniciadas por el usuario. El S-CSCF siempre está en la red local. Las funciones realizadas por el S-CSCF durante una sesión son [REF.27]

- Realiza el control de la sesión, para las sesiones registradas.
- Puede comportarse como un servidor Proxy y como un Agente de Usuario SIP.
- Interactúa con las Plataformas de Servicios para dar soporte a los mismos.
- Decide cual Servidor de Aplicaciones es requerido por la petición inicial SIP para asegurar la manipulación apropiada del servicio. La decisión se basa en información recibida por el HSS.
- Obtiene desde una base de datos la dirección de un punto de entrada para una red de otro operador, cuando el usuario destino es un cliente de un operador de red diferente y remite la petición o respuesta SIP a ese punto de entrada.
- Remite la petición o respuesta SIP a un BGCF para el encaminamiento de la llamada a la PSTN o a un dominio de conmutación de circuitos.
- Genera registros de datos tarifarios o CDR (Charging Data Record).

b) Proxy CSCF (P-CSCF): Es el primer punto de comunicación hacia y desde un usuario final con el núcleo de red IMS, este nodo puede

encontrarse en la red local o en la visitada y se encarga de encaminar la señalización de registro y sesión desde los terminales de la red en la que se halle el UE hasta la red local. Todos los mensajes de señalización emitidos por el UE o con destino hacia él, deben pasar por el P-CSCF, ya que el terminal nunca tiene el conocimiento de las direcciones de los demás nodos CSCFs que gestionarán la sesión requerida y mientras dure la sesión, todo el tráfico de la señalización atraviesa el P-CSCF. Las funciones realizadas por la entidad P-CSCF abarcan [REF.27]:

- Remitir los mensajes SIP recibidos del equipo de usuario al S-CSCF.
- Remitir las peticiones o respuestas SIP al equipo de usuario.
- Autorización de recursos para la portadora y administración de QoS.
- Establece una asociación de seguridad con el terminal IMS.
- Puede comprimir y descomprimir mensajes SIP, lo cual reduce los tiempos de ida y vuelta sobre los enlaces de baja velocidad.
- Puede incluir un PDF, el cual autoriza los recursos para los medios, como puede ser la asignación de QoS. Es usado para el control de políticas y gestión del ancho de banda. El PDF también puede ser una función externa al P-CSCF.

- Permite consultar el perfil del usuario en el HSS y la tarificación.

c) Interrogación CSCF (I-CSCF): Es un nodo intermedio que da soporte a la operación IMS. El I-CSCF ayuda a otros nodos a determinar el siguiente salto de los mensajes SIP y a establecer un camino para la señalización. Durante el registro, el P-CSCF se ayuda del I-CSCF para determinar el S-CSCF que ha de servir a cada usuario. En situaciones de itinerancia y en sesiones inter-red, el I-CSCF es el punto de entrada conocido por la red IMS externa e indica el siguiente salto a realizar para la señalización. Opcionalmente, el I-CSCF efectúa funciones de ocultación de la topología de la red IMS ante redes externas, de forma que los elementos ajenos a IMS no puedan averiguar como se gestiona la señalización internamente (por ejemplo, el número, el nombre y la capacidad de los CSCF). Dentro de la red de un operador puede haber múltiples I-CSCF. Sus funciones son [REF.27]:

- Asignar un S-CSCF a un usuario que realiza el registro SIP.
- Encaminar una petición SIP, recibida desde otra red, hacia el S-CSCF.
- Obtención de la dirección del S-CSCF desde el HSS.

- Dirigir la petición o respuesta SIP al S-CSCF determinado por el paso anterior.
- Si el I-CSCF determina, basado en la información obtenida del HSS, que el destino de la sesión no está dentro de IMS, puede remitir la petición o puede volver con una respuesta de falla hacia el extremo que origina la petición.

3.3.4 Capa de usuario

Esta capa es la que permite la independencia en el acceso y consigue la convergencia entre la red fija y la red móvil. Los terminales IMS (teléfonos móviles, PDA, PC, entre otros) pueden registrarse directamente dentro de una red IMS, aún cuando estén en constante desplazamiento. El único requisito es que usen IPv6 (también IPv4 para los adoptadores tempranos de IMS) y estén operando como UA SIP. Tanto el acceso fijo (DSL, Cable MODEM, Ethernet y otros), como el acceso móvil (WCDMA, CDMA y otros) y el acceso inalámbrico (WLAN, WIMAX) son soportados. [REF.24]:

3.3.4.1 Pasarela de Medios (MGW)

La Pasarela de Medios MGW, hace el procesamiento de la información multimedia entre los usuarios finales, es decir, su función

es la de convertir medios de un formato a otro y de su tratamiento (cancelación de eco, etc). [REF.27]

El MGW es controlado por el MGCF por medio del protocolo MEGACO/H.248 y debe ser una plataforma basada en hardware de tiempo real, pues existen servicios que así lo requieren y no admiten que se añada retrasos en la transmisión de la información. [REF.27]

3.3.4.2 Nodos SGSN y GGSN en IMS

Ya antes describimos las funciones principales de estos nodos y su permanencia en la arquitectura IMS se da porque ellos son los encargados de hacer posible la convergencia entre las redes y servicios inalámbricos, con las redes y servicios basados en IP. Esta es una de las ventajas claves de la infraestructura IMS ya que permite que los usuarios que requieran de servicios inalámbricos puedan acceder a los servicios IP de nueva generación. [REF.27]

3.4 Red Local y Visitada

Para comprender mejor estos conceptos de red local y visitada, expondremos el siguiente ejemplo, imaginémonos que compramos un móvil en Ecuador, activado en algún operador local, luego viajamos a otro país, por ejemplo Estados Unidos y realizamos una llamada desde

nuestro móvil antes comprado en Ecuador, esta llamada como es obvio notar, la estamos realizando desde una red de operador visitada, ya que estamos usando una infraestructura no provista por nuestro operador local, no obstante nos da servicio el operador de la red visitada, siempre y cuando exista un acuerdo de roaming entre la red de operador visitado y nuestra red de operador local. En esos acuerdos ambos operadores negocian algunos aspectos del servicio provisto a dichos usuarios, como pueden ser el precio de la llamada, QoS, etc. [REF. 27]

Hay que notar que los nodos de IMS son localizados en la red local, no obstante existen nodos los cuales pueden estar en la red local y visitada. El P-CSCF es un nodo con dichas características, IMS permite dos configuraciones, dependiendo si el P-CSCF está en su red local o visitada. GGSN puede estar en la red local o en la visitada, pero el SSGN siempre es localizado en la red visitada. En IMS los nodos P-CSCF y GGSN deben de encontrarse en la misma red. [REF. 27]

En la Figura 3.4 (a) mostramos una configuración, donde el P-CSCF y el GGSN se encuentran en una red visitada, y representa el futuro de IMS, en el cual la red visitada para contener dichos nodos, debe de

tener soporte IMS, con lo que lleva a la convergencia con dicha red. [REF. 27]

En la Figura 3.4 (b) se muestra la otra configuración, en la cual la red visitada no contiene a los nodos P-CSCF y GGSN, con lo que la implementación del Release 5 de 3GPP en dicha red no es total, la red visitada no requiere soporte para IMS, pero de igual manera IMS le provee sus servicios a un nivel moderado. Esta configuración pretende ayudar a la expansión progresiva del sistema IMS, a medida la infraestructura de dichas redes adopten el Release 5 de 3GPP completamente. [REF. 27]

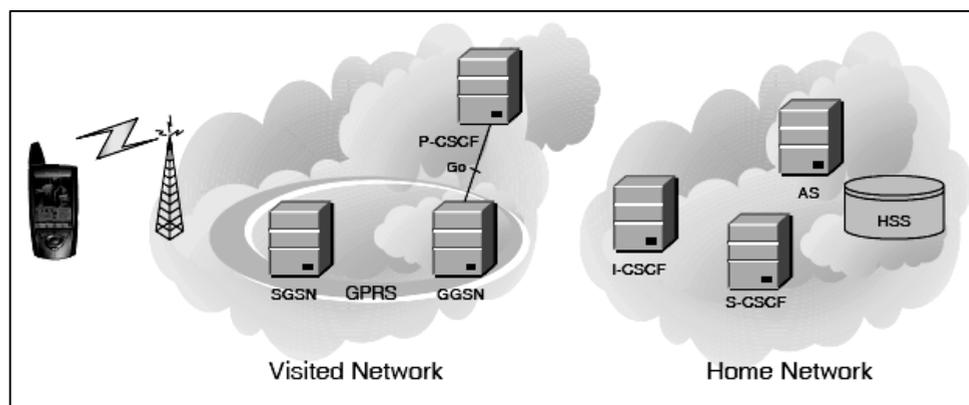


Figura 3.4 (a) – Nodo P-CSCF localizado en una red visitada [REF.27]

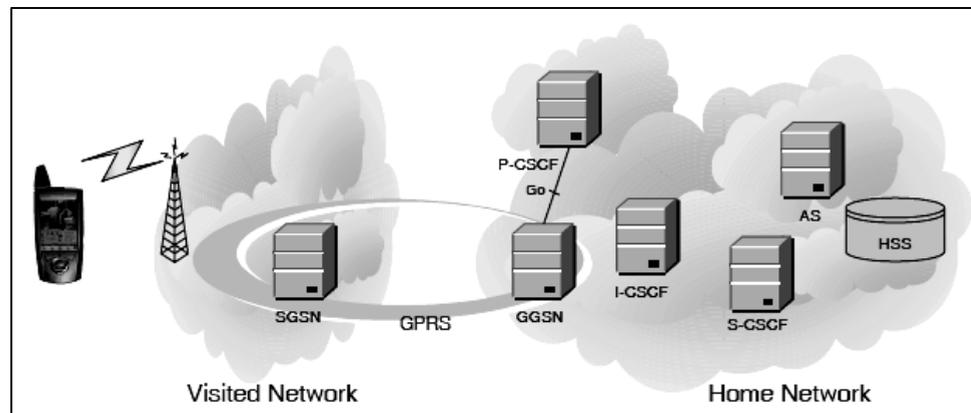


Figura 3.4 (b) – Nodo P-CSCF localizado en una red local [REF. 27]

3.5 Puerta de Enlace PSTN

Un PSTN Gateway genera una interfaz con las redes conmutadoras de circuitos. Para la señalización, las redes conmutadoras de circuitos usan ISUP sobre MTP, mientras que IMS usa SIP sobre IP. Para los medios, las redes de conmutación de circuitos usan PCM, mientras IMS usa RTP, por lo que se requieren Gateways capaces de transformar entre protocolos. [REF. 27]

IMS soporta varios nodos para interconectarse con las redes tradicionales, los cuales son: BGCF, MGW, MGCF y la pasarela de señalización SGW. Cuando S-CSCF recibe el mensaje INVITE en el establecimiento de sesión IMS, el cual veremos mas adelante, el S-CSCF determina que el destino está en una red CS propia u otra, dirige el mensaje al BGCF. El BGCF decide donde se produce la salida

a la red CS (el MGCF al cual dirigir el mensaje). Un SGW genera una interfaz con la señalización de la red conmutadora de circuitos. Efectúa las traducciones entre protocolos de las capas inferiores como SCTP (protocolo IP) y MTP (protocolo SS7). Un MGCF encamina el mensaje a la red CS a través del SGW y ambos realizan la conversión de los protocolos de control de llamada entre SIP y SS7. También controla los recursos en un MGW por medio de una interfaz H.248, para el establecimiento de la sesión en el plano del usuario. Un MGW genera una interfaz con los medios de la red CS, al convertir entre RTP y PCM, según el sentido del flujo. [REF. 27]

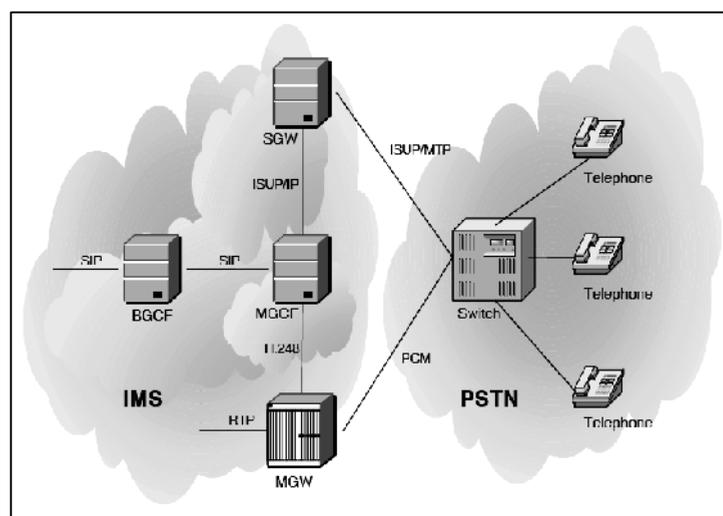


Figura 3.5 – Uso de IMS en CS [REF. 27]

3.6 Protocolos usados en IMS

Se han identificado varios protocolos importantes en la arquitectura IMS, avalados por 3GPP, los cuales son necesarios para garantizar la interoperabilidad entre los equipos de los proveedores y soportar las aplicaciones requeridas para el usuario. Entre los protocolos más importantes tenemos a SIP para la señalización, MEGACO, Diameter, HTTP y COPS. [REF. 13]

3.6.1 DIAMETER

DIAMETER es un protocolo AAA para funciones tales como acceder a una red o proveer movilidad IP. Se espera que DIAMETER trabaje en situaciones AAA tanto locales como con roaming. [REF. 13]

3.6.2 Protocolo de Transferencia de Hiper Texto (HTTP)

Es parte de los protocolos de Internet, utilizado para transmitir información en la Web. Dentro de la arquitectura IMS permite al equipo de usuario manejar información relacionada a su servicio, posibilitando la comunicación con los Servidores de Aplicación. [REF. 13]

3.6.3 COPS

Es parte de los protocolos de Internet, especifica un modelo de cliente/servidor, para soportar políticas de control a través de

protocolos de señalización. En la arquitectura IMS existe una interfaz que ocupa COPS entre el PDF y el GGSN, que permite al operador, el control de QoS en los usuarios y el intercambio de información tarifaria entre IMS y la red GPRS. [REF. 13]

3.7 Identidades de usuario

En todo tipo de red, los usuarios deben ser identificados con algún método, de tal manera que se les pueda proporcionar el servicio más importante, la conectividad. La identificación de los usuarios, servicios y nodos en IMS se realiza mediante un URI (Universal Resource Identifier), de formato similar a los URLs del protocolo HTTP, es decir, siguen la estructura `user/service@host`, donde `user/service` corresponde a un nombre, identificador o número telefónico y `host` es el dominio o dirección de red al que pertenece el usuario, lo que evita manejar números de teléfonos imposibles de recordar, pues se trata de nombres al estilo de servicios de Internet. [REF. 28]

4 SIMULACIONES

4.1 Objetivos

- Analizar el funcionamiento de una llamada VoIP y los protocolos que intervienen.
- Observar el desempeño de una llamada VoIP en redes UMTS basándose en los parámetros como latencia, jitter, pérdida de paquetes y calidad de percepción de la voz (MOS).
- Demostrar la calidad que existe en una llamada VoIP mientras nos transportemos en un vehículo.

4.2 Generalidades

En este capítulo se empezará demostrando el funcionamiento de una llamada VoIP desde el momento de registro en el servidor VoIP hasta el momento que se establece el flujo de información entre ambos abonados. Detallaremos las herramientas necesarias para dichas pruebas y el por qué de cada una.

4.3 Programas a usar

A continuación detallaremos cada uno de los softwares a usar en este capítulo:

4.3.1 Softphone

Como ya antes explicamos un softphone es una aplicación la cual se la instala en el equipo cliente y el cual nos sirve para poder registrarnos y comenzar una llamada con otra persona. El softphone elegido para realizar dichas simulaciones es X-Lite en su versión 2. Existen muchos softphones de diferentes fabricantes pero muchos de ellos son propietarios y por lo cual no permiten monitorear los protocolos que usan en su comunicación.

X-Lite hace uso de los protocolos SIP para la señalización y RTP para el flujo de información (Voz). Además X-Lite en su versión 2 nos permite escoger el códec a usar y manipular otras configuraciones privadas en otros softphones.



Figura 4.3.1 – X-Lite Versión 2

4.3.2 Wireshark

Es un sniffer de código libre el cual nos permite monitorear las interfaces de red. Con este programa podremos ver los protocolos que se generan para la señalización y el flujo de información al hacer una llamada VoIP y obtener valores de latencia, jitter, pérdida de paquetes y MOS para luego graficarlos. En la Figura 4.3.2 mostramos el entorno de wireshark.

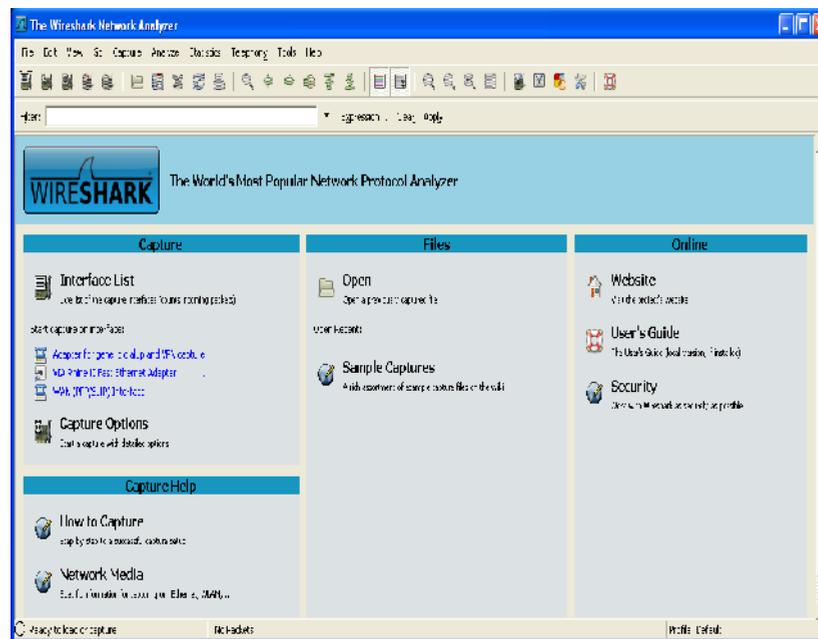


Figura 4.3.2 – Wireshark

4.3.3 Medidor de Ancho de Banda

Para poder observar el ancho de banda que ocupan los códecs elegidos G711 u-law, GSM, iLBC y Speex, usamos una herramienta la cual nos muestre el ancho de banda instantáneamente.

4.3.4 Elastix

Elastix es una distribución libre de Servidor de Comunicaciones Unificadas que integra en un solo paquete:

- VoIP PBX
- Fax
- Mensajería Instantánea

➤ Correo Electrónico

Elastix implementa gran parte de su funcionalidad sobre 4 programas de software muy importantes como son Asterisk, Hylafax, Openfire y Postfix. Estos brindan las funciones de PBX, Fax, Mensajería Instantánea y Correo electrónico respectivamente.

Nosotros usaremos solo el modulo de VoIP PBX el cual lo gobierna Asterisk y el cual nos brinda las funciones de una central telefónica. En la Figura 4.3.4 podemos observar los módulos antes mencionados.

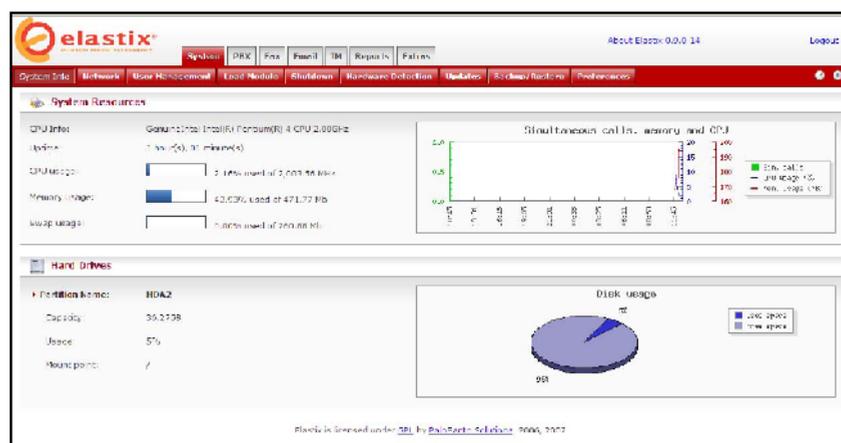


Figura 4.3.4 – Elastix

4.4 Configuración del Softphone

A continuación configuraremos una cuenta para un cliente en X-Lite.

- 1) Comenzaremos por ir a la tecla menú que es la señalada con verde en la Figura 4.4 (a)



Figura 4.4 (a) – X-Lite tecla Menú

- 2) Luego seguimos la siguiente ruta:

System Settings >>> SIP Proxy >>> Default



Figura 4.4 (b) – System Settings



Figura 4.4 (c) – SIP Proxy



Figura 4.4 (d) – Default

- 3) Para finalizar configuramos la cuenta con los datos proporcionados por su proveedor de VoIP.



Figura 4.4 (e) – Cuenta SIP

4.5 Pruebas

Para las simulaciones nos basamos en tres escenarios:

- 1) Montamos un servidor Elastix en una LAN la cual podemos considerar una red IP ideal por su elevado ancho de banda, canal prácticamente dedicado entre dos computadoras y distancia entre terminales de unos pocos metros, y de esta manera obtener valores referenciales de latencia, jitter, pérdida de paquetes y MOS de una llamada VoIP para los códecs G711u, GSM, iLBC y Speex los cuales son soportados por X-Lite versión 2.

- 2) Con la ayuda de dos módems con tecnología 3.5G con la capacidad de registrarse en redes EDGE y HSDPA (3.5G)

podimos obtener los mismos parámetros antes mencionados, para pruebas tanto estáticas como en movimiento con el uso de una laptop y un vehículo.

- 3) Procedemos al análisis de los diferentes parámetros obtenidos en UMTS y EDGE frente a los referenciales de la LAN de manera que podamos ver cual presenta mayor variación, determinando de esta manera el que nos ofrece un mejor desempeño.

4.6 Topologías a usar

Para explicar de una mejor manera los escenarios que servirán para realizar las pruebas, a continuación mostramos las dos topologías a utilizar.

En la Figura 4.6 (a) representa la topología a utilizar en el entorno LAN, PC1 y PC2 corresponden cada uno a un usuario X-Lite el cual esta instalado y configurado en cada PC, por medio de un switch unimos los tres enlaces de PC1, PC2 y la PC que tiene instalado el servidor Elastix, PC1 llamara a PC2 por medio del servidor Elastix los abonados podrán ser identificados para luego ser enlazados. Con la ayuda de Wireshark instalado en cada PC monitorearemos la red

obteniendo así los protocolos y diferentes parámetros necesarios en una comunicación VoIP.

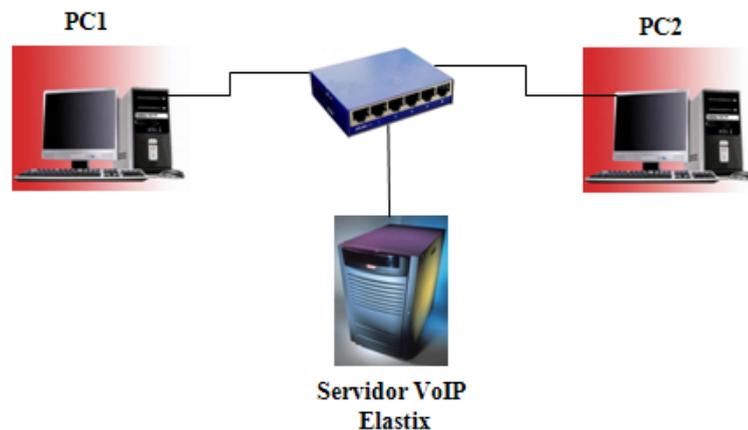


Figura 4.6 (a) – Topología 1: Entorno LAN

En la Figura 4.6 (b) mostramos la topología a utilizar en el entorno UMTS, el enlace hacia la red IP (Internet) la realizamos por medio de dos módems con tecnología 3.5G (HSDPA) capaces de trabajar también con tecnología EDGE, igual como en el entorno anterior hemos instalado X-Lite en cada PC y configurado los clientes hacia un servidor VoIP localizado en Internet. Las pruebas en este entorno la haremos con tecnología EDGE – EDGE y HSDPA – HSDPA, en ambas pruebas con cada tecnología las haremos tanto estáticas y en movimiento con el uso de una laptop y un vehículo en el cual nos transportaremos a medida se de la comunicación VoIP.

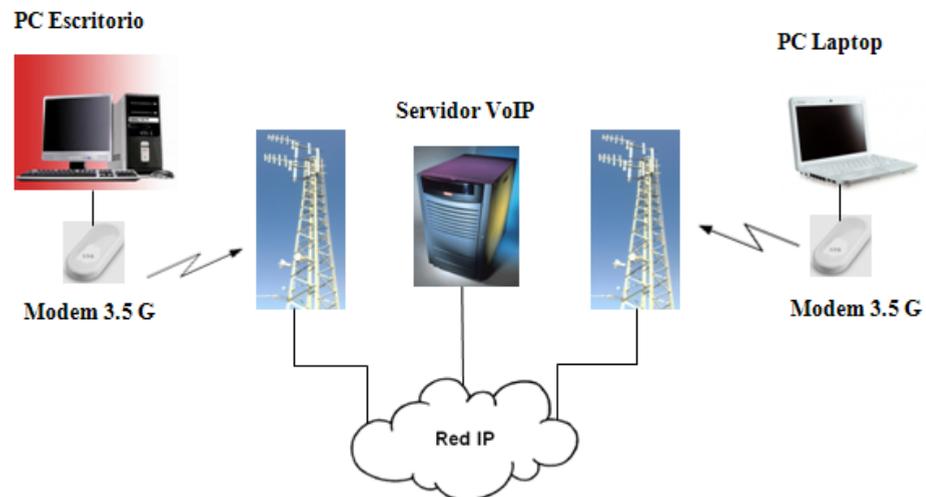


Figura 4.6 (b) – Topología 2: Entorno UMTS

4.7 Escenario 1: Entorno LAN

Estas pruebas se basan en la topología 1 mostrada en la Figura 4.6 (a), el motivo de este escenario fue para obtener datos referenciales lo mas aproximado a lo ideal y de esta manera en los siguientes escenarios poder hacer un análisis mas profundo del rendimiento de VoIP en redes de tercera generación. Además de mostrar el funcionamiento de una llamada VoIP, el uso de los códecs, los protocolos que intervienen y los parámetros más importantes para una buena calidad de la llamada.

4.7.1 Códec: Ancho de Banda reales

El ancho de banda al hacer una llamada con los códecs G711u, GSM, iLBC y Speex nos dio como resultado los siguientes valores. En las

Figuras 4.7.1 (a), (b), (c) y (d) se observa un ancho de banda aproximado 83 Kbps para G711, 34 Kbps para GSM, 28Kbps para iLBC y 39Kbps para Speex .

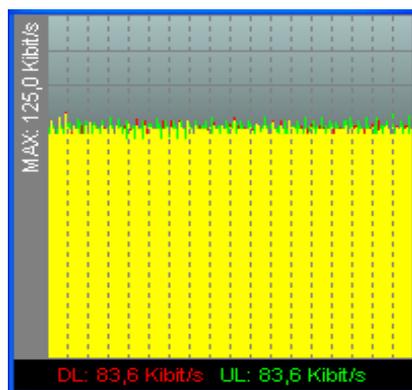


Figura 4.7.1 (a) – Ancho de Banda códec G711

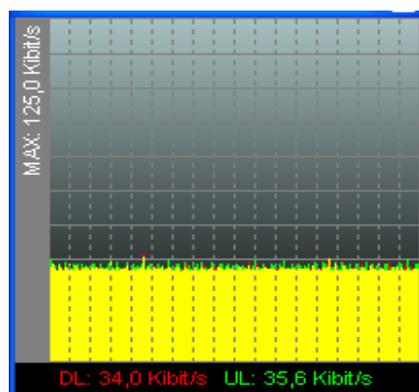


Figura 4.7.1 (b) – Ancho de Banda códec GSM

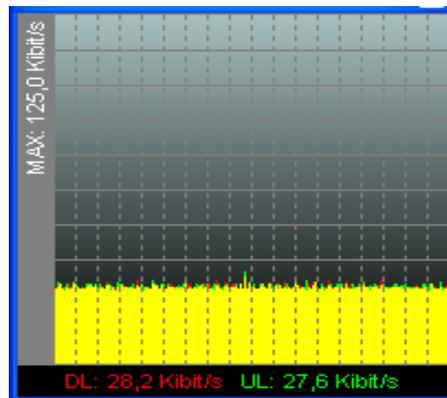


Figura 4.7.1 (c) – Ancho de Banda códec iLBC

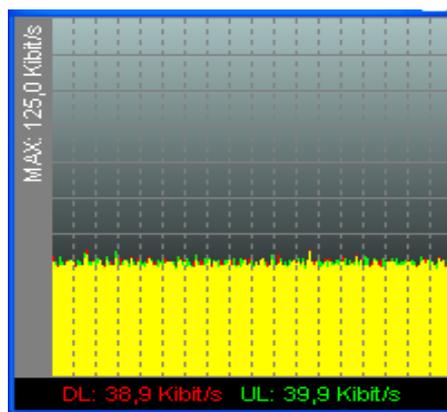


Figura 4.7.1 (d) – Ancho de Banda códec Speex

Como podemos observar el ancho de banda ocupado por cada códec es diferente a los datos reales que son 64 Kbps para G711, 13 Kbps para GSM, 15.2 Kbps para iLBC y (2.15 – 24.6) Kbps para Speex. Este efecto se da debido al encabezado que se le añade a la trama codificada a 64 Kbps, 13 Kbps, 15.2 Kbps y (2.15 – 24.6) Kbps, encabezado en el cual va información extra como por ejemplo IP origen y destino del paquete, prioridad, etc.

Este ancho de banda es el primer requerimiento para cualquier tipo de conexión en el cual se quiera realizar una llamada VoIP.

4.7.2 Señalización SIP

El protocolo encargado de la señalización de una llamada VoIP es el protocolo SIP y a continuación veremos el funcionamiento del mismo y de esta manera comprobar lo antes mencionado en la teoría.

En primer lugar con la ayuda de Wireshark se realizó una captura de los paquetes generados en una llamada VoIP. La aplicación Wireshark consta con filtros en los cuales el usuario puede por medio de un filtro mostrar por ejemplo solo los paquetes que usen SIP, RTP o cualquier otro tipo de protocolo que se haya generado en la interfaz de red. En la Figura 4.7.2 (a) se muestra el filtro realizado solo para el protocolo SIP. La dirección IP 192.168.0.1 corresponde al usuario de la PC1 de la Topología 1 y la dirección IP 192.168.0.254 al servidor Elastix, se puede notar claramente que la señalización se realiza directo al servidor y no entre los usuarios.

No. .	Time	Source	Destination	Protocol	Info
5	3.469625	192.168.0.254	192.168.0.1	SIP	Request: OPTIONS sip:3001@192.168.0.1:5050
6	3.471200	192.168.0.1	192.168.0.254	SIP	Status: 200 OK
11	12.625064	192.168.0.1	192.168.0.254	SIP/SDP	Request: INVITE sip:3002@192.168.0.254, with session description
12	12.625950	192.168.0.254	192.168.0.1	SIP	Status: 407 Proxy Authentication Required
13	12.627055	192.168.0.1	192.168.0.254	SIP	Request: ACK sip:3002@192.168.0.254
14	12.628626	192.168.0.1	192.168.0.254	SIP/SDP	Request: INVITE sip:3002@192.168.0.254, with session description
15	12.630130	192.168.0.254	192.168.0.1	SIP	Status: 100 Trying
16	12.877027	192.168.0.254	192.168.0.1	SIP	Status: 180 Ringing
20	19.970667	192.168.0.254	192.168.0.1	SIP/SDP	Status: 200 OK, with session description
22	19.974862	192.168.0.1	192.168.0.254	SIP	Request: ACK sip:3002@192.168.0.254
8632	104.738549	192.168.0.254	192.168.0.1	SIP	Request: OPTIONS sip:3001@192.168.0.1:5050
8633	104.740030	192.168.0.1	192.168.0.254	SIP	Status: 200 OK
9673	114.979376	192.168.0.1	192.168.0.254	SIP	Request: BYE sip:3002@192.168.0.254
9674	114.980122	192.168.0.254	192.168.0.1	SIP	Status: 200 OK

Figura 4.7.2 (a) – Wireshark: Filtro protocolo SIP

En la siguiente Figura 4.7.2 (b) se puede notar la misma señalización SIP mostrada en el filtro pero de una manera mas animada.

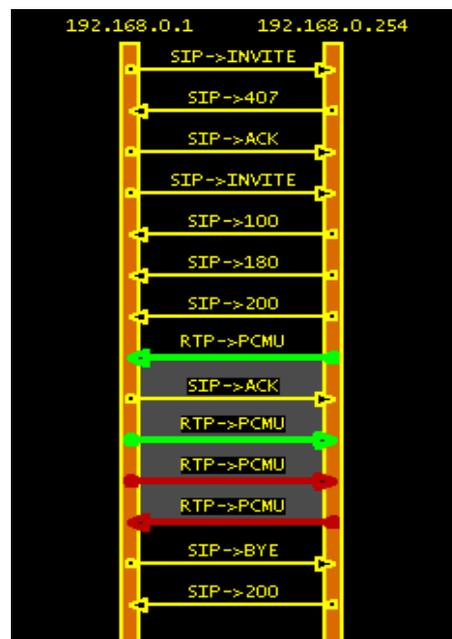


Figura 4.7.2 (b) – Wireshark: Señalización SIP

4.7.3 Flujo de información RTP

La voz una vez codificada es enviada a la red etiquetada con el protocolo RTP el cual sirve para que la información sea transmitida en tiempo real y con el uso del protocolo UDP para que si algún dato se pierde no el extremo receptor no pida retransmisión con lo cual la voz se vería afectada provocando latencia en el medio.

En la Figura 4.7.3 se muestra el filtro realizado en el Wireshark solo para el protocolo RTP.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
21	19.971256	132.168.0.254	192.168.0.1	RTF	PT=2TU-T G.711 PCMU, SSRC=0x6f3dc825, Seq=59427, Time=160, Mark
23	19.996202	132.168.0.1	192.168.0.254	RTF	PT=2TU-T G.711 PCMU, SSRC=0xd33fela5, Seq=1, Time=19600, Mark
24	19.996296	132.168.0.1	192.168.0.254	RTF	PT=2TU-T G.711 PCMU, SSRC=0xd33fela5, Seq=2, Time=19760
25	19.998013	132.168.0.254	192.168.0.1	RTF	PT=2TU-T G.711 PCMU, SSRC=0x6f3dc825, Seq=59428, Time=120
28	20.006734	132.168.0.1	192.168.0.254	RTF	PT=2TU-T G.711 PCMU, SSRC=0xd33fela5, Seq=3, Time=19920
30	20.027338	132.168.0.1	192.168.0.254	RTF	PT=2TU-T G.711 PCMU, SSRC=0xd33fela5, Seq=4, Time=70080
31	20.029163	132.168.0.254	192.168.0.1	RTF	PT=2TU-T G.711 PCMU, SSRC=0x6f3dc825, Seq=59429, Time=480
32	20.029766	132.168.0.254	192.168.0.1	RTF	PT=2TU-T G.711 PCMU, SSRC=0x6f3dc825, Seq=59470, Time=940
33	20.047701	132.168.0.1	192.168.0.254	RTF	PT=2TU-T G.711 PCMU, SSRC=0xd33fela5, Seq=5, Time=70240
34	20.054032	132.168.0.254	192.168.0.1	RTF	PT=2TU-T G.711 PCMU, SSRC=0x6f3dc825, Seq=59471, Time=900
35	20.068186	132.168.0.1	192.168.0.254	RTF	PT=2TU-T G.711 PCMU, SSRC=0xd33fela5, Seq=6, Time=70400
37	20.099018	132.168.0.1	192.168.0.254	RTF	PT=2TU-T G.711 PCMU, SSRC=0xd33fela5, Seq=7, Time=70560
38	20.091274	132.168.0.254	192.168.0.1	RTF	PT=2TU-T G.711 PCMU, SSRC=0x6f3dc825, Seq=59472, Time=960
39	20.090880	132.168.0.254	192.168.0.1	RTF	PT=2TU-T G.711 PCMU, SSRC=0x6f3dc825, Seq=59473, Time=1120
40	20.110465	132.168.0.254	192.168.0.1	RTF	PT=2TU-T G.711 PCMU, SSRC=0x6f3dc825, Seq=59474, Time=1280
41	20.124935	132.168.0.1	192.168.0.254	RTF	PT=2TU-T G.711 PCMU, SSRC=0xd33fela5, Seq=8, Time=70720
42	20.125000	132.168.0.1	192.168.0.254	RTF	PT=2TU-T G.711 PCMU, SSRC=0xd33fela5, Seq=9, Time=70880
43	20.150302	132.168.0.1	192.168.0.254	RTF	PT=2TU-T G.711 PCMU, SSRC=0xd33fela5, Seq=10, Time=71040
44	20.151792	132.168.0.254	192.168.0.1	RTF	PT=2TU-T G.711 PCMU, SSRC=0x6f3dc825, Seq=59475, Time=1440
45	20.152329	132.168.0.254	192.168.0.1	RTF	PT=2TU-T G.711 PCMU, SSRC=0x6f3dc825, Seq=59476, Time=1600
46	20.156533	132.168.0.254	192.168.0.1	RTF	PT=2TU-T G.711 PCMU, SSRC=0x6f3dc825, Seq=59477, Time=1760
47	20.131419	132.168.0.1	192.168.0.254	RTF	PT=2TU-T G.711 PCMU, SSRC=0xd33fela5, Seq=11, Time=71200
48	20.131494	132.168.0.1	192.168.0.254	RTF	PT=2TU-T G.711 PCMU, SSRC=0xd33fela5, Seq=12, Time=71360
49	20.131540	132.168.0.1	192.168.0.254	RTF	PT=2TU-T G.711 PCMU, SSRC=0xd33fela5, Seq=13, Time=71520
50	20.211839	132.168.0.1	192.168.0.254	RTF	PT=2TU-T G.711 PCMU, SSRC=0xd33fela5, Seq=14, Time=71680

Figura 4.7.3 – Wireshark: Filtro protocolo RTP

Además del protocolo se muestra también el códec relacionado con el flujo de información en este caso se está usando G711 u-law pero el mismo comportamiento es para los de más códecs, de igual manera a la señalización SIP, los paquetes pasan primero por el servidor Elastix antes de llegar a PC2 y viceversa.

4.7.4 Pruebas de Latencia, Jitter, Pérdida de paquetes y MOS

En las pruebas mostraremos los valores ideales en una red IP, haciendo uso de una red LAN con un ancho de Banda de 100 Mbps lo cual es suficiente para cualquier códec, distancia no más de 6 metros, un tiempo de extremo a extremo pequeño y una ruta directa entre PC eliminando casi por completo el jitter.

Realizamos cuatro llamadas cada una con un códec diferente para de esta manera comparar los parámetros como latencia, jitter, pérdida de paquetes y MOS entre ellos y obtener su comportamiento en un ambiente casi ideal. En la Figura 4.7.4 se muestra las cuatro llamadas realizadas.

Calling To	Calling From	Time	Call Type
<sip:3002@192.168.0.254>	Luis <sip:3001@192.168.0.254>;tag=4697591	21:25:48.401416	SIP
<sip:3002@192.168.0.254>	Luis <sip:3001@192.168.0.254>;tag=1413460222	21:27:50.579681	SIP
<sip:3002@192.168.0.254>	Luis <sip:3001@192.168.0.254>;tag=545704170	21:29:06.127544	SIP
<sip:3002@192.168.0.254>	Luis <sip:3001@192.168.0.254>;tag=3051766951	21:30:41.376371	SIP

Figura 4.7.4 – Llamadas realizadas

A continuación mostramos los valores de latencia, jitter, perdida de paquetes y MOS para cada códec.

4.7.4.1 Prueba LAN códec G711 u-law

En la Tabla V mostramos los paquetes recibidos, perdidos y el porcentaje del mismo, observamos el valor del jitter, Factor R y su correspondiente MOS. El MOS mostrado corresponde al MOS ideal experimental para cada códec antes mencionado en la Tabla I con su valor teórico.

Métrica	Valor
Códec	PCMU
Paquetes Recibidos	4810
Paquetes Perdidos	0
Porcentaje Paquetes Perdidos (%)	0
Jitter (ms)	10.875
Máximo Jitter (ms)	14.5
Factor R	91
MOS	4.15625

Tabla V – Parámetros LAN códec G711 u-law

En la Figura 4.7.4.1 (a) mostramos la forma de onda de la conversación donde la onda de color verde representa nuestra voz en perfectas condiciones sin pérdida de paquetes (color rojo), ni eliminación por jitter buffer (color azul) lo cual lo realiza el softphone, en nuestro caso X-Lite con un jitter buffer por default de 100 ms. La onda de color amarillo representa el jitter a medida que se daba la comunicación, podemos observar que no varía mucho ya que como mencionamos anteriormente en un entorno LAN la comunicación IP es casi perfecta.

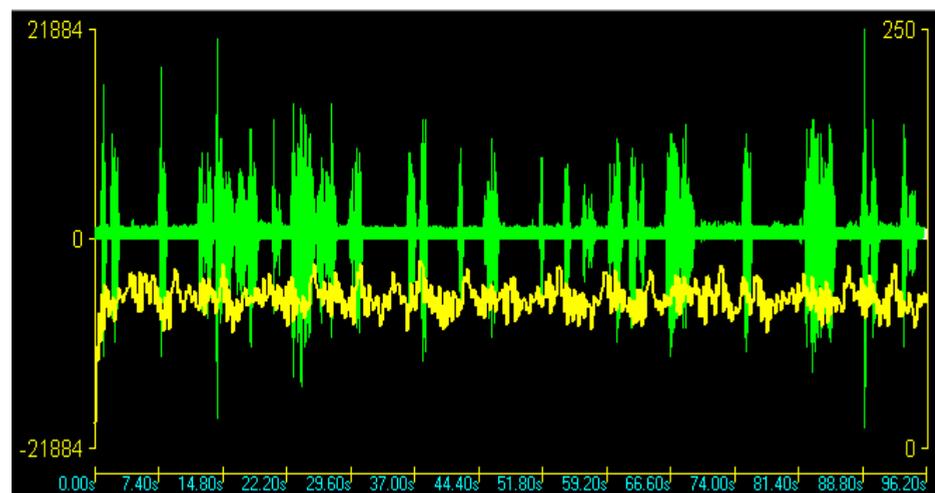


Figura 4.7.4.1 (a) – LAN: Forma de onda Jitter con códec G711u

A continuación mostraremos el parámetro SQS el cual nos da a conocer por medio de rangos de (0.5, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, >35) ms el jitter y la cantidad de paquetes que llegaron con un cierto valor de jitter. Como podemos observar el 100 % e los paquetes se los

recibe con un jitter inferior a 15 ms lo cual es óptimo para una buena comunicación.

	Paquetes	Porcentajes (%)
SQS Bin 1 (0,5)	716	14,89
SQS Bin 2 (5)	422	8,77
SQS Bin 3 (10)	1437	29,88
SQS Bin 4 (15)	2235	46,47
SQS Bin 5 (20)	0	0,00
SQS Bin 6 (25)	0	0,00
SQS Bin 7 (30)	0	0,00
SQS Bin 8 (35)	0	0,00
SQS Bin 9 (>35)	0	0,00
Total	4810	100,00

Tabla VI – LAN: Parámetro SQS G711u

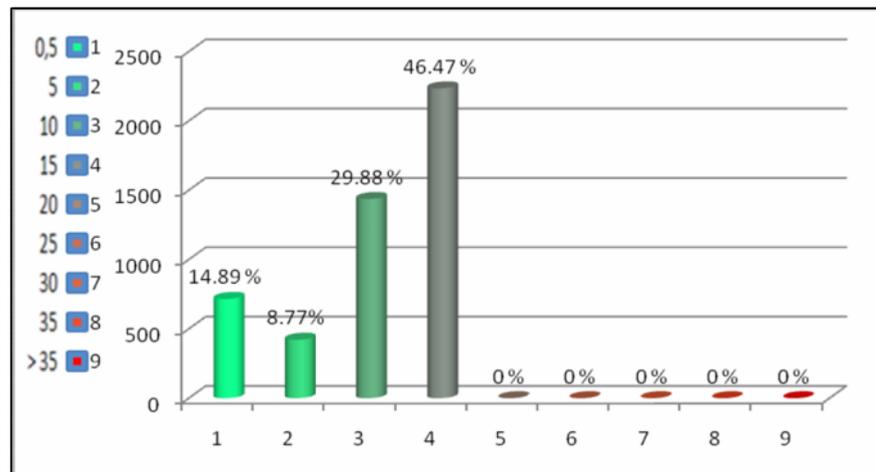


Figura 4.7.4.1 (b) – LAN: Gráfica SQS G711u

En la Figura 4.7.4.1 (c) mostramos la latencia generada en la LAN para el codec G711u.

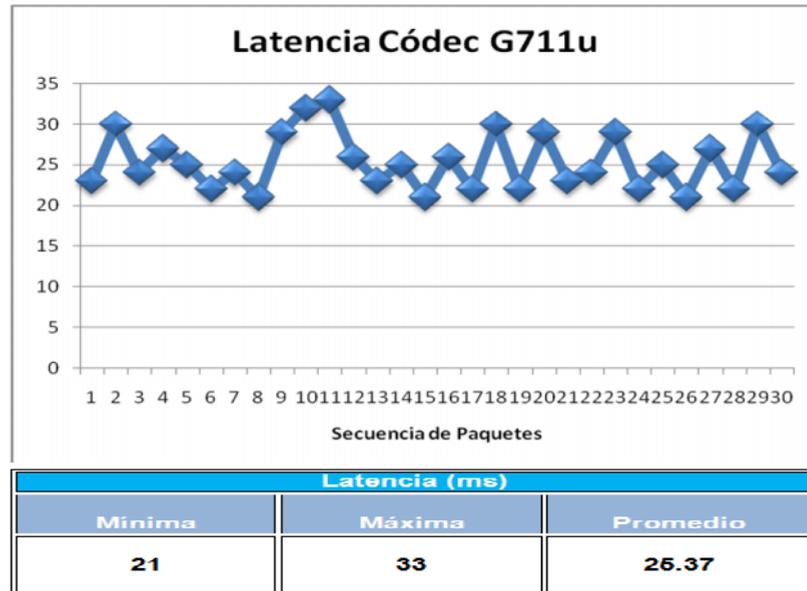


Figura 4.7.4.1 (c) – LAN: Latencia G711u

4.7.4.2 Prueba LAN códec GSM

En las pruebas con el códec GSM obtuvimos los valores mostrados en la Figura Tabla VII, en el cual se puede observar un incremento en el jitter referente a G711u.

Métrica	Valor
Códec	GSM
Paquetes Recibidos	3116
Paquetes Perdidos	0
Porcentaje Paquetes Perdidos (%)	0
Jitter (ms)	12.125
Máximo Jitter (ms)	14.125
Factor R	71
MOS	3.48047

Tabla VII – Parámetros LAN códec GSM

En la Figura 4.7.4.2 (a) podemos observar que la forma de onda de la voz es perfecta sin perdida de paquetes y el jitter no varia mucho al igual que en G711u.

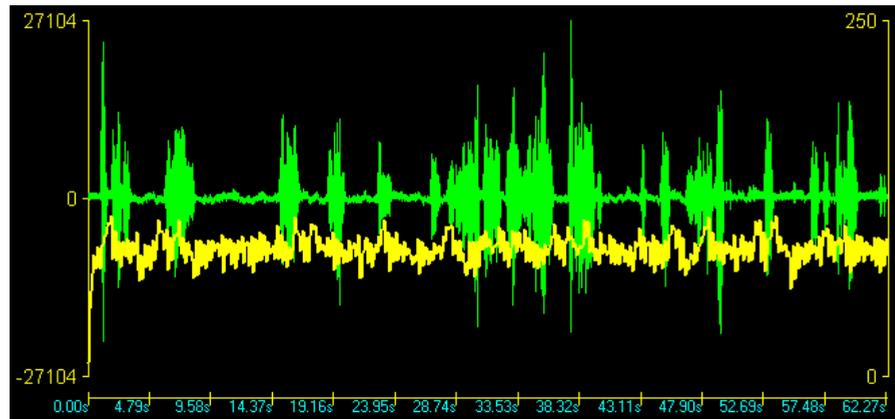


Figura 4.7.4.2 (a) – LAN: Forma de onda Jitter con códec GSM

En el valor de SQS nos dio como resultado los valores que se ven en la Tabla VIII y Figura 4.7.4.2 (b), en donde podemos observar que al igual que el códec anterior el 100% de los paquetes esta por debajo de los 15 ms, lo cual se refleja en la grafica anterior de la forma de onda de la voz ya que el jitter onda de color amarilla no varia mucho.

	Paquetes	Porcentajes (%)
SQS Bin 1 (0,5)	353	11,33
SQS Bin 2 (5)	72	2,31
SQS Bin 3 (10)	625	20,06
SQS Bin 4 (15)	2066	66,30
SQS Bin 5 (20)	0	0,00
SQS Bin 6 (25)	0	0,00
SQS Bin 7 (30)	0	0,00
SQS Bin 8 (35)	0	0,00
SQS Bin 9 (>35)	0	0,00
Total	3116	100,00

Tabla VIII – LAN: Parámetro SQS GSM

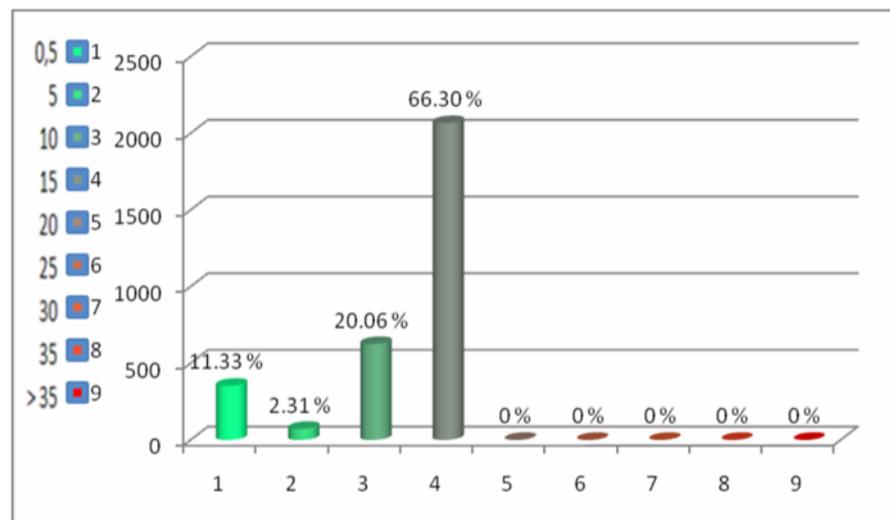


Figura 4.7.4.2 (b) – LAN: Gráfica SQS GSM

En la Figura 4.7.4.2 (c) mostramos la latencia generada en la LAN para el codec GSM.

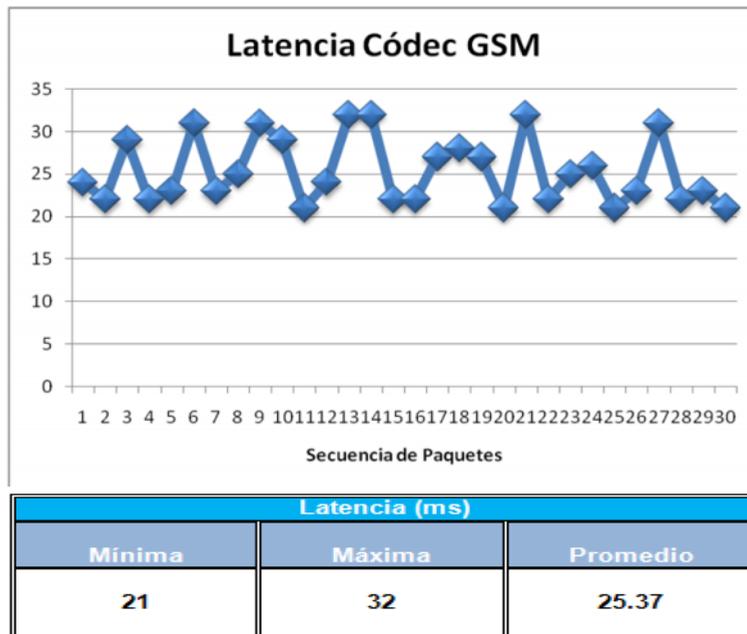


Figura 4.7.4.2 (c) – LAN: Latencia GSM

4.7.4.3 Prueba LAN códec iLBC

En la Tabla IX podemos observar que el MOS para iLBC está dentro de los rangos de muy bueno para una buena percepción del oído humano. Y el jitter es el más alto hasta el momento.

Métrica	Valor
Códec	iLBC-30
Paquetes Recibidos	2580
Paquetes Perdidos	0
Porcentaje Paquetes Perdidos (%)	0
Jitter (ms)	14.25
Máximo Jitter (ms)	22.5
Factor R	81
MOS	3.875

Tabla IX – Parámetros LAN códec iLBC

En la Figura 4.7.4.3 (a) podemos ver que la eficiencia del códec iLBC en el entorno LAN y que no se pierden paquetes en la transmisión, además el jitter varía más que en los demás códecs como vimos en la tabla anterior.

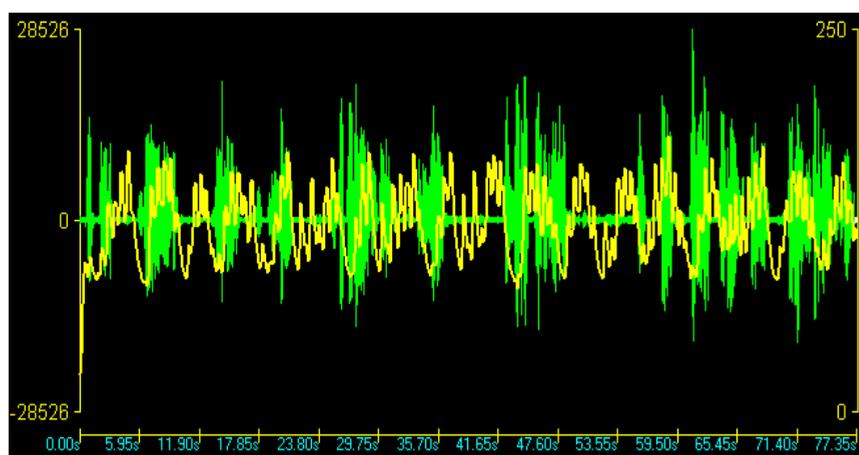


Figura 4.7.4.3 (a) – LAN: Forma de onda Jitter con códec iLBC

Entre los valores de iLBC se puede observar que mas paquetes se dan a valores entre (5 - 10) ms y (15 - 20) ms lo que da como resultado el jitter promedio mostrado anteriormente de 14.25 ms.

	Paquetes	Porcentajes (%)
SQS Bin 1 (0,5)	93	3,60
SQS Bin 2 (5)	85	3,29
SQS Bin 3 (10)	825	31,98
SQS Bin 4 (15)	441	17,09
SQS Bin 5 (20)	1100	42,64
SQS Bin 6 (25)	36	1,40
SQS Bin 7 (30)	0	0,00
SQS Bin 8 (35)	0	0,00
SQS Bin 9 (>35)	0	0,00
Total	2580	100,00

Tabla X – LAN: Parámetro SQS iLBC

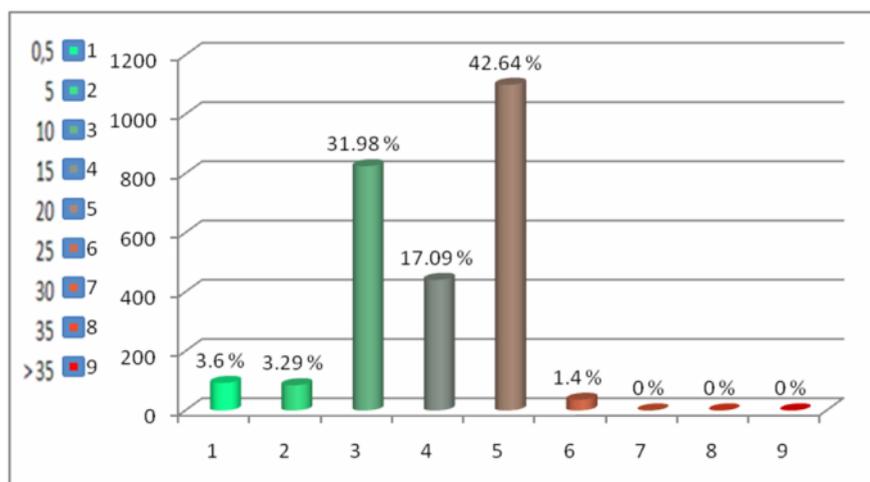


Figura 4.7.4.3 (b) – LAN: Gráfica SQS iLBC

En la Figura 4.7.4.3 (c) mostramos la latencia para el codec iLBC la cual es aproximadamente a 30 ms debido a el tiempo que demora su codificación.

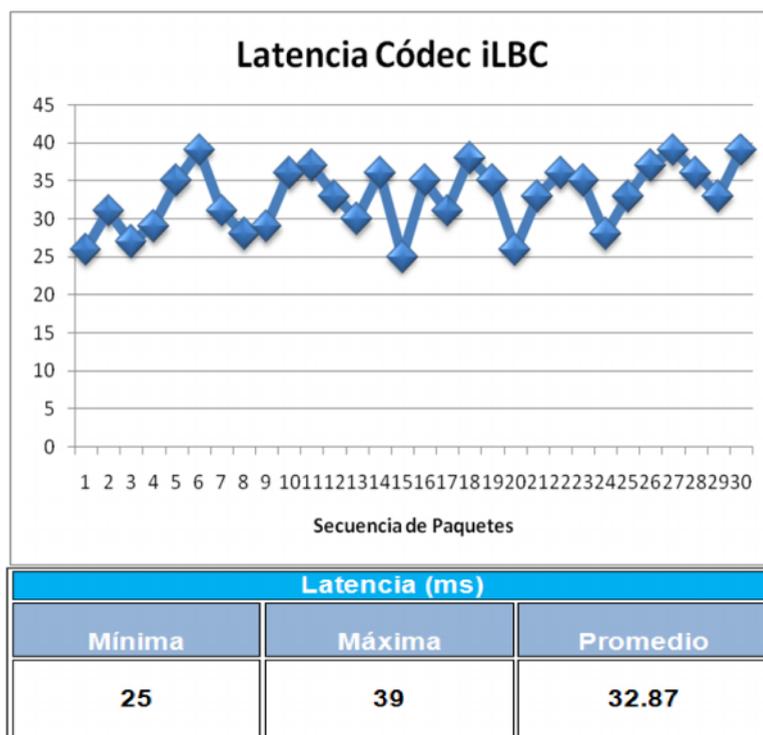


Figura 4.7.4.3 (c) – LAN: Latencia iLBC

4.7.4.4 Prueba LAN códec Speex

En la Tabla XI podemos observar que se parece mucho a las características del códec G711u.

Métrica	Valor
Códec	Speex
Paquetes Recibidos	3273
Paquetes Perdidos	0
Porcentaje Paquetes Perdidos (%)	0
Jitter (ms)	8.875
Máximo Jitter (ms)	14
Factor R	87
MOS	4.0625

Tabla XI – Parámetros LAN códec Speex

Una vez mas la voz llega sin problemas y los parámetros están dentro de los rangos permitidos para una buena comunicación.

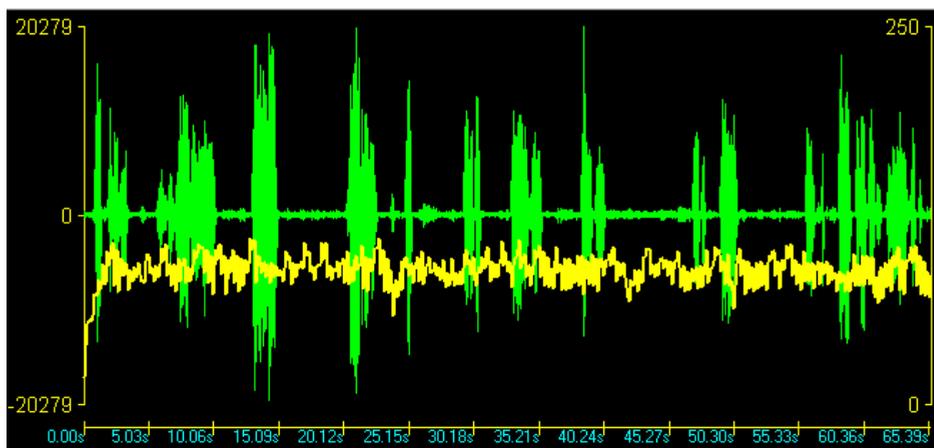


Figura 4.7.4.4 (a) – LAN: Forma de onda Jitter con códec Speex

En la Tabla XII y Figura 4.7.4.4 (b) podemos observar que el jitter se encuentra en un 100 % por debajo de los 15 ms.

	Paquetes	Porcentajes (%)
SQS Bin 1 (0,5)	243	7,42
SQS Bin 2 (5)	207	6,32
SQS Bin 3 (10)	2101	64,19
SQS Bin 4 (15)	722	22,06
SQS Bin 5 (20)	0	0,00
SQS Bin 6 (25)	0	0,00
SQS Bin 7 (30)	0	0,00
SQS Bin 8 (35)	0	0,00
SQS Bin 9 (>35)	0	0,00
Total	3273	100,00

Tabla XII – LAN: Parámetro SQS Speex

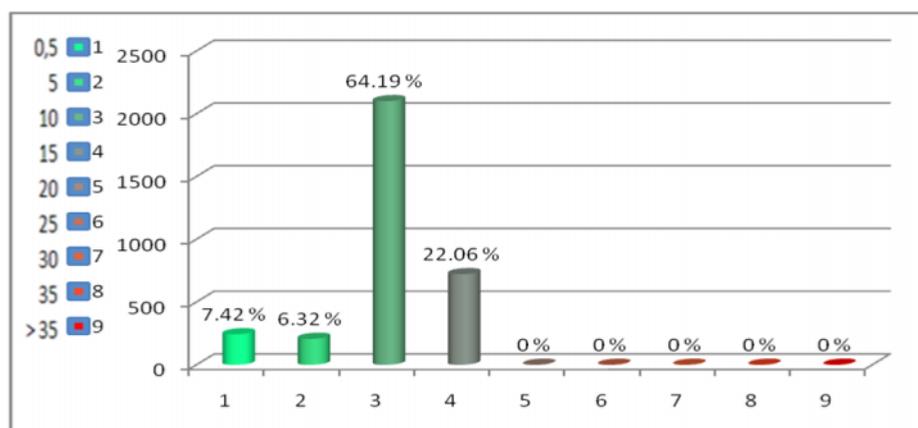


Figura 4.7.4.4 (b) – LAN: Gráfica SQS Speex

En la Figura 4.7.4.4 (c) se puede observar la latencia en el códec Speex que en promedio es 33.3 ms.

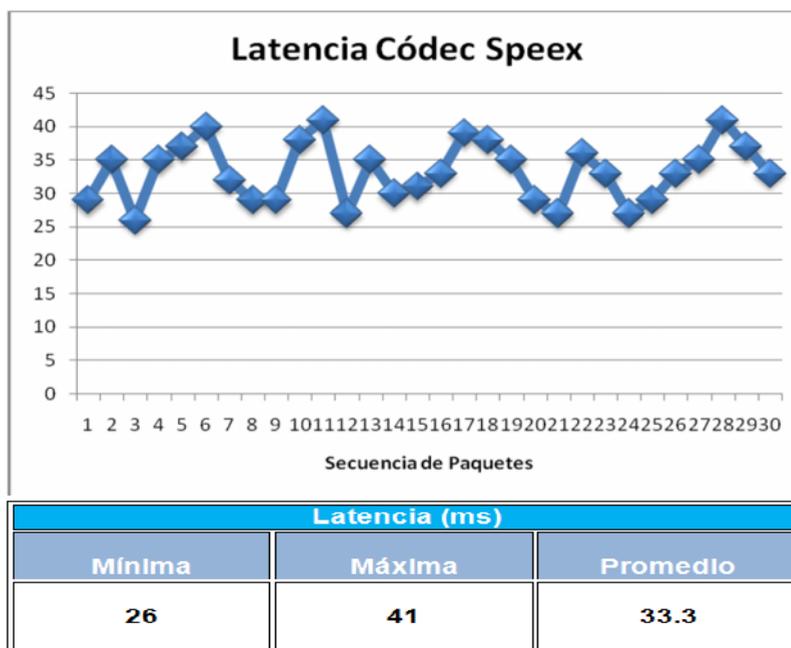


Figura 4.7.4.4 (c) – LAN: Latencia Speex

4.7.4.5 Análisis del entorno LAN

Para comenzar el análisis respecto a los datos obtenidos de la LAN, en la Tabla XIII mostramos los anchos de banda teóricos y los reales de los códecs G711u, GSM, iLBC y Speex los cuales varían debido a el encabezado que se le añade a la trama codificada, encabezado en el cual va información extra como por ejemplo IP origen y destino del paquete, prioridad, etc. Además podemos observar que tanto el tiempo de codificación (Frame Size) que corresponde a la latencia en la LAN y el MOS propio del códec son muy parecidos. Es de esta manera que los valores obtenidos nos servirán para compararlo con un entorno mas cambiante como lo son las redes inalámbricas.

Código	Datos Teóricos			Datos Reales		
	Bit Rate (Kbps)	Frame Size (ms)	MOS	Bit Rate (Kbps)	Frame Size (ms)	MOS
G711	64	20	4.3	83.6	25	4.15
GSM	13	22.5	3.5	34	25	3.48
iLBC	15.2	30	4.14	28	33	3.875
Speex	2.15 – 24.6	30	4.1	39	33	4.06

Tabla XIII – Códexs datos teóricos y reales

En la Tabla XIV mostramos el jitter promedio y pérdida de paquetes que se generaron en la LAN con la topología 1 y para los diferentes códexs, pudimos concluir que el jitter en una LAN se encuentra entre el rango de (8 - 14) ms y la pérdida de paquetes del 0%.

Código	Jitter Promedio (ms)	Pérdida de paquetes (%)
G711u	10.875	0
GSM	12.125	0
iLBC	14.25	0
Speex	8.875	0

Tabla XIV – Códexs: Jitter y pérdida de paquetes

4.8 Escenario 2: Entorno UMTS

4.8.1 Señalización SIP generada

Pudimos encontrar un servidor SIP en España al cual nos enganchamos para poder hacer las llamadas VoIP y poder observar la eficiencia de la conexión 3.5G HSDPA de nuestra operadora. La Figura 4.8.1 muestra la señalización la cual es muy parecida a la generada en la LAN con la única diferencia que el flujo de información RTP se realiza entre las IP 172.24.17.153 y 212.36.71.105 por la configuración en el servidor SIP el cual hace uso de NAT para enviar la información al usuario al cual nos queremos comunicar.

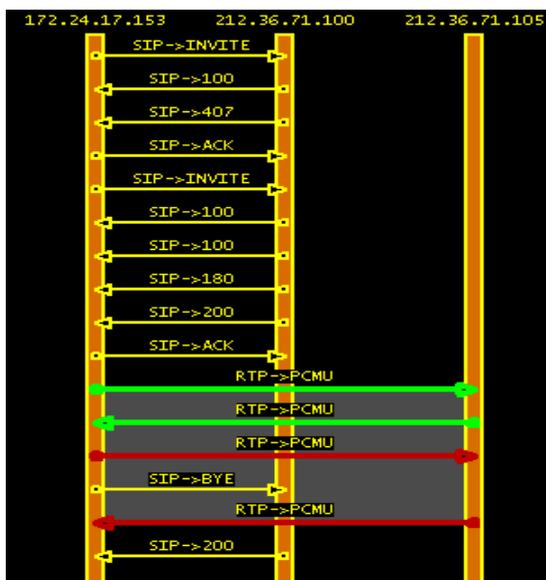


Figura 4.8.1 – Señalización SIP en pruebas UMTS

4.8.2 Latencia en HSDPA

El ancho de banda obtenido en las pruebas de campo para velocidades desde (0 – 80) Km/h esta entre (1.7 – 2.2) Mbps de bajada y 111 Kbps de subida lo cual al realizar las pruebas tanto estáticas como en movimiento obteníamos valores parecidos, es por eso que el análisis mostrado a continuación corresponde a resultados validos hasta velocidades de hasta 80 Km/h en un área totalmente cubierta por la tecnología. La latencia mostrada en la Figura 4.8.2 corresponde todos los códecs por motivos de que el valor es prácticamente el mismo en todos ellos. La latencia promedio es de 180 ms lo cual esta dentro de los limites permitidos para una buena comunicaciones en redes celulares.

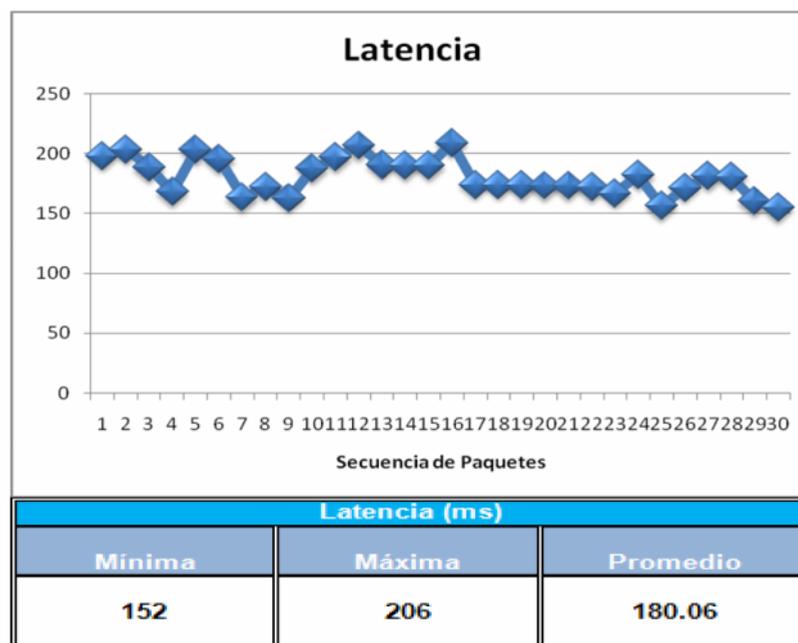


Figura 4.8.2 – Latencia en 3.5G

4.8.3 Prueba UMTS códec G711u

En la Tabla XV podemos observar los parámetros obtenidos en la pruebas realizadas al códec G711u en una red 3.5G, podemos observar que tiene 1.465% de datos perdidos los cuales se los puede ver en la Figura 4.8.3 (a) en las partes señaladas con un circulo rojo se encuentran partes de la comunicación con color rojo lo cual significa una perdida de paquetes, el jitter en amarillo varia un poco mas que en las pruebas realizadas en la LAN.

Métrica	Valor
Códec	PCMU
Paquetes Recibidos	2528
Paquetes Perdidos	37
Porcentaje Paquetes Perdidos (%)	1.463
Jitter (ms)	14.375
Máximo Jitter (ms)	20.75
Factor R	84
MOS	3.97656

Tabla XV - Parámetros HSDPA códec G711u

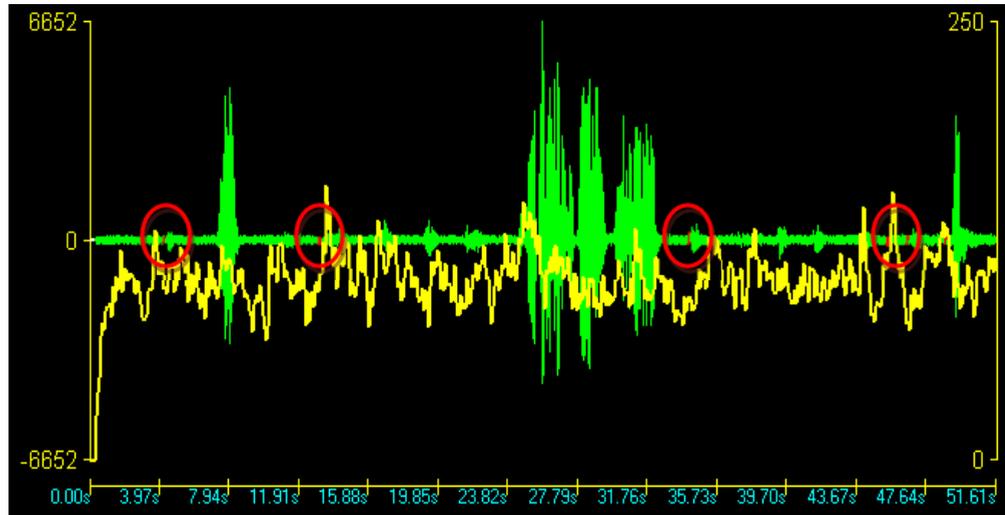


Figura 4.8.3 (a) – HSDPA: Forma de onda Jitter con código G711u

En la grafica de SQS en la Tabla XVI y la Figura 4.8.3 (b) se puede observar que el jitter varía mucho más que en la red LAN por motivos de que en Internet los paquetes pueden tomar varias rutas para llegar a su destino dando así diversos valores de latencias y haciendo variar el jitter mucho más. Pero a pesar de todo lo mencionado, los valores que están por debajo los de 20 ms que es el valor óptimo para obtener una calidad es del 99.37% lo cual es un porcentaje muy bueno.

	Paquetes	Porcentajes (%)
SQS Bin 1 (0,5)	50	1,98
SQS Bin 2 (5)	400	15,82
SQS Bin 3 (10)	399	15,78
SQS Bin 4 (15)	1013	40,07
SQS Bin 5 (20)	650	25,71
SQS Bin 6 (25)	16	0,63
SQS Bin 7 (30)	0	0,00
SQS Bin 8 (35)	0	0,00
SQS Bin 9 (>35)	0	0,00
Total	2528	100,00

Tabla XVI – HSDPA: Parámetro SQS G711u

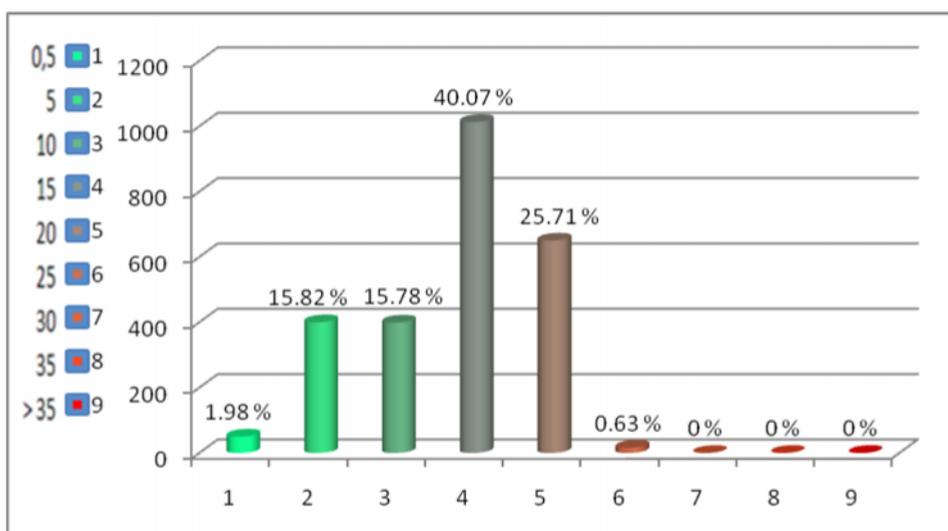


Figura 4.8.3 (b) – HSDPA: Gráfica SQS G711u

4.8.4 Prueba UMTS códec GSM

En la Tabla XVII se puede observar que el porcentaje de paquetes perdidos y jitter se encuentran dentro de los valores de buena calidad, no obstante el valor del MOS esta en un nivel aceptable dando así una

buena comunicación. En la Figura 4.8.4 (a) se pueden observar la mayor cantidad de paquetes perdidos.

Métrica	Valor
Códec	GSM
Paquetes Recibidos	3061
Paquetes Perdidos	54
Porcentaje Paquetes Perdidos (%)	1.764
Jitter (ms)	16
Máximo Jitter (ms)	30.375
Factor R	68
MOS	3.347

Tabla XVII - Parámetros HSDPA códec GSM

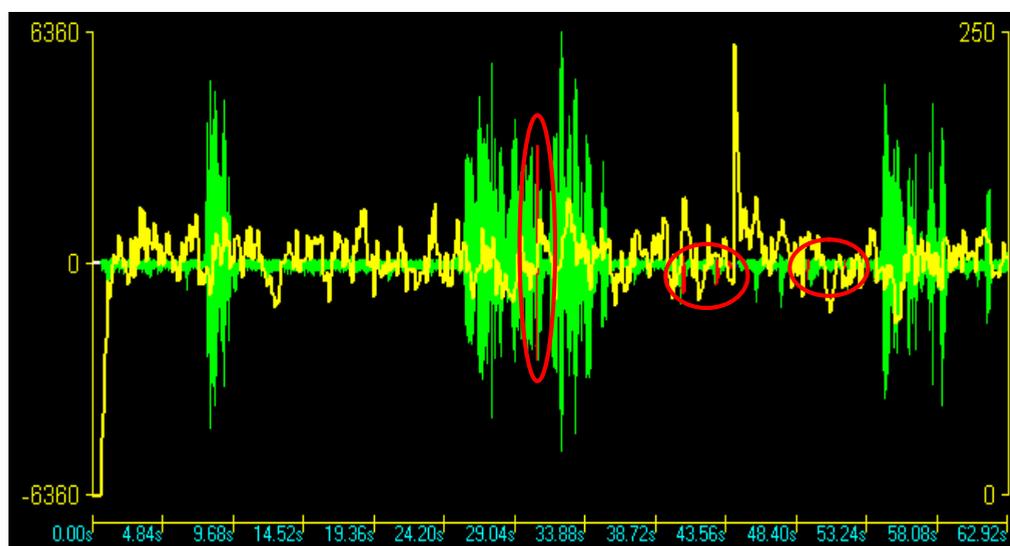


Figura 4.8.4 (a) – HSDPA: Forma de onda Jitter con códec GSM

En la Tabla XVIII y la Figura 4.8.4 (b) podemos observar que el porcentaje de paquetes con un jitter menor a 20 ms es del 97.84 % lo cual es un valor muy bueno para la comunicación.

	Paquetes	Porcentajes (%)
SQS Bin 1 (0,5)	0	0,00
SQS Bin 2 (5)	56	1,83
SQS Bin 3 (10)	625	20,42
SQS Bin 4 (15)	1311	42,83
SQS Bin 5 (20)	1003	32,77
SQS Bin 6 (25)	27	0,88
SQS Bin 7 (30)	32	1,05
SQS Bin 8 (35)	7	0,23
SQS Bin 9 (>35)	0	0,00
Total	3061	100,00

Tabla XVIII – HSDPA: Parámetro SQS GSM

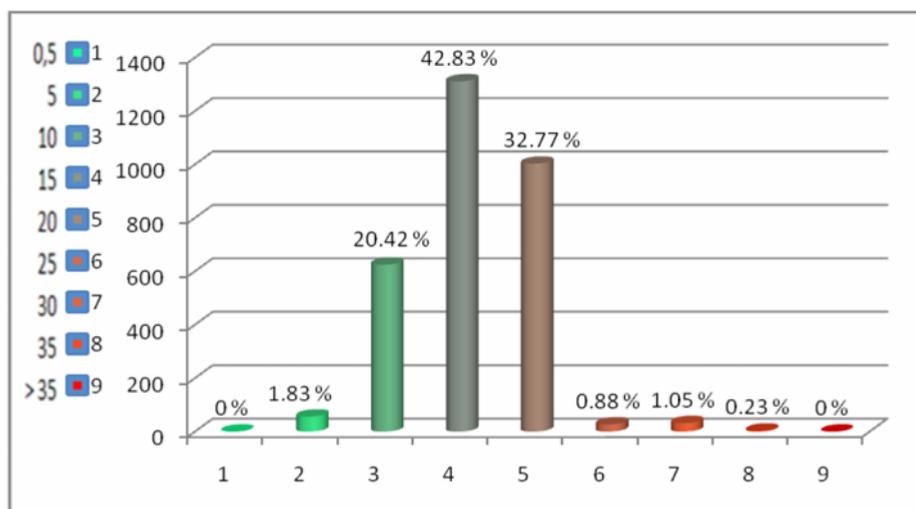


Figura 4.8.4 (b) – HSDPA: Gráfica SQS GSM

4.8.5 Prueba UMTS códec iLBC

Este es un códec muy bueno al igual que G711, los valores mostrados en la Tabla XIX lo demuestran a pesar de tener un gran número de paquetes perdidos todavía se encuentra en los valores excelentes para una buena comunicación.

Métrica	Valor
Códec	iLBC-30
Paquetes Recibidos	2136
Paquetes Perdidos	41
Porcentaje Paquetes Perdidos (%)	1.919
Jitter (ms)	17.875
Máximo Jitter (ms)	24.625
Factor R	81
MOS	3.875

Tabla XIX - Parámetros HSDPA códec iLBC

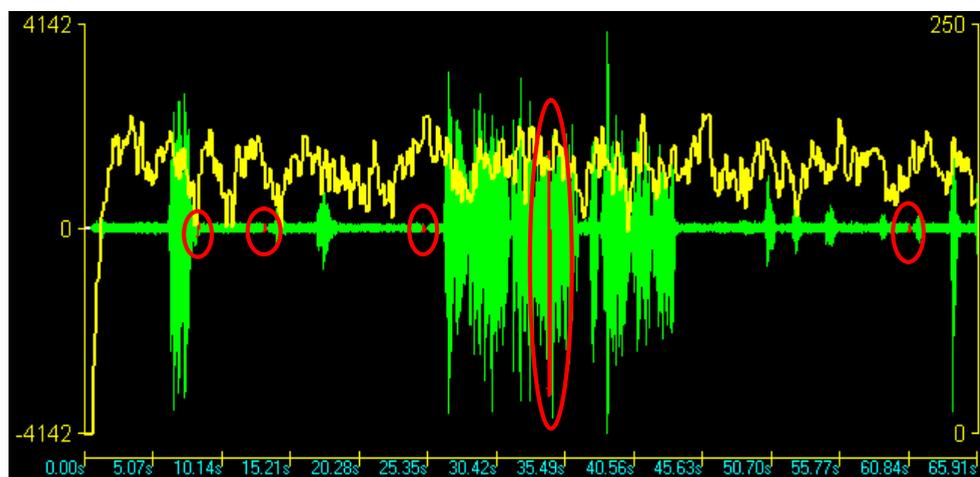


Figura 4.8.5 (a) – HSDPA: Forma de onda Jitter con códec iLBC

Se puede observar en la Tabla XX y la Figura 4.8.5 (b) que el porcentaje de paquetes con jitter inferior a 20ms es de 72.33 % que es un valor apto para meterlo en la categoría de un buen jitter pero el porcentaje que esta entre (20 - 35) ms es de 27.67 % lo cual esta en un rango aceptable para la comunicación.

	Paquetes	Porcentajes (%)
SQS Bin 1 (0,5)	31	1,45
SQS Bin 2 (5)	56	2,62
SQS Bin 3 (10)	366	17,13
SQS Bin 4 (15)	238	11,14
SQS Bin 5 (20)	854	39,98
SQS Bin 6 (25)	591	27,67
SQS Bin 7 (30)	0	0,00
SQS Bin 8 (35)	0	0,00
SQS Bin 9 (>35)	0	0,00
Total	2136	100,00

Tabla XX – HSDPA: Parámetro SQS iLBC

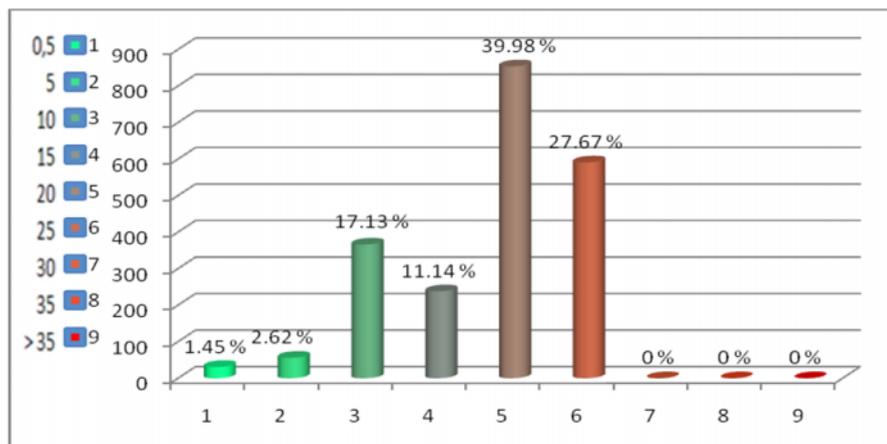


Figura 4.8.5 (b) – HSDPA: Gráfica SQS iLBC

4.8.6 Prueba UMTS códec Speex

El códec Speex tiene valores muy parecidos a iLBC, los valores de la Tabla XXI lo demuestran. A pesar de todo el MOS para dicho códec no se ve muy afectado y lo cual genera una calidad de la voz óptima.

Métrica	Valor
Códec	Speex
Paquetes Recibidos	3036
Paquetes Perdidos	55
Porcentaje Paquetes Perdidos (%)	1.812
Jitter (ms)	18.25
Máximo Jitter (ms)	32.5
Factor R	81
MOS	3.875

Tabla XXI - Parámetros HSDPA códec Speex

En la Figura 4.8.6 (a) se pueden observar los paquetes perdidos encerrados con un círculo en rojo y además los paquetes eliminados por el jitter buffer del X-Lite que se encuentran encerrados por círculos celestes, como podemos observar son pocos los paquetes eliminados y se da este efecto por motivos de elevadas latencias en esos momentos lo cual hacen que los paquetes lleguen fuera del rango del jitter buffer del X-Lite y estos sean eliminados.

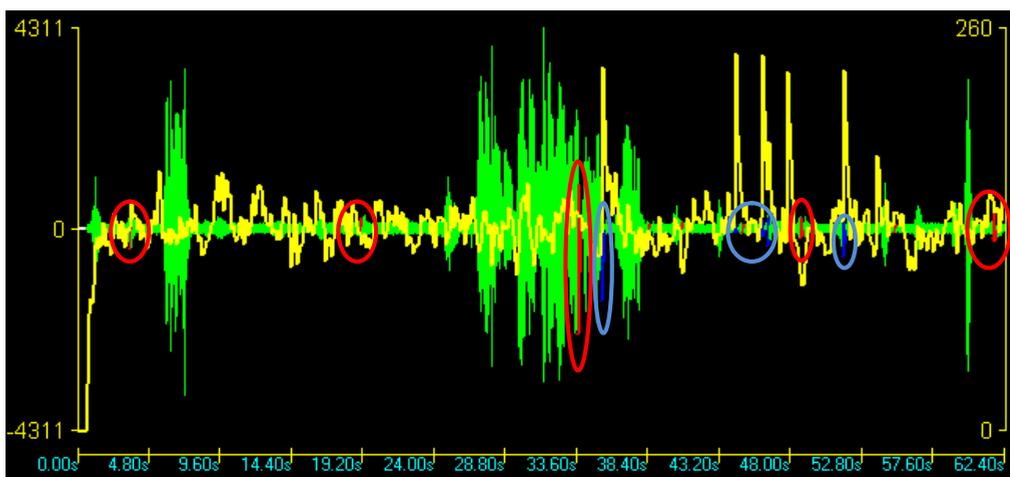


Figura 4.8.6 (a) – HSDPA: Forma de onda Jitter con código Speex

En la Tabla XXII y la Figura 4.8.6 (b) se puede observar que los jitter menores a 20 ms es de 74.54 % lo cual todavía se puede considerar un porcentaje alto para una comunicación óptima.

	Paquetes	Porcentajes (%)
SQS Bin 1 (0,5)	2	0,07
SQS Bin 2 (5)	13	0,43
SQS Bin 3 (10)	472	15,55
SQS Bin 4 (15)	403	13,27
SQS Bin 5 (20)	1373	45,22
SQS Bin 6 (25)	735	24,21
SQS Bin 7 (30)	17	0,56
SQS Bin 8 (35)	21	0,69
SQS Bin 9 (>35)	0	0,00
Total	3036	100,00

Tabla XXII – HSDPA: Parámetro SQS Speex

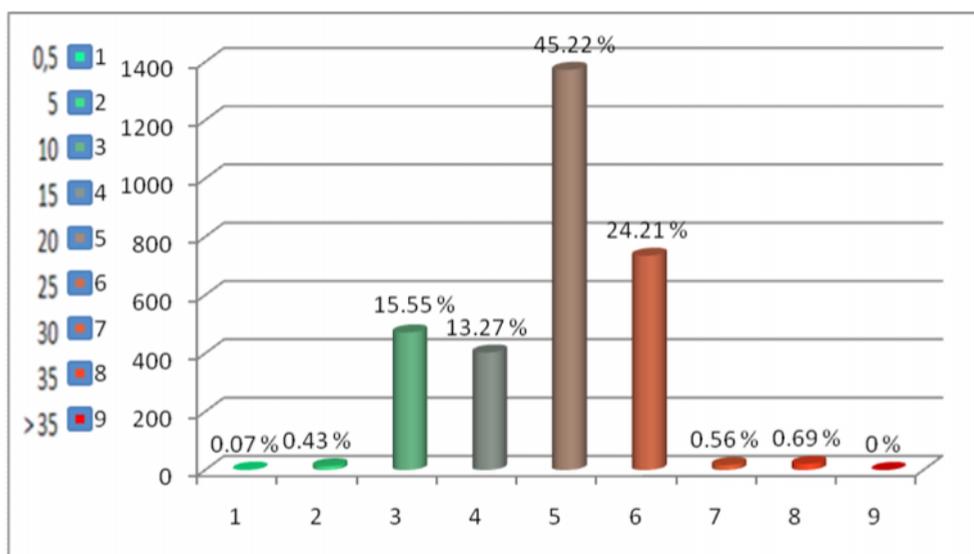


Figura 4.8.6 (b) – HSDPA: Gráfica SQS Speex

4.8.7 Análisis del entorno HSDPA 3.5G

En la Tabla XXIII podemos observar que todos los valores se encuentran dentro de los óptimos para una buena comunicación VoIP a excepción de GSM que por motivos propios de su diseño su MOS es mucho menor a los demás pero todavía se encuentra en los niveles aceptables para una comunicación VoIP. El valor de latencia es un poco alto por el principal motivo de que el servidor se encuentra muy lejos en España pero la tecnología no lo deja salir de los límites debido a esos problemas de distancia.

Códec	Jitter (ms)	Perdida de paquetes (%)	Latencia (ms)	MOS
G711u	14.38	1.465	180.06	3.977
GSM	16	1.766	180.06	3.347
iLBC	17.88	1.919	180.06	3.875
Speex	18.25	1.812	180.06	3.875

Tabla XXIII – Eficiencia de Códecs en HSDPA

El códec con el mejor comportamiento respecto al jitter es el códec G711u seguido de GSM, iLBC y Speex. Respecto a paquetes perdidos el mejor es otra vez G711u seguido de GSM, Speex e iLBC. Por ultimo el códec con mejor MOS en HSDPA será de nuevo el códec G711u

seguido por (Speex o iLBC) y GSM. Con dicho análisis vemos que el códec con mejor funcionamiento en redes con un gran ancho de banda como HSDPA es el códec G711.

	1	2	3	4
Jitter	G711	GSM	iLBC	Speex
Perdida de paquetes	G711	GSM	Speex	iLBC
Latencia	Todos	Todos	Todos	Todos
MOS	G711	iLBC o Speex	iLBC o Speex	GSM

Tabla XXIV – Mejores códecs

4.9 Escenario 2: Entorno EDGE

EDGE es el enlace que hacían uso las redes 2G y con ayuda del modem 3.5G el cual puede detectar y trabajar con enlaces tanto HSDPA y EDGE realizaremos pruebas para comprobar las mejoras del enlace para el uso de aplicaciones multimedia como VoIP. La señalización que se da es la misma que en HSDPA ya que solo varía el enlace y no el núcleo que hace uso de IMS el cual provee la convergencia entre estos dos tipos de tecnologías celulares como lo son EDGE y HSDPA para la transmisión. Además hay que resaltar que el ancho de banda en esta tecnología obtenida en las pruebas de

campo fue de 100 Kbps de bajada y 50 Kbps de subida tanto para pruebas estáticas como en movimiento.

4.9.1 Latencia en EDGE

La latencia mostrada en la Figura 4.9.1 corresponde todos los códecs analizados por los mismos motivos que en las pruebas con HSDPA. La latencia promedio es de 300 ms lo cual se sale de los límites para una comunicación buena y causa disgusto entre los usuarios al conversar por las largas demoras. El parámetro de latencia es el único que varía al aumentar la velocidad llegando a valores de 2500 ms a velocidades de 80Km/h los cuales estaban fuera de todo análisis posible.

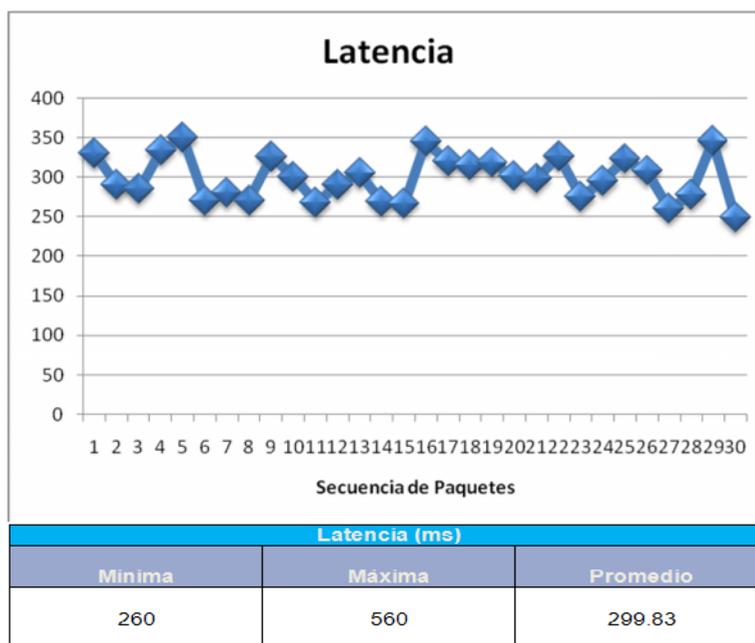


Figura 4.9.1 – Latencia en EDGE

4.9.2 Prueba EDGE códec G711u

En la Tabla XXV se pueden observar que los valores de los parámetros exceden los límites permitidos para una buena comunicación VoIP. A pesar de que el valor de paquetes perdidos sea bajo, ese valor podría elevarse mucho más.

Métrica	Valor
Códec	PCMU
Paquetes Recibidos	1031
Paquetes Perdidos	13
Porcentaje Paquetes Perdidos (%)	1.261
Jitter (ms)	69.75
Máximo Jitter (ms)	415.375
Factor R	24
MOS	1.328

Tabla XXV - Parámetros EDGE códec G711u

Como se puede observar en la Figura 4.9.2 (a) casi por completo la conversación esta con un color azul lo cual se interpreta en que el jitter buffer descarta casi por completo la voz por motivos de las elevadas latencias. Esto causa una gran molestia en los usuarios. La principal causa de este comportamiento es por el escaso ancho de banda del

	Paquetes	Porcentajes (%)
SQS Bin 1 (0,5)	0	0,00
SQS Bin 2 (5)	0	0,00
SQS Bin 3 (10)	0	0,00
SQS Bin 4 (15)	15	1,45
SQS Bin 5 (20)	3	0,29
SQS Bin 6 (25)	122	11,83
SQS Bin 7 (30)	17	1,65
SQS Bin 8 (35)	76	7,37
SQS Bin 9 (>35)	798	77,40
Total	1031	100,00

Tabla XXVI – EDGE: Parámetro SQS G711u

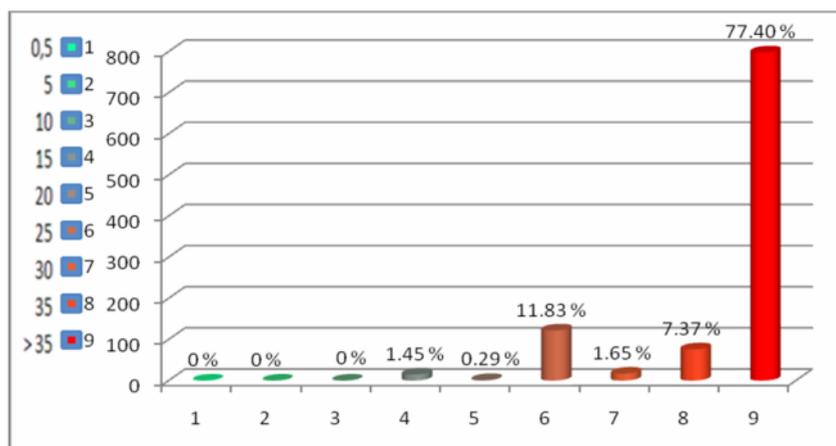


Figura 4.9.2 (b) – EDGE: Gráfica SQS G711u

4.9.3 Prueba EDGE códec GSM

En la Tabla XXVII mostramos los parámetros de GSM en un enlace EDGE los cuales sobrepasan los límites para una buena comunicación.

Métrica	Valor
Códec	GSM
Paquetes Recibidos	4122
Paquetes Perdidos	100
Porcentaje Paquetes Perdidos (%)	2.426
Jitter (ms)	40.875
Máximo Jitter (ms)	96.875
Factor R	49
MOS	2.414

Tabla XXVII - Parámetros EDGE códec GSM

En la Figura 4.9.3 (a) los círculos de color rosado señalan las partes en donde el jitter buffer descarto paquetes o los paquetes se perdieron, al revisar la grafica se puede concluir que el verdadero problema en este enlace EDGE con el códec GSM se debe a la latencia, un poco por la perdida de paquetes y el jitter muy alto que tiene.

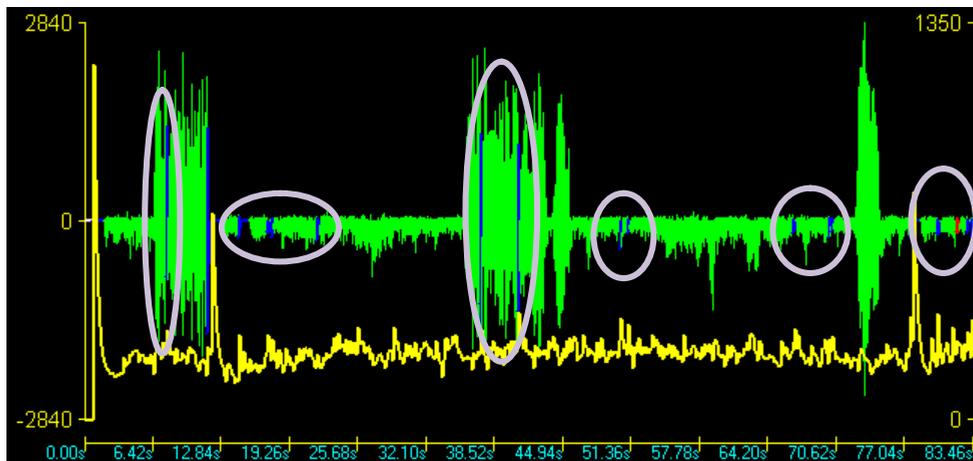


Figura 4.9.3 (a) – EDGE: Forma de onda Jitter con códec GSM

En la Tabla XXVIII y la Figura 4.9.3 (b) se puede observar que el rango que sobrepasa los 35 ms es de 58.52% y muchos de esos valores son muy altos de hasta 96.875 ms esto es muy malo para una comunicación VoIP.

	Paquetes	Porcentajes (%)
SQS Bin 1 (0,5)	0	0,00
SQS Bin 2 (5)	0	0,00
SQS Bin 3 (10)	0	0,00
SQS Bin 4 (15)	7	0,17
SQS Bin 5 (20)	11	0,27
SQS Bin 6 (25)	275	6,67
SQS Bin 7 (30)	704	17,08
SQS Bin 8 (35)	713	17,30
SQS Bin 9 (>35)	2412	58,52
Total	4122	100,00

Tabla XXVIII – EDGE: Parámetro SQS GSM

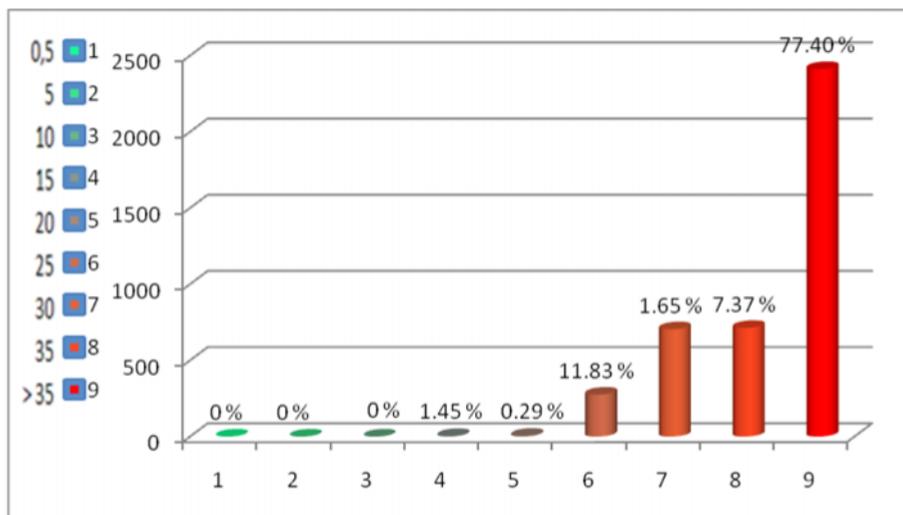


Figura 4.9.3 (b) – EDGE: Gráfica SQS GSM

4.9.4 Prueba EDGE códec iLBC

En la Tabla XXIX y la Figura 4.9.4 (a) se puede observar que la pérdida de paquetes sobrepasa el 2%, el jitter es mas de 50ms y el MOS esta fuera de los rangos óptimos, lo cual lo hace una comunicación muy mala.

Métrica	Valor
Códec	iLBC-30
Paquetes Recibidos	2755
Paquetes Perdidos	75
Porcentaje Paquetes Perdidos (%)	2.722
Jitter (ms)	57.375
Máximo Jitter (ms)	104.125
Factor R	69
MOS	3.125

Tabla XXIX - Parámetros EDGE códec Ilbc

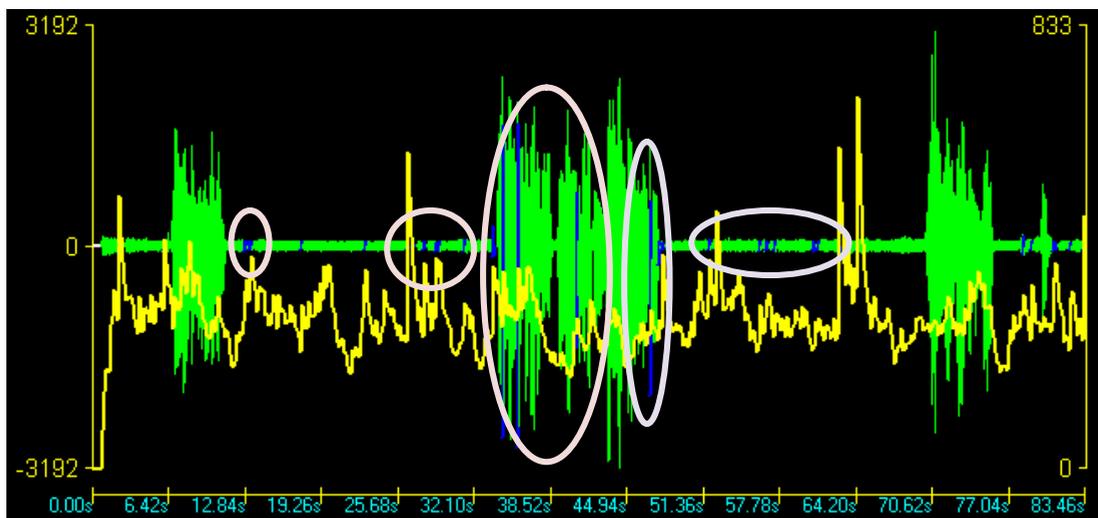


Figura 4.9.4 (a) – EDGE: Forma de onda Jitter con códec iLBC

En la Tabla XXX y la Figura 4.9.4 (b) podemos observar un porcentaje demasiado alto para jitter mayores a 35 ms, lo cual como los anteriores códecs lo hace una conversación muy mala.

	Paquetes	Porcentajes (%)
SQS Bin 1 (0,5)	0	0,00
SQS Bin 2 (5)	0	0,00
SQS Bin 3 (10)	0	0,00
SQS Bin 4 (15)	0	0,00
SQS Bin 5 (20)	130	4,72
SQS Bin 6 (25)	105	3,81
SQS Bin 7 (30)	215	7,80
SQS Bin 8 (35)	168	6,10
SQS Bin 9 (>35)	2137	77,57
Total	2755	100,00

Tabla XXX – EDGE: Parámetro SQS iLBC

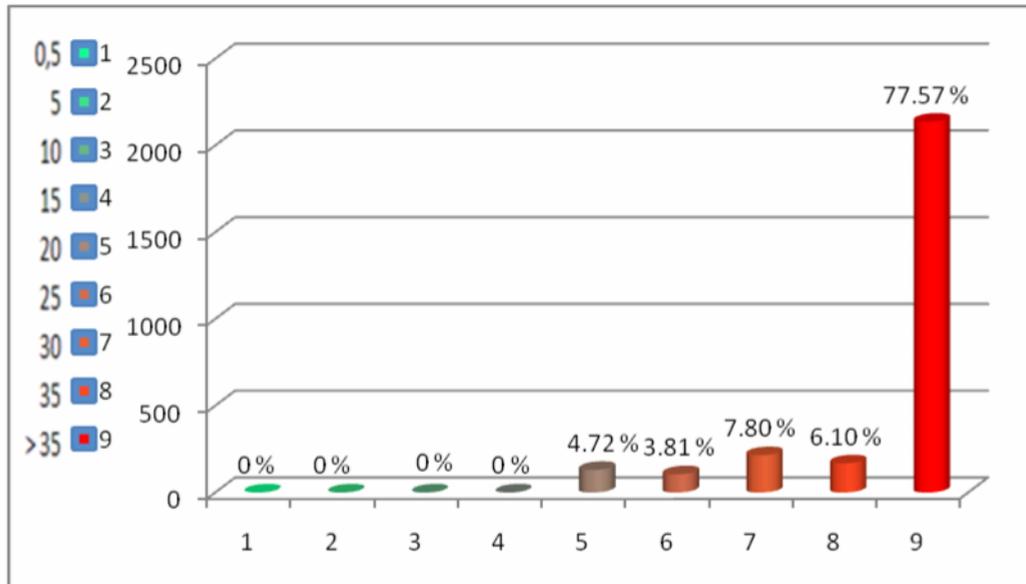


Figura 4.9.4 (b) – EDGE: Gráfica SQS iLBC

4.9.5 Prueba EDGE códec Speex

Al observar los resultados para este códec en la Tabla XXXI y la Figura 4.9.5 (a) se puede observar el mal funcionamiento del códec sobre el enlace EDGE pero que es el de mejor funcionamiento de los cuatro códecs con un jitter de 36.875 ms.

Métrica	Valor
Códec	Speex
Paquetes Recibidos	1650
Paquetes Perdidos	35
Porcentaje Paquetes Perdidos (%)	2.12
Jitter (ms)	36.875
Máximo Jitter (ms)	66.875
Factor R	41
MOS	2.023

Tabla XXXI - Parámetros EDGE códec Speex

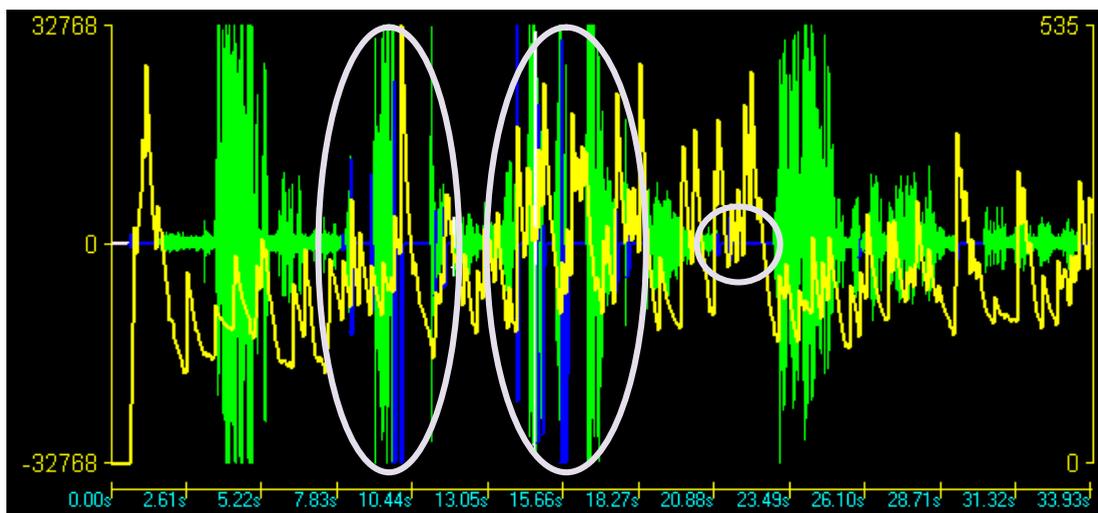


Figura 4.9.5 (a) – EDGE: Forma de onda Jitter con códec Speex

En la Tabla XXXII y la Figura 4.9.5 (b) podemos observar lo antes mencionado referente a las falencias del códec para dar una buena comunicación VoIP.

	Paquetes	Porcentajes (%)
SQS Bin 1 (0,5)	0	0,00
SQS Bin 2 (5)	0	0,00
SQS Bin 3 (10)	0	0,00
SQS Bin 4 (15)	34	2,06
SQS Bin 5 (20)	25	1,52
SQS Bin 6 (25)	135	8,18
SQS Bin 7 (30)	46	2,79
SQS Bin 8 (35)	487	29,52
SQS Bin 9 (>35)	923	55,94
Total	1650	100,00

Tabla XXXII – EDGE: Parámetro SQS Speex

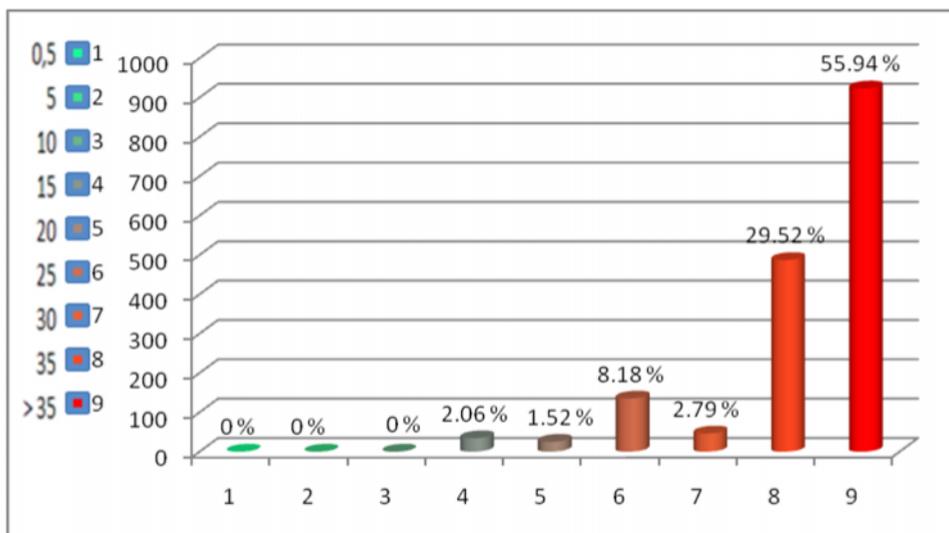


Figura 4.9.5 (b) – EDGE: Gráfica SQS Speex

4.9.6 Análisis del entorno EDGE

En la Tabla XXXIII se puede observar que entre todos los parámetros obtenidos solo el porcentaje de pérdida de paquetes para G711u esta dentro de los límites óptimos pero ese valor podría elevarse mucho como antes lo mencionamos ya que las muestras tomadas fueron pocas por motivos que al fragmentarse los datos por el bajo ancho de banda de EDGE se generaban conflictos con el programa y no se podía hacer un análisis óptimo.

<i>Códec</i>	<i>Jitter (ms)</i>	<i>Perdida de paquetes (%)</i>	<i>Latencia (ms)</i>	<i>MOS</i>
<i>G711u</i>	69.75	1.261	299.83	1.328
<i>GSM</i>	40.88	2.426	299.83	2.414
<i>iLBC</i>	57.38	2.722	299.83	3.125
<i>Speex</i>	36.88	2.12	299.83	2.023

Tabla XXXIII – Eficiencia de Códecs en HSDPA

En la Tabla XXXIV mostramos que en un enlace como el EDGE la posición del mejor o peor códec es muy cambiante con lo que confirma una vez mas que este enlace no es el mejor para el uso de aplicaciones multimedia como lo es HSDPA.

	1	2	3	4
Jitter	Speex	GSM	iLBC	G711u
Perdida de paquetes	G711u	Speex	GSM	iLBC
Latencia	Todos	Todos	Todos	Todos
MOS	iLBC	GSM	Speex	G711u

Tabla XXXIV – Comportamiento de los códecs en EDGE

4.10 Escenario 3: Comparaciones

4.10.1 Comparaciones con los resultados de la LAN

En la Tabla XXXV podemos observar en cuanto varía la tecnología 3.5G en sus diferentes parámetros necesarios para usar VoIP respecto a una red LAN, se puede ver que el jitter para todos los códecs aumenta en HSDPA pero en unos 4 ms para cada códec lo cual no es una gran diferencia sabiendo que se encuentra todavía dentro de los rangos óptimos. El valor de la latencia en HSDPA aumenta en gran medida por motivos de la distancia que existe entre los usuarios y el servidor VoIP en España y en la LAN no era más de seis metros de distancia, este valor se lo podría mejorar buscando un servidor más cercano o pidiendo a su proveedor de internet una ruta

mas directa hacia el servidor sin realizar tantos saltos para llegar a el, de igual manera el valor de latencia no sobrepasa los limites óptimos. El parámetro de perdida de paquetes así como el jitter podemos observar que no aumenta mucho respecto a el entorno LAN y además se encuentra dentro de los rangos óptimos para una buena comunicación VoIP. Por ultimo el MOS que es la medida de percepción del usuario nos muestra valores mayores a 3.3 que es lo aceptable para que el usuario se sienta bien y no le produzca molestias el audio. Como podemos observar HSDPA si es un buen enlace para el uso de aplicaciones multimedia gracias a su elevado ancho de banda y con la ayuda de IMS que se encarga del control y QoS de la comunicación nos brinda una comunicación muy buena.

	LAN				HSDPA			
	G711	GSM	iLBC	Speex	G711	GSM	iLBC	Speex
Jitter (ms)	10.875	12.125	14.25	8.875	14.38	16	17.88	18.25
Latencia (ms)	25	25	33	33	180.06	180.06	180.06	180.06
Pérdida de paquetes (%)	0	0	0	0	1.465	1.766	1.919	1.812
MOS	4.15	3.48	3.875	4.06	3.977	3.347	3.875	3.875

Tabla XXXV – Comparación LAN Vs HSDPA

En la Tabla XXXVI mostramos la comparación entre EDGE y un entorno ideal LAN, entre los cuales a simple vista se puede concluir que EDGE por su bajo ancho de banda tiene problemas para transmitir aplicaciones multimedia con un jitter, latencia súper altos, una pérdida de paquetes que sobrepasa los límites para una comunicación buena y un MOS súper bajo el cual se pudo percibir al hacer las pruebas causando fastidio al oyente. Es por eso que junto con la implementación de la arquitectura IMS en el Release 5 se optó por un enlace mucho mejor el cual nos pueda brindar el ancho de banda necesario para una buena transmisión de aplicaciones multimedia.

	LAN				EDGE			
	G711	GSM	iLBC	Speex	G711	GSM	iLBC	Speex
Jitter (ms)	10.875	12.125	14.25	8.875	69.75	40.88	57.38	36.88
Latencia (ms)	25	25	33	33	299.83	299.83	299.83	299.83
Pérdida de paquetes (%)	0	0	0	0	1.261	2.426	2.722	2.12
MOS	4.15	3.48	3.875	4.06	1.328	2.414	3.125	2.023

Tabla XXXVI – Comparación LAN Vs EDGE

4.10.2 Comparaciones entre HSDPA y EDGE

Para finalizar analizaremos en que mejoro el enlace entre HSDPA y EDGE, como podemos observar en la Tabla XXXVII el jitter en HSDPA es mucho menor que en EDGE, la latencia en HSDPA es prácticamente la mitad que en EDGE, la perdida de paquetes no varia en mucho pero sigue teniendo mejores valores el enlace HSDPA y por ultimo el MOS en HSDPA esta en los rangos excelentes para una buena comunicación y en EDGE son muy bajos para poder brindar el servicio de VoIP. Con lo cual confirmamos que con la aparición de la tecnología 3G y sus variaciones en el Release 5 la convierte en una tecnología optima para transmisión de aplicaciones multimedia.

	HSDPA				EDGE			
	G711	GSM	iLBC	Speex	G711	GSM	iLBC	Speex
Jitter (ms)	14.38	16	17.88	18.25	69.75	40.88	57.38	36.88
Latencia (ms)	180.06	180.06	180.06	180.06	299.83	299.83	299.83	299.83
Pérdida de paquetes (%)	1.465	1.766	1.919	1.812	1.261	2.426	2.722	2.12
MOS	3.977	3.347	3.875	3.875	1.328	2.414	3.125	2.023

Tabla XXXVII – Comparación HSDPA Vs EDGE

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Una vez realizadas las pruebas hemos podido comprobar cómo cambian los parámetros analizados según el códec y la tecnología que estemos utilizando, las pruebas realizadas en la LAN nos arrojan buenos resultados debido a sus buenas condiciones ya que exceden en gran medida el ancho de banda en relación a las tecnologías usadas para las pruebas siguientes; a mas de eso la latencia que es un factor determinante en este tipo de comunicaciones es mínima en comparación a las encontradas en entornos WAN.
2. Teniendo como referencia el valor de los parámetros obtenidos en las pruebas del entorno LAN nos preparamos para analizar de la misma manera como se comportarían dichos parámetros en los entornos UMTS y EDGE teniendo como variantes el ancho de banda y la latencia, para UMTS contamos con un ancho de banda aproximadamente de 1.7 Mbps en la baja y de 111 Kbps para la

subida, característico de la tecnología HSDPA, valiéndonos de varias herramientas pudimos determinar que la latencia era aproximadamente de 180 ms en una sola dirección, valores con los cuales esperábamos tener una buena comunicación, lo cual fue ratificado al momento de analizar los parámetros y encontrarlos operando en los niveles adecuados.

3. En EDGE encontramos un escenario diferente en lo que respecta al ancho de banda y latencia en este caso el ancho de banda era aproximadamente 100 Kbps en la bajada y 50 Kbps en la subida, lo cual influyo directamente en el jitter y la pérdida de paquetes al no poder brindar las condiciones necesarias para el buen desempeño de codecs como el g711 el cual necesita un ancho de banda aproximado de 80 Kbps tanto para la subida como para la bajada, a mas de esto encontramos un gran aumento en el valor de la latencia el cual fue aproximadamente de 299 ms en una sola dirección con estos antecedentes realizamos las pruebas y en el análisis de resultados encontramos que los parámetros se encontraban en un rango de operación poco adecuado para sostener una comunicación VoIP a través de esta red.

RECOMENDACIONES

1. Los modems para utilizar el servicio de internet a través de las redes UMTS que proveen las operadoras poseen un software en el cual podemos configurar el modo de acceso, es decir si deseamos navegar con tecnología GSM, EDGE, HSDPA. Es muy importante la configuración de este parámetro cuando deseamos utilizar el servicio de VoIP en un entorno móvil ya que al configurarlo para que se mantenga conectado solo en HSDPA el dispositivo permanecerá con esta tecnología siempre y cuando se encuentre dentro de una zona con cobertura, en cambio si lo dejamos que se enganche automáticamente a la tecnología que sea cuando estemos utilizando VoIP por momentos se enganchara a EDGE y eso degradaría la comunicación en ese instante causando molestias al usuario VoIP.
2. En la actualidad en nuestro medio las operadoras ofrecen redes 3.5G las cuales están ligadas a la tecnología HSDPA que nos ofrece un gran ancho de banda para la bajada y nos limita el ancho de banda en la subida, este problema será solucionado en las redes 3.75G las cuales incorporan la tecnología HSUPA con la cual tendremos gran ancho de banda tanto para la subida como para la bajada, se recomienda a los usuarios optar por este servicio cuando sea

incorporado para de esta manera disminuir la latencia en la subida y así obtener un mejor rendimiento en las aplicaciones de VoIP. Además de la aparición de HSUPA en el Release 6 también aparece la fase 2 del proyecto IMS en el cual se mejora mucho más el control de calidad de servicio para las aplicaciones multimedia.

3. En el caso de querer usar un servidor SIP para configurar los softphones, buscar varios de estos servidores e investigar su ubicación geográfica de esta manera realizar pruebas que me permita determinar cuál de estos servidores me generan la menor latencia a más de esto su prestigio de manera que pueda conectarme a ellos en cualquier momento sin complicaciones. En nuestro análisis pudimos observar que la latencia era menor con rutas directas a Maimi pero no pudimos encontrar un servidor en Maimi, por lo cual optamos por el segundo servidor que nos dio buenos tiempos de latencia el cual se encontraba en España.

BIBLIOGRAFÍA

- [REF. 1] Haraldsson Allan, Vera Andrés, Padilla Michael; “Análisis e implementación de dos o mas PBX bajo VoIP basándose en protocolos IAX y SIP para interconectar dos o mas empresas y/u oficinas”; Tesis de grado (FIEC- ESPOL); Guayaquil-Ecuador, 2006.
<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3045/1/5562.pdf>
[Consultado: martes 8 de diciembre del 2009]
- [REF. 2] Lam Lourdes, Lizano Ronald, García Vicente; “Diseño de un Call Center Internacional entre Ecuador y Estados Unidos, utilizando la tecnología VoIP para la integración física y funcional entre los sistemas telefónicos e informático”; Tópico (FIEC-ESPOL); Guayaquil-Ecuador, 2004.
<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3286/1/5805.pdf>
[Consultado: viernes 18 de diciembre del 2009]
- [REF. 3] www.worldlingo.com, MOS y Factor R.
http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/en/Mean_Opinion_Score
[Consultado: lunes 1 de febrero del 2010]

- [REF. 4] Guía CCNA 1; Cuarta Edición; Cisco Systems, Inc. Cisco Networking Academy Program. [Consultado: jueves 7 de enero del 2010]
- [REF. 5] Quiñonez Luis; “La Voz sobre IP, una guía practica”; Universidad de San Carlos de Guatemala – Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas; Guatemala, Julio 2005. [Consultado: viernes 4 de diciembre del 2009]
- [REF. 6] www.sgelectronics.es, Teléfono IP.
<http://www.sgelectronics.es/images/cisco-7960-1.jpg>
[Consultado: viernes 4 de diciembre del 2009]
- [REF. 7] www.img.xataka.com, Equipo Móvil IP,
<http://img.xataka.com/belkin-wi-fi-skype-phone.jpg>
[Consultado: viernes 4 de diciembre del 2009]
- [REF. 8] www.es.wikipedia.org, Gateway.
http://es.wikipedia.org/wiki/Gateway_%28inform%C3%A1tica%29
[Consultado: domingo 13 de diciembre del 2009]
- [REF. 9] www.blog.pucp.edu.pe, Gatekeeper.
<http://blog.pucp.edu.pe/media/648/20070708esquema%20IP.JPG>
[Consultado: jueves 3 de diciembre del 2009]

- [REF. 10] www.es.wikipedia.org, User Datagram Protocol.
http://es.wikipedia.org/wiki/User_Datagram_Protocol
[Consultado: jueves 3 de diciembre del 2009]
- [REF. 11] www.es.wikipedia.org, Protocolo de Internet.
http://es.wikipedia.org/wiki/Protocolo_IP
[Consultado: viernes 18 de diciembre del 2009]
- [REF. 12] Bannister Jeffrey, Mather Paul, Coope Sebastian; "Convergence Technologies for 3G Networks IP, UMTS, EGPRS and ATM"; First Edition; Editorial John Willey & Sons, Ltd; 2004.
[Consultado: martes 8 de diciembre del 2009]
- [REF. 13] Calle Torres José; "Análisis del estándar IMS 3GPP orientado a la interconexión de redes fijas y móviles en conjunto con las redes de nueva generación NGN TISPAN/ETSI"; Tesis de grado (Escuela Politécnica Nacional – Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica); Quito – Ecuador; Octubre 2008. [Consultado: martes 19 de enero del 2010]
- [REF. 14] Gutiérrez Gil Roberto; "Seguridad en VoIP: Ataques, Amenazas y Riesgos".
<http://www.uv.es/montanan/ampliacion/trabajos/Seguridad%20VoIP.pdf>
[Consultado: martes 19 de enero del 2010]

- [REF. 15] Kaaranen Heikki, Ahtiainen Ari, Laitinen Lauri, Naghian Siamak, Neimi Valtteri; "UMTS Networks Architecture, Mobility and Services"; Editorial John Willey & Sons, Ltd ; 2001. [Consultado: sábado 6 de febrero del 2010]
- [REF. 16] www.bandaancha.es, Arquitectura UMTS: Dominios.
<http://www.bandaancha.es/Informacion/Tecnologias/TecnologiasInalambricas/PublishingImages/UMTS.gif>
[Consultado: domingo 20 de diciembre del 2009]
- [REF. 17] Halonen Timo, Romero Javier, Melero Juan; "GSM, GPRS and EDGE performance evolution towards 3G/UMTS", Second Edition; Editorial John Willey & Sons, Ltd ; 2003. [Consultado: sábado 19 de diciembre del 2009]
- [REF. 18] Sauter Martin; "Beyond 3G bringing networks, terminals and the web together, LTE, Wimax, IMS, 4G Devices and the Mobile Web 2.0"; First Edition; Editorial John Willey & Sons, Ltd ; 2009. [Consultado: jueves 3 de diciembre del 2009]
- [REF. 19] LEAL LEÓN JESÚS NICÓMEDES; "Modelo del núcleo de red IP de una red 3G para transporte de multimedia en tiempo real"; Tesis – Universidad de Cataluña; Madrid – España; 2004. [Consultado: sábado 12 de diciembre del 2009]

- [REF. 20] Wisely Dave, Eardley Philip, Burness Louise; "IP for 3G networking technologies for mobile communications"; First Edition; Editorial John Willey & Sons, Ltd ; 2002. [Consultado: sábado 12 de diciembre del 2009]
- [REF. 21] Delfino Adrián, Rivero Sebastián; "DiffServ: Servicios Diferenciados, Monografía de Evaluación de Performance en Redes de Telecomunicaciones".
http://iie.fing.edu.uy/ense/assign/perfredes/trabajos/trabajos_2003/diffserv/Trabajo%20Final.pdf
[Consultado: viernes 5 de febrero del 2010]
- [REF. 22] Proaño Rosero, Tito Enrique; "Análisis comparativo del servicio de internet móvil brindado a través de 3G (UMTS) versus la opción brindada por el anexo e del estándar IEEE 802.16 (WiMAX móvil)"; Tesis ESPOL-FIEC Octubre 2003. [Consultado: viernes 5 de febrero del 2010]
- [REF. 23] www.en.wikipedia.org, Modulación adaptativa en UMTS.
http://en.wikipedia.org/wiki/High-Speed_Downlink_Packet_Access
[Consultado: miércoles 20 de enero del 2010]
- [REF. 24] Sepulveda Hernaiz Juan; "Convergencia de redes a través de IMS"; Proyecto de Licenciatura, Universidad Mayor - Facultad de Ingeniería; Santiago de Chile; Agosto del 2007. [Consultado: miércoles 20 de enero del 2010]

- [REF. 25] www.proyectominerva.org, Representación simplificada de la Arquitectura IMS.
<http://www.proyectominerva.org/image.asp?id=190&tipo=se>
[Consultado: domingo 31 de enero del 2010]
- [REF. 26] Ávila Rosas Amanda, Cevallos López Nelly; “Análisis y diseño de una red IMS (IP Multimedia Subsystem) para el proveedor de servicios de internet ReadyNet”; Tesis de grado (Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica); Quito – Ecuador; Diciembre del 2008. [Consultado: viernes 18 de diciembre del 2009]
- [REF. 27] Camarillo Gonzalo, García Miguel; “The 3G IP Multimedia Subsystem merging the Internet and the cellular worlds”; Second Edition; Editorial John Willey & Sons, Ltd ; 2006. [Consultado: jueves 18 de febrero del 2010]
- [REF. 28] Empresa: Telefónica I+D de España; “Las telecomunicaciones y la movilidad en la sociedad de la información”; Primera Edición; Febrero del 2005. [Consultado: jueves 18 de febrero del 2010]