



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE  
QoS/QoE EN SERVICIOS OTT MONTADOS SOBRE UNA PLATAFORMA LTE/IMS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA

CRISTIÁN DANIEL SEGURA VILLALOBOS

SANTIAGO DE CHILE  
AGOSTO 2012



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE  
QoS/QoE EN SERVICIOS OTT MONTADOS SOBRE UNA PLATAFORMA LTE/IMS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA

CRISTIÁN DANIEL SEGURA VILLALOBOS

PROFESOR GUÍA:  
ALFONSO EHIJO BENBOW

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
JORGE SANDOVAL ARENAS  
CLAUDIO ESTÉVEZ MONTERO

SANTIAGO DE CHILE  
AGOSTO 2012

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA  
POR: CRISTIÁN DANIEL SEGURA VILLALOBOS  
FECHA: AGOSTO 2012  
PROF. GUÍA: Sr. ALFONSO EHIJO B.

**“Diseño e implementación de una metodología para la medición de QoS/QoE en servicios OTT montados sobre una plataforma LTE/IMS”**

Las redes móviles de tercera generación (3G) brindan servicios de voz y datos en forma separada mediante conmutación de circuitos y conmutación de paquetes, en una misma tecnología. En cambio, una red *Long Term Evolution* (LTE) presenta un enfoque exclusivo al uso de datos de manera *All IP* (todo con *Internet Protocol*), de modo que las llamadas deben ser cursadas mediante Voz sobre IP (VoIP) en una red de conmutación de paquetes. Esto se logra haciendo uso de un núcleo de paquetes *IP Multimedia Subsystem* (IMS), a través de servidores *Session Initiation Protocol* (SIP).

De esta manera, se heredan los problemas de un servicio ofrecido por mejor esfuerzo mediante IP, surgiendo la gran necesidad de establecer Calidad de Servicio (QoS), mecanismo que establece prioridad de tráfico según las aplicaciones a las cuales acceden los usuarios. Así, resulta obligatorio monitorear el correcto funcionamiento de este mecanismo para cumplir con los acuerdos de nivel de servicio establecidos con el usuario. En este escenario, las mediciones de Calidad de Experiencia (QoE), son clave.

El presente trabajo de título tiene como objetivo general diseñar e implementar una metodología para medir indicadores de QoE y QoS en aplicaciones multimedia *Over The Top* (OTT), en una red de laboratorio LTE/IMS. Para esto, se implementa un IMS *Open Source* en una red de área local (LAN), lo que sirve como prototipo de verificación para el correcto desempeño de los servicios y herramientas de medición, así como también para tener un punto de comparación de los valores logrados por la metodología en el caso LTE/IMS.

El resultado del trabajo es una metodología compuesta por 5 pruebas de concepto, las cuales miden un indicador específico de calidad de acuerdo al servicio y a la modalidad de acceso (Internet, o vía operador). Dichas pruebas son verificadas en dos escenarios de tráfico: (i) el óptimo, que consiste en no establecer más de una sesión multimedia en la red; y (ii) el congestionado, que emula el comportamiento de una red con tráfico. Se logra obtener indicadores de calidad en las redes LAN/IMS y LTE/IMS. De lo anterior, se obtienen herramientas docentes para realizar capacitaciones y cursos de LTE e IMS orientados al estudio de QoS y QoE en la Universidad de Chile.

Este trabajo constituye, por un lado, un acercamiento práctico a la medición y monitoreo de QoE aplicable a una red móvil LTE; y, por otro, a nivel docente, entrega una plataforma de medición y de estudio para las nuevas arquitecturas móviles. Esto último permite proponer como trabajos futuros los siguientes temas: estudio del impacto de la movilidad y de las políticas de control de recursos en el QoE, en servicios sobre LTE; implementación de la interconexión de LTE a la telefonía fija a través de IMS y una Central Telefónica IP tipo Asterisk; y, por último, un estudio del sincronismo audio-video en un servicio de *videostreaming* montado sobre LTE haciendo uso de herramientas de medición de QoE.

# AGRADECIMIENTOS

Primero que todo, quiero agradecer a mis padres Elizabeth y Jaime. Ellos son los principales pilares de todo lo que soy y lo que he aprendido en mi vida. Han sabido apoyarme en los momentos más difíciles y han celebrado mis alegrías como si fueran suyas. Agradezco también a mis hermanas Romina, Nicole y Javiera quienes, con su dedicación y empeño, me han convertido en un hermano orgulloso. Además, agradecer a mi polola Gisella por lo que significa para mi y el apoyo y ánimo que me dio mientras trabajaba en esta tesis.

En segundo lugar, agradezco al profesor Alfonso Ehijo por la oportunidad de estudiar estos temas y haber confiado en mí para cumplir las metas propuestas. Gracias a él pude adquirir herramientas complementarias a los estudios en el pregrado que sin duda alguna serán una gran ventaja en la vida laboral. Junto a Alfonso quiero manifestar mis agradecimientos a los profesores de mi comisión: Claudio Estévez y Jorge Sandoval, con los cuales compartí cursos siendo ayudante y de los cuales pude aprender y experimentar desafíos docentes. Además a todos ellos les doy las gracias por sus comentarios y consejos en mi trabajo de memoria.

Como mención especial, me gustaría también agradecer al *team* de memoristas: John Oliva, Sebastián Rivas y José Luis García, por estar siempre ahí cuando necesité de su ayuda. Además, al profesor José González por su constante interés en ayudar.

Por último, y no menos importante, agradecer a mis amigos de la Universidad: Chino, Cono, Deibid, Francisco, Paola y Paul por brindarme constantemente su apoyo, preocupación y consejos.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

|   |               |
|---|---------------|
| AGRADECIMIENTOS .....   | III           |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS .....  | IV            |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....                                       | VII           |
| ÍNDICE DE TABLAS .....  | IX            |
| ACRÓNIMOS .....   | X             |
| <b>1 CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>                             | <b>- 1 -</b>  |
| 1.1 MOTIVACIÓN.....   | - 1 -         |
| 1.2 OBJETIVOS.....  | - 2 -         |
| 1.2.1 <i>Objetivo General</i> .....                                 | - 2 -         |
| 1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....                            | - 2 -         |
| 1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                                | - 3 -         |
| 1.4 HIPÓTESIS DEL TRABAJO Y METODOLOGÍA .....                       | - 4 -         |
| 1.5 ALCANCES DEL TRABAJO .....                                      | - 4 -         |
| 1.6 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA.....                                   | - 4 -         |
| <b>2 CAPÍTULO II: ANTECEDENTES .....</b>                            | <b>- 6 -</b>  |
| 2.1 SERVICIOS.....  | - 6 -         |
| 2.1.1 <i>Servicios Tradicionales</i> .....                          | - 6 -         |
| 2.1.2 <i>Servicios OTT [5]</i> .....                                | - 12 -        |
| 2.2 LTE [6].....  | - 13 -        |
| 2.2.1 <i>Evolución de las redes Móviles Previas a LTE</i> .....     | - 13 -        |
| 2.2.2 <i>Aspectos Potenciales de las nuevas redes móviles</i> ..... | - 14 -        |
| 2.2.3 <i>Arquitectura de LTE</i> .....                              | - 16 -        |
| 2.2.4 <i>LTE en la FCFM [8]</i> .....                               | - 19 -        |
| 2.3 IMS [9] .....   | - 21 -        |
| 2.3.1 <i>Arquitectura de IMS [11]</i> .....                         | - 22 -        |
| 2.3.2 <i>IMS Open Source [12]</i> .....                             | - 24 -        |
| 2.3.3 <i>Uso en el contexto del Trabajo de Título</i> .....         | - 26 -        |
| 2.4 CALIDAD DE SERVICIO (QoS).....                                  | - 26 -        |
| 2.4.1 <i>Definición e Importancia [13]</i> .....                    | - 26 -        |
| 2.4.2 <i>Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA) [14]</i> .....          | - 27 -        |
| 2.4.3 <i>Overbooking [15]</i> .....                                 | - 28 -        |
| 2.5 CALIDAD DE EXPERIENCIA (QoE).....                               | - 29 -        |
| 2.5.1 <i>Indicadores clave de Desempeño (KPI) [16]</i> .....        | - 29 -        |
| 2.5.2 <i>Modelo de QoE [16]</i> .....                               | - 31 -        |
| 2.5.3 <i>KPIs usados en el contexto de este trabajo</i> .....       | - 32 -        |
| <b>3 CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....</b>                            | <b>- 37 -</b> |
| 3.1 DISEÑO DE LAS PRUEBAS DE CONCEPTO.....                          | - 37 -        |
| 3.1.1 <i>Servicios al usuario final a considerar</i> .....          | - 37 -        |
| 3.1.2 <i>Alcances del Diseño</i> .....                              | - 38 -        |
| 3.1.3 <i>Diseño de la arquitectura de las redes</i> .....           | - 40 -        |
| 3.1.4 <i>Esquema de interconexiones</i> .....                       | - 44 -        |
| 3.2 IMPLEMENTACIÓN DE LOS SERVICIOS .....                           | - 46 -        |
| 3.2.1 <i>Núcleo IMS y clientes</i> .....                            | - 46 -        |
| 3.2.2 <i>Servidor Asterisk y clientes</i> .....                     | - 50 -        |
| 3.2.3 <i>Servidor y cliente de Video Streaming</i> .....            | - 52 -        |

|          |  |               |
|----------|--|---------------|
| 3.2.4    | Skype y Youtube.....   | - 54 -        |
| 3.3      | IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS .....   | - 56 -        |
| 3.3.1    | Herramienta para Emular el empeoramiento de las condiciones de red: NEWT.....                                  | - 56 -        |
| 3.3.2    | Herramientas para obtención de parámetros de las redes (QoS).....  | - 57 -        |
| 3.3.3    | Herramientas Para obtención de Calidad de Experiencia (QoE).....   | - 59 -        |
| 3.4      | PRUEBAS DE CONCEPTO.....   | - 63 -        |
| 3.4.1    | Condiciones de red.....  | - 64 -        |
| 3.4.2    | Pruebas relacionadas a los parámetros de red (QoS).....  | - 65 -        |
| 3.4.3    | Pruebas relacionadas a la calidad de experiencia (QoE) .....   | - 66 -        |
| <b>4</b> | <b>CAPÍTULO 4 RESULTADOS.....</b>  | <b>- 68 -</b> |
| 4.1      | RESULTADOS SOBRE LAS PLATAFORMAS DE RED LAN Y LTE IMPLEMENTADAS.....   | - 68 -        |
| 4.2      | RESULTADOS SOBRE LA PROVISIÓN DE LOS SERVICIOS.....  | - 71 -        |
| 4.3      | RESUMEN DE HERRAMIENTAS FINALES ELEGIDAS.....  | - 73 -        |
| 4.4      | RESULTADO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS PRUEBAS DE CONCEPTO RECOMENDADAS.....                                    | - 73 -        |
| 4.4.1    | Prueba de Concepto 1: Medición de parámetros de QoS de la red .....  | - 74 -        |
| 4.4.2    | Prueba de Concepto 2: Medición de MOS en servicios VoIP.....   | - 74 -        |
| 4.4.3    | Prueba de Concepto 3: Medición de MOS en Servicios de Video .....  | - 75 -        |
| 4.4.4    | Prueba de Concepto 4: Medición de VQM y PSNR en servicios de Video con MSU Video Quality Measurement Tool..... | - 76 -        |
| 4.4.5    | Prueba de Concepto 5: Mediciones de QoS/QoE en servicios VVoIP OTT en red LTE/IMS.....                         | - 76 -        |
| 4.5      | MEDICIONES OBTENIDAS DE LAS PRUEBAS DE CONCEPTO .....  | - 76 -        |
| 4.5.1    | Mediciones de QoS .....  | - 77 -        |
| 4.5.2    | Mediciones de QoE .....  | - 79 -        |
| 4.6      | FINES DOCENTES DEL TRABAJO DE TÍTULO .....   | - 83 -        |
| 4.7      | DOCUMENTACIÓN ENTREGADA .....  | - 83 -        |
| <b>5</b> | <b>CAPÍTULO 5 DISCUSIÓN .....</b>  | <b>- 85 -</b> |
| 5.1      | ACERCA DE LOS SERVICIOS IMPLEMENTADOS.....   | - 85 -        |
| 5.2      | ACERCA DE LAS REDES IMPLEMENTADAS .....  | - 85 -        |
| 5.2.1    | Acerca de la implementación entre IMS y LTE.....   | - 86 -        |
| 5.3      | ACERCA DE LAS HERRAMIENTAS.....  | - 86 -        |
| 5.3.1    | Herramientas de medición.....  | - 86 -        |
| 5.3.2    | Herramienta de control de la interfaz de red .....   | - 87 -        |
| 5.4      | ACERCA DE LAS PRUEBAS DE CONCEPTO .....  | - 87 -        |
| 5.5      | ACERCA DE LAS MEDICIONES E INDICADORES USADOS .....  | - 88 -        |
| 5.6      | ACERCA DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA.....  | - 88 -        |
| 5.7      | ACERCA DE LOS CASOS DE DESINCRONIZACIÓN .....  | - 88 -        |
| <b>6</b> | <b>CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES .....</b>   | <b>- 90 -</b> |
| <b>7</b> | <b>CAPÍTULO 7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>   | <b>- 93 -</b> |
| <b>8</b> | <b>ANEXOS .....</b>  | <b>- 96 -</b> |
| 8.1      | ANEXO A: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS ARQUITECTURAS USADAS .....   | - 96 -        |
| 8.1.1    | A-1. Protocolos principales de IMS y Asterisk .....  | - 96 -        |
| 8.1.2    | A-2. Características Generales de LTE [6] .....  | - 98 -        |
| 8.2      | ANEXO B: GUÍA DE IMPLEMENTACIÓN DE LOS SERVICIOS.....  | - 101 -       |
| 8.2.1    | B-1. Guía de instalación de IMS OpenSource en una Máquina Virtual con Debian.....                              | - 101 -       |
| 8.2.2    | B-2. Guía de instalación de Asterisk Elastix en una máquina virtual [36].....                                  | - 119 -       |
| 8.2.3    | B-3. Guía de Configuración de VLC Media Player para VideoStreaming .....                                       | - 124 -       |
| 8.3      | ANEXO C: GUÍA PARA LAS PRUEBAS DE CONCEPTO .....   | - 127 -       |
| 8.3.1    | C-1. Condiciones de Medición .....   | - 127 -       |
| 8.3.2    | C-2. Prueba de Concepto 1: Medición de parámetros de QoS de la red .....                                       | - 131 -       |
| 8.3.3    | C-3. Prueba de Concepto 2: Medición de MOS en servicios VoIP.....  | - 133 -       |
| 8.3.4    | C-4. Prueba de Concepto 3: Medición de MOS en Servicios de Video.....  | - 136 -       |

|       |   |         |
|-------|---|---------|
| 8.3.5 | C-5. Prueba de Concepto 4: Medición de VQM y PSNR en servicios de Video con MSU Video Quality Measurement Tool..... | - 139 - |
| 8.3.6 | C-6. Prueba de Concepto 5: Mediciones de QoS/QoE en servicios VVoIP OTT en red LTE/IMS.....                         | - 140 - |
| 8.4   | ANEXO D: CARACTERÍSTICAS DE LOS SERVICIOS SKYPE Y YOUTUBE.....  | - 141 - |
| 8.4.1 | D-1. Servicio OTT de video: Youtube [21].....   | - 141 - |
| 8.4.2 | D-2. Servicio OTT de Voz: Skype [20] .....  | - 143 - |

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|   |         |
|---|---------|
| ILUSTRACIÓN 1: DIAGRAMA DE LATENCIA EN VoIP .....                                 | - 7 -   |
| ILUSTRACIÓN 2: VALORES DE LATENCIA PARA ALTA CALIDAD EN VoIP .....                | - 8 -   |
| ILUSTRACIÓN 3: JITTER CAUSADO POR CONGESTIÓN.....                                 | - 8 -   |
| ILUSTRACIÓN 4: MANEJO DEL DE-JITTER .....   | - 9 -   |
| ILUSTRACIÓN 5: MANEJO DE JITTER EXCESIVO .....                                    | - 9 -   |
| ILUSTRACIÓN 6: ESTIMACIÓN DEL JITTER.....   | - 10 -  |
| ILUSTRACIÓN 7: DETALLE DEL ENLACE EPC-EUTRAN .....                                | - 17 -  |
| ILUSTRACIÓN 8: ARQUITECTURA EUTRAN.....   | - 17 -  |
| ILUSTRACIÓN 9: ELEMENTOS DE RED EPS .....   | - 18 -  |
| ILUSTRACIÓN 10: LTE EN LA FCFM .....  | - 19 -  |
| ILUSTRACIÓN 11: DIAGRAMA DE RED DE LTE EN LA FCFM.....                            | - 20 -  |
| ILUSTRACIÓN 12: ARQUITECTURA IMS .....  | - 23 -  |
| ILUSTRACIÓN 13: NÚCLEO DE LA ARQUITECTURA IMS: INTERFACES Y COMPONENTES .....     | - 24 -  |
| ILUSTRACIÓN 14: PROYECTO IMS OPENSOURCE .....                                     | - 25 -  |
| ILUSTRACIÓN 15: POLOS DE LA CALIDAD DE SERVICIO .....                             | - 30 -  |
| ILUSTRACIÓN 16: PROCESO DE ESTIMACIÓN DE QoE EXTREMO-EXTREMO.....                 | - 31 -  |
| ILUSTRACIÓN 17: FUNCIÓN DE SENSIBILIDAD HUMANA AL CONTRASTE ESPACIO-TEMPORAL .... | - 36 -  |
| ILUSTRACIÓN 18: INTERCONEXIÓN TEÓRICA LTE-IMS .....                               | - 46 -  |
| ILUSTRACIÓN 19: DIAGRAMA DE RED DE IMS Y CLIENTE SIP .....                        | - 47 -  |
| ILUSTRACIÓN 20: CONFIGURACIÓN IP DE IMS Y CLIENTES EN RED LAN .....               | - 49 -  |
| ILUSTRACIÓN 21: CONFIGURACIÓN IP DE IMS Y CLIENTES EN RED LTE .....               | - 50 -  |
| ILUSTRACIÓN 22: ASTERISK Y CLIENTES EN RED LAN/IMS .....                          | - 51 -  |
| ILUSTRACIÓN 23: ASTERISK Y CLIENTES EN RED LTE/IMS .....                          | - 52 -  |
| ILUSTRACIÓN 24: VIDEOSTREAMING Y CLIENTE EN RED LAN/IMS.....                      | - 53 -  |
| ILUSTRACIÓN 25: SERVIDOR DE VIDEOSTREAMING Y CLIENTE EN RED LTE/IMS .....         | - 54 -  |
| ILUSTRACIÓN 26: SERVICIOS OTT Y CLIENTES INTEGRADOS EN RED LAN/IMS .....          | - 55 -  |
| ILUSTRACIÓN 27: SERVICIOS OTT Y CLIENTES INTEGRADOS A RED LTE IMS.....            | - 55 -  |
| ILUSTRACIÓN 28: EJEMPLO DE USO DE NEWT .....                                      | - 57 -  |
| ILUSTRACIÓN 29: EJEMPLO DE USO DE JPERF EN RED LAN.....                           | - 58 -  |
| ILUSTRACIÓN 30: EJEMPLO DE MONITOREO DE VoIP CON VQMANAGER.....                   | - 60 -  |
| ILUSTRACIÓN 31: EJEMPLO DE CAPTURA Y MEDICIÓN ONLINE DE MOS CON VQM.....          | - 61 -  |
| ILUSTRACIÓN 32: PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE MOS OFFLINE CON PESQ.....           | - 62 -  |
| ILUSTRACIÓN 33: PROCEDIMIENTO DE USO DE MSU VQMT [18] .....                       | - 63 -  |
| ILUSTRACIÓN 34: RED LAN REAL IMPLEMENTADA .....                                   | - 69 -  |
| ILUSTRACIÓN 35: RED LTE REAL IMPLEMENTADA .....                                   | - 71 -  |
| ILUSTRACIÓN 36: VIRTUALBOX MANAGER.....   | - 102 - |
| ILUSTRACIÓN 37: VIRTUALBOX FUNCIONANDO .....                                      | - 102 - |
| ILUSTRACIÓN 38: CREACIÓN DE UNA MÁQUINA VIRTUAL.....                              | - 103 - |
| ILUSTRACIÓN 39: ELECCIÓN DE MEMORIA BASE DE LA NUEVA MÁQUINA .....                | - 103 - |
| ILUSTRACIÓN 40: ELECCIÓN DEL DISCO DURO DE LA NUEVA MÁQUINA .....                 | - 104 - |
| ILUSTRACIÓN 41: ELECCIÓN DEL TAMAÑO DE DISCO DURO DE LA NUEVA MÁQUINA .....       | - 104 - |
| ILUSTRACIÓN 42: MÁQUINA VIRTUAL CREADA.....                                       | - 105 - |
| ILUSTRACIÓN 43: SELECCIÓN DE LA IMAGEN DE DEBIAN EN LA MÁQUINA VIRTUAL.....       | - 105 - |
| ILUSTRACIÓN 44: SELECCIÓN DE ATRIBUTOS DE LA CONEXIÓN DE RED DE LA MÁQUINA .....  | - 106 - |
| ILUSTRACIÓN 45: DIÁLOGO INICIAL DE INSTALACIÓN DE DEBIAN 6.0 .....                | - 106 - |
| ILUSTRACIÓN 46: SELECCIÓN DEL NOMBRE DE LA MÁQUINA DEBIAN .....                   | - 107 - |

|  |         |
|--|---------|
| ILUSTRACIÓN 47: PARTICIONADO DE DISCOS MANUAL .....  | - 108 - |
| ILUSTRACIÓN 48: CONFIGURACIÓN DE LA PARTICIÓN.....   | - 108 - |
| ILUSTRACIÓN 49: CONFIGURACIÓN FINAL DE LA PARTICIÓN .....  | - 109 - |
| ILUSTRACIÓN 50: COMPONENTES DE IMS CORRIENDO .....   | - 115 - |
| ILUSTRACIÓN 51: CONFIGURACIÓN DEL CLIENTE ALICE EN MERCURO .....                                       | - 118 - |
| ILUSTRACIÓN 52: CONFIGURACIÓN DE RED EN MERCURO .....  | - 118 - |
| ILUSTRACIÓN 53: INICIO DE LA INSTALACIÓN DE ASTERISK ELASTIX EN UNA VM.....                            | - 120 - |
| ILUSTRACIÓN 54: CONFIGURANDO LOS PAQUETES DE LA INSTALACIÓN DE ELASTIX.....                            | - 121 - |
| ILUSTRACIÓN 55: CONFIGURACIÓN DE RED DE ELASTIX.....   | - 121 - |
| ILUSTRACIÓN 56: CONFIGURACIÓN DE LA INTERFAZ DE RED .....  | - 122 - |
| ILUSTRACIÓN 57: PANTALLA DE BIENVENIDA DE LA INTERFAZ WEB DE ELASTIX .....                             | - 122 - |
| ILUSTRACIÓN 58: INTERFAZ WEB DE ELASTIX .....  | - 123 - |
| ILUSTRACIÓN 59: CREACIÓN DE UNA EXTENSIÓN EN ELASTIX.....  | - 123 - |
| ILUSTRACIÓN 60: CREACIÓN DE UNA EXTENSIÓN SIP.....   | - 123 - |
| ILUSTRACIÓN 61: APLICAR CAMBIOS .....  | - 124 - |
| ILUSTRACIÓN 62: CONFIGURACIÓN DE VLC PARA REALIZAR STREAMING.....                                      | - 124 - |
| ILUSTRACIÓN 63: CUADRO DE CONFIGURACIÓN DE STREAMING EN VLC .....                                      | - 125 - |
| ILUSTRACIÓN 64: EMISIÓN EN CURSO CON VLC MEDIA PLAYER .....  | - 126 - |
| ILUSTRACIÓN 65: CAPTURA DE LA EMISIÓN EN CURSO DESDE UN CLIENTE .....                                  | - 126 - |
| ILUSTRACIÓN 66: RESUMEN DE HERRAMIENTAS Y SERVIDORES .....   | - 128 - |
| ILUSTRACIÓN 67: CONFIGURACIÓN DE UN FILTRO EN NEWT .....   | - 129 - |
| ILUSTRACIÓN 68: INTERFAZ DE USUARIO DE NEWT .....  | - 129 - |
| ILUSTRACIÓN 69: CONFIGURACIÓN FINAL DE NEWT .....  | - 130 - |
| ILUSTRACIÓN 70: TEST DE VELOCIDAD .....  | - 131 - |
| ILUSTRACIÓN 71: CONFIGURACIÓN DEL CLIENTE JPERF .....  | - 132 - |
| ILUSTRACIÓN 72: CONFIGURACIÓN DEL SERVIDOR JPERF .....   | - 132 - |
| ILUSTRACIÓN 73: MUESTRA DE RESULTADO DE JPERF .....  | - 133 - |
| ILUSTRACIÓN 74: EJEMPLO DE RESULTADO DE UN PING.....   | - 133 - |
| ILUSTRACIÓN 75: CONFIGURACIÓN RECOMENDADA EN UNA RED LAN PARA LA PRUEBA DE<br>CONCEPTO 2.....          | - 134 - |
| ILUSTRACIÓN 76: CONFIGURACIÓN DE RED LAN RECOMENDADA PARA EL CASO 2 DE LA PRUEBA DE<br>CONCEPTO 2..... | - 135 - |
| ILUSTRACIÓN 77: CONFIGURACIÓN RECOMENDADA PARA LA PRUEBA DE CONCEPTO 2, CASO 3-                        | 135 -   |
| ILUSTRACIÓN 78: EJEMPLO DE GRABACIÓN DE LLAMADAS EN SKYPE.....   | - 136 - |
| ILUSTRACIÓN 79: PROCEDIMIENTO PESQ CON SKYPE EN PRUEBA DE CONCEPTO 2.....                              | - 136 - |
| ILUSTRACIÓN 80: CONFIGURACIÓN DE RED RECOMENDADA PARA LA PRUEBA DE CONCEPTO 3, CASO<br>1 .....         | - 137 - |
| ILUSTRACIÓN 81: CONFIGURACIÓN RECOMENDADA PARA LA PRUEBA DE CONCEPTO 2, CASO 2-                        | 138 -   |
| ILUSTRACIÓN 82: PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA DE CONCEPTO 2, CASO 2 .....                                 | - 139 - |
| ILUSTRACIÓN 83: PROCEDIMIENTO PRUEBA DE CONCEPTO 4, CASO 1 .....                                       | - 140 - |
| ILUSTRACIÓN 84: CONFIGURACIÓN DE RED RECOMENDADA PRUEBA DE CONCEPTO 5 .....                            | - 141 - |

# ÍNDICE DE TABLAS

|   |         |
|---|---------|
| TABLA 1: ADJUDICACIÓN DE BLOQUES DE BANDA DE FRECUENCIA 2,6 (GHZ) [1] ..... | - 1 -   |
| TABLA 2: FACTOR DE DETERIORO SEGÚN <i>CODEC</i> .....                       | - 10 -  |
| TABLA 3: EQUIPAMIENTO LTE INSTALADO EN LA FCFM .....                        | - 20 -  |
| TABLA 4: ENTORNO DE PRUEBAS LABORATORIO LTE .....                           | - 21 -  |
| TABLA 5: VALORES DE MOS .....   | - 32 -  |
| TABLA 6: CONVERSIÓN DE ESCALAS DE MOS .....                                 | - 33 -  |
| TABLA 7: COMPORTAMIENTO DE LOS <i>CODECS</i> DE AUDIO .....                 | - 33 -  |
| TABLA 8: CARACTERÍSTICAS DEL MÓDEM USB LTE [22] .....                       | - 41 -  |
| TABLA 9: IMPLEMENTACIÓN DE IMS Y CLIENTE EN LAN .....                       | - 48 -  |
| TABLA 10: IMPLEMENTACIÓN DE IMS Y CLIENTES EN LTE .....                     | - 49 -  |
| TABLA 11: IMPLEMENTACIÓN DE ASTERISK Y CLIENTES EN LAN .....                | - 51 -  |
| TABLA 12: IMPLEMENTACIÓN DE ASTERISK Y CLIENTES EN RED LTE .....            | - 51 -  |
| TABLA 13: SERVIDOR DE VIDEOSTREAMING Y CLIENTE EN RED LAN/IMS .....         | - 52 -  |
| TABLA 14: SERVIDOR DE VIDEOSTREAMING Y CLIENTE EN RED LTE/IMS .....         | - 53 -  |
| TABLA 15: CONDICIONES DE RED CONGESTIONADA .....                            | - 64 -  |
| TABLA 16: MÁQUINAS EN LA RED LAN .....                                      | - 69 -  |
| TABLA 17: MÁQUINAS EN LA RED LTE .....                                      | - 70 -  |
| TABLA 18: THROUGHPUT MEDIDO EN LAN .....                                    | - 77 -  |
| TABLA 19: LATENCIA EN RED LAN .....   | - 77 -  |
| TABLA 20: JITTER EN LA RED LAN .....  | - 77 -  |
| TABLA 21: PÉRDIDA DE PAQUETES EN LAN .....                                  | - 77 -  |
| TABLA 22: THROUGHPUT EN RED LTE .....                                       | - 78 -  |
| TABLA 23: LATENCIA EN RED LTE .....   | - 78 -  |
| TABLA 24: JITTER EN LTE .....   | - 79 -  |
| TABLA 25: PÉRDIDA DE PAQUETES EN LTE .....                                  | - 79 -  |
| TABLA 26: CONDICIONES DE CONGESTIÓN ESCOGIDAS .....                         | - 79 -  |
| TABLA 27: MOS EN VOIP EN RED LAN CON VQMANAGER .....                        | - 80 -  |
| TABLA 28: MOS EN VOIP EN RED LAN CON ALGORITMO PESQ .....                   | - 80 -  |
| TABLA 29: MOS EN VOIP EN RED LTE CON VQMANAGER .....                        | - 80 -  |
| TABLA 30: MOS EN VOIP EN RED LTE CON ALGORITMO PESQ .....                   | - 81 -  |
| TABLA 31: MOS EN LÍNEA DE VIDEO EN VIDEOSTREAMING EN RED LAN CON VQM .....  | - 81 -  |
| TABLA 32: MOS FUERA DE LÍNEA EN VIDEOSTREAMING CON VQM EN RED LAN .....     | - 81 -  |
| TABLA 33: MOS EN LÍNEA DE VIDEO STREAMING EN RED LTE CON VQM .....          | - 82 -  |
| TABLA 34: MOS FUERA DE LÍNEA EN VIDEOSTREAMING CON VQM EN RED LTE .....     | - 82 -  |
| TABLA 35: VQM/PSNR EN VIDEOSTREAMING EN RED LAN .....                       | - 82 -  |
| TABLA 36: VQM/PSNR EN VIDEOSTREAMING EN RED LTE .....                       | - 82 -  |
| TABLA 37: CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DE LTE .....                          | - 99 -  |
| TABLA 38: COMPARACIÓN ENTRE LTE Y LTE-ADVANCED .....                        | - 100 - |
| TABLA 39: COMPARACIÓN DE LAS CALIDADES DE VIDEOS DE YOUTUBE .....           | - 143 - |

# ACRÓNIMOS

|          |  |
|----------|--|
| 4G       | 4th Generation of Mobile Systems                   |
| 3GPP     | Third Generation Partnership Project               |
| ADSL     | Asymmetric Digital Subscriber Line                 |
| AS       | Access Stratum o Application Server                |
| AVI      | Audio Video Interleave                             |
| BBU      | Base-Band Unit                                     |
| BGCF     | Breakout Gateway Control Function                  |
| BTS      | Base Transceiver Station                           |
| CN       | Core Network Servers                               |
| CQ       | Custom Queuing                                     |
| CS       | Circuit Switched                                   |
| CSCF     | Call Session Control Function                      |
| CSFB     | Circuit Switched Fall Back                         |
| DDoS     | Distributed Denial of Service Attack               |
| DIE      | Departamento de Ingeniería Eléctrica               |
| DIFFSERV | Differentiated Services                            |
| E-Node-B | Evolved Node B                                     |
| EPC      | Evolved Packet Core                                |
| EPS      | Evolved Packet System                              |
| E-UTRAN  | Evolved UTRAN                                      |
| ETSI     | European Telecommunication Standards Institute     |
| FO       | Fibra Óptica                                       |
| FCFM     | Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas         |
| FDD      | Frequency-Division Duplexing                       |
| FLV      | Flash Video  |
| FOKUS    | Fraunhofer Institute for Open Communication System |
| GBR      | Guaranteed Bit Rate                                |
| GGSN     | Gateway GPRS Support Node                          |
| GPRS     | General Packet Radio Service                       |
| GSM      | Global System for Mobile Communication             |
| HD       | High Definition                                    |
| HLR      | Home Location Register                             |
| HSPA     | High Speed Packet Access                           |
| HSS      | Home Subscriber Server                             |
| HTTP     | Hypertext Transfer Protocol                        |
| IMS-MGW  | IMS Media Gateway                                  |
| IMS      | IP Multimedia Subsystem                            |
| INIPUI   | IMS Network-Independent Public User Identities     |
| IP       | Internet Protocol                                  |
| IPTV     | Televisión vía IP                                  |

|        |  |
|--------|--|
| ITU-T  | International Telecommunication Union Sector Telecommunication |
| KPI    | Key Performance Indicator                                      |
| LAN    | Local Area Network   |
| LTE    | Long Term Evolution  |
| Mbps   | Megabits per second  |
| MGW    | Media Gateway  |
| MIMO   | Multiple Input and Multiple Output                             |
| MME    | Mobility Management Entity                                     |
| MOS    | Mean Opinion Score   |
| MP4    | MPEG-4 Part 14   |
| MPEG   | Moving Picture Experts Group                                   |
| MRFC   | Multimedia Resource Function Controller                        |
| MRFP   | Multimedia Resource Function Processor                         |
| MSCS   | Mobile Switching Centre Server                                 |
| OFDMA  | Orthogonal Frequency-Division Multiple Access                  |
| OMC    | Operation and Maintenance Center                               |
| OTT    | Over The Top Services  |
| PBX-IP | Private Branch Exchange IP                                     |
| PCRF   | Policy Control and Charging Rules Function                     |
| PDCP   | Packet Data Convergence Protocol                               |
| PDF    | Policy Decision Function                                       |
| PDN    | Packet Data Network  |
| PGW    | PDN Gateway  |
| PLC    | Packet Loss Concealment  |
| POTS   | Plain Old Telephony Services                                   |
| PQ     | Priority Queuing   |
| PQoS   | Perceived Quality of Service                                   |
| PS     | Packet Switched  |
| PSNR   | Peak Signal-to-Noise Ratio                                     |
| PSTN   | Public Switched Telephone Network                              |
| PTS    | Push To Show   |
| PTT    | Push To Talk   |
| QCI    | QoS Class Identifier   |
| QoE    | Calidad de Experiencia   |
| QoS    | Calidad de Servicio  |
| RNC    | Radio Network Controller                                       |
| RRU    | Remote Radio Unit  |
| RTP    | Real Time Protocol   |
| RTSP   | Real Time Streaming Protocol                                   |
| SGSN   | Serving GPRS Support Node                                      |
| SGW    | Serving Gateway  |
| SIM    | Suscriber Identity Module                                      |

|        |  |
|--------|--|
| SIP    | Session Initiation Protocol                |
| SIP    | Session Initiation Protocol                |
| SLA    | Service Level Agreement                    |
| SLF    | Subscription Locator Function              |
| SMS    | Short Message Services                     |
| TCP/IP | Transfer Control Protocol IP               |
| TDD    | Time-Division Duplexing                    |
| TDMA   | Time-Division Multiple Access              |
| T-SGW  | Trunking Signaling Gateway                 |
| UDP    | User Datagram Protocol                     |
| UMTS   | Universal Mobile Telecommunications System |
| USB    | Universal Serial Bus                       |
| USPP   | Universal Subscriber Profile Platform      |
| UTRAN  | UMTS Terrestrial Radio Access Network      |
| VLR    | Visitor Location Register                  |
| VMOS   | Video Mean Opinion Score                   |
| VoD    | Video on Demand                            |
| VoIP   | Voice Over IP                              |
| VoLTE  | Voice over LTE                             |
| VQEG   | Video Quality Experts Group                |
| VQM    | Video Quality Measurement                  |
| WFQ    | Weighted Fair Queuing                      |

# 1 CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

## 1.1 MOTIVACIÓN

El crecimiento de la capacidad de procesamiento de datos de los terminales móviles ha permitido la proliferación de aplicaciones multimedia intensivas en el uso de ancho de banda, como por ejemplo: streaming de video en alta definición (HD), multiconferencia y videoconferencias. Este enriquecimiento de los servicios ha permitido un aumento en el interés por parte de los usuarios móviles, generando un crecimiento de la demanda lo que, a su vez, impulsa a los operadores de dichas redes a que mejoren la infraestructura de sus redes, con el objetivo de dar capacidad ante este aumento de tráfico.

En paralelo, las redes móviles en Chile se encuentran en plena evolución hacia la cuarta generación (4G). Esta nueva generación, basada en un núcleo completamente *Packet Switched* (PS), posibilita a los operadores ofrecer los servicios anteriormente mencionados, gracias a: altas tasas de transmisión, bajo retardo y mayor capacidad de tráfico. Este paso hacia 4G está pensado gracias a la implementación de redes Long Term Evolution (LTE) considerada como una tecnología 3,95G (al no cumplir con los requisitos del estándar 4G). Con fecha 30 de Julio de 2012 se ha realizado la licitación de la banda de frecuencias de 2600 (MHz) para el uso por parte de los proveedores móviles: Claro (Bloque A), Entel (Bloque B) y Movistar (Bloque C), con el objeto de instalar redes LTE [1].

TABLA 1: ADJUDICACIÓN DE BLOQUES DE BANDA DE FRECUENCIA 2,6 (GHZ) [1]

| <b>Empresa</b> | <b>Bloque Adjudicado</b> | <b>Enlace de Subida<br/>(Uplink)</b> | <b>Enlace de Bajada<br/>(Downlink)</b> |
|----------------|--------------------------|--------------------------------------|--|
| Claro          | Bloque A                 | 2505-2525 (MHz)                      | 2625-2645 (MHz)                        |
| Entel          | Bloque B                 | 2525-2545 (MHz)                      | 2645-2665 (MHz)                        |
| Movistar       | Bloque C                 | 2545-2565 (MHz)                      | 2665-2685 (MHz)                        |

A pesar de estas claras ventajas, LTE no presenta compatibilidad con el dominio Circuit Switched (CS, conmutación de circuitos) lo que genera el desafío de encontrar soluciones alternativas al provisionamiento de voz y Short Message Services (SMS, servicios de mensajería corta) [2]. Esto pues actualmente ya existen operadores Over The Top (OTT) que permiten a un usuario conectado a internet comunicarse vía VoIP de la misma manera en que opera la telefonía tradicional, pero mediante un software (ejemplo: Skype) que, aparte de compartir mercado con los operadores tradicionales, cargan las redes del operador móvil con tráfico que no les genera ganancias. Para poder mantenerse vigentes en el mercado, los operadores móviles deben ofrecer alternativas VoIP junto con aplicaciones multimedia novedosas.

En esta necesidad es que el IP Multimedia Subsystem (IMS), legado de redes de Tercera Generación (3G), se potencia. Esta componente arquitectónica de una red móvil está pensada precisamente para el provisionamiento de aplicaciones y servicios multimedia sobre redes IP siendo compatible con redes LTE, ya que comparten entidades como por ejemplo la base de

datos de usuario y las políticas de control de recursos. Así, gracias a la combinación de LTE con IMS, los operadores pueden ofrecer servicios propios: Voz sobre LTE (VoLTE), SMS, etc, para poder competir con los servicios que están siendo ofrecidos fuera de sus redes mediante internet logrando mantenerse en una posición relevante en el mercado. Aún cuando la estandarización de LTE no impone el uso de IMS, se considera una alternativa válida para lograr VoLTE.

En este escenario de mejora tecnológica en la telefonía móvil, en que existe mucho conocimiento adquirido por parte de los operadores nacionales en conmutación de circuitos y no de paquetes, resulta necesario que el DIE la asimile y entregue herramientas docentes para la realización de cursos que orienten a los alumnos en un conocimiento de estos cambios y, a su vez, realice cursos de capacitación a los empleados de dichos operadores sirviendo de nexo entre el operador móvil y los proveedores de los equipos con los cuales modernizarán sus redes. En ese marco, la metodología de medición de QoS/QoE, y las pruebas de concepto que en este trabajo se indican, son clave.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

El objetivo general del trabajo de memoria es diseñar e implementar una metodología de medición de QoS y QoE en servicios OTT en una red LTE/IMS. Esto implica elegir los servicios en los cuales se mide, las redes en las cuales se montan, los indicadores relevantes y las herramientas con las que se cuenta.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Poner en marcha servicios de Voz sobre IP y VideoStreaming haciendo uso de elementos de red (como Asterisk y VLC Media Player) y aplicaciones OTT (como Skype y Youtube).
- Implementar una plataforma IMS OpenSource para el establecimiento de sesiones multimedia e interconectarla con dos tipos de redes: una red LAN a usar como prototipo de pruebas, y a una red móvil LTE.
- Diseñar una serie de pruebas de concepto que permitan medir el estado de una red y, en particular, la calidad percibida por un usuario de los servicios conectados a través de la misma.
- Generar 2 escenarios de red: óptima y congestionada. Tanto para la red LAN prototipo como para la red LTE. Esto, buscando verificar la correcta variación de los parámetros de QoE a medir.
- Estudiar la validez de cada prueba de concepto.
- Lograr Mediciones de calidad percibida (QoE) en servicios de Voz y video sobre IP (VVoIP).
- Lograr Mediciones de calidad percibida (QoE) en servicios over the top de Voz y video sobre IP.
- Generar guías de las metodologías de cada prueba de concepto que sirvan como material de estudio para cursos en el DIE.
- Generar documentación acerca de la instalación de cada uno de los servicios y herramientas a ser utilizadas en las pruebas de concepto.

### 1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las redes móviles 3G actuales permiten la convivencia de la conmutación de circuitos (voz) y la conmutación de paquetes (datos) en una misma tecnología (por ejemplo, HSPA y WCDMA). En redes como LTE, que son el paso a la cuarta generación de telefonía móvil, se elimina la conmutación de circuitos para los servicios de voz, ya que todo servicio se monta haciendo uso de la conmutación de paquetes. En este escenario, LTE logra una mejora sustancial en la rapidez de envío de datos (tanto en downlink como en uplink) gracias a la técnica de modulación OFDMA y al manejo de antenas MIMO; pero también logra reducir la latencia extremo-extremo gracias a la disminución de elementos de arquitectura con respecto a tecnologías anteriores (previas al Release 8 de la 3GPP). Sin embargo, no ofrece servicios de voz con circuito dedicado.

Aún cuando la red LTE no posee prestaciones de voz de manera nativa, es posible ofrecer dicho servicio a través de dos métodos: vía operación activa-dual del dispositivo de conexión, o por medio de Circuit Switched Fallback (CSFB). La desventaja del primero es el uso intensivo en la batería del dispositivo, puesto que debe operar en dos tecnologías móviles al mismo tiempo. Con respecto al segundo, se obliga al teléfono a operar sólo en LTE para cuando requiere servicios de datos y sólo en la red UMTS cuando se quiere servicio de voz, produciéndose así el problema del fin automático de la llamada, en caso que se quiera usar servicios de datos y viceversa.

Existe una tercera opción: instalar una plataforma de control de señalización IMS (IP Multimedia Subsystem), la cual integra parte de la arquitectura de una red 3G al *core network* (CN) de la red LTE, permitiendo no sólo servicios de voz sobre una red de datos sino que también servicios de video (video streaming, Video on Demand, IPTV), gaming online, y muchos otros contenidos multimedia. La idea consiste en que IMS sea el encargado de iniciar las sesiones a través de los servidores *Session Initiation Protocol* (SIP), cuando arriba la petición de un usuario y, una vez establecida dicha sesión, IMS delega las funciones de transporte de la información vía protocolo UDP y RTP/RTSP a la red LTE.

El problema de esta última solución es que se da un servicio *best effort*, pues es una red IP, lo que genera pérdida de la calidad en el servicio de voz, ya que no existen canales de información designados sino que, por el contrario, la información de voz (multimedia en general) es paquetizada y luego distribuida a los nodos de la red. Esto mismo sucede con los servicios multimedia que se quieran ofrecer al cliente sobre una opción LTE/IMS. En este escenario, es posible hacer uso de parámetros de calidad de servicio (QoS) en la red LTE de tal modo que se prioriza un determinado protocolo (de voz o video) por sobre otros, a pesar de la carga de la red con la consecuente mejora en la provisión del recurso al usuario final.

Se pone de manifiesto la importancia de saber si estos mecanismos de calidad de servicio son efectivos para todos los servicios multimedia implementados en una red móvil que evoluciona hacia 4G y su efectividad ante la carga de la red y el uso del cliente.

Además de esto, tienen incorporada en su arquitectura y funcionamiento esquemas de manejo de QoS y políticas de control de recursos de red, permitiendo asegurar el ofrecimiento de los nuevos servicios de manera ininterrumpida. Así, se ve indispensable el estudio del impacto de estos mecanismos para priorizar tráfico aplicados a la provisión garantizada de servicios de video y voz

que respeten el acuerdo de nivel de servicio (SLA) que ha sido ofrecido por el proveedor a sus clientes en sus planes comerciales.

## 1.4 HIPÓTESIS DEL TRABAJO Y METODOLOGÍA

La hipótesis de este trabajo es que se puede lograr la interconexión entre un IMS con características *Open Source* y un laboratorio LTE de la empresa ZTE, de tal manera que usuarios a través de un módem USB 2.0 LTE ZTE puedan registrarse en dicho IMS y logren establecer sesiones multimedia; específicamente de voz y video. Además, que se puede implementar un servidor de videos en el *core network* (CN) de dicho laboratorio para recibir solicitudes de *videostreaming* de clientes LTE.

La presente memoria de título busca conocer el real impacto en la calidad de experiencia de un usuario de Banda Ancha Móvil (BAM) que migre hacia tecnologías LTE y que haga uso de servicios multimedia de voz y video sobre IP (VVoIP) que no han podido ser ofrecidos en redes tradicionales. Para esto, se propone implementar un IMS *Open Source* en una red de área local (LAN) que sirva como prototipo de verificación para el correcto desempeño de los servicios, herramientas de medición y redes, así como también para tener un punto de comparación de los valores a ser logrados por la metodología en el caso LTE/IMS.

La metodología propuesta está compuesta por 5 pruebas de concepto, las cuales tienen por objetivo particular medir un indicador específico de calidad de acuerdo al servicio (voz o video) y a la manera de ser accedido (vía internet, o vía operador), las cuales deben ser verificadas a través de la evaluación de los indicadores en dos escenarios de tráfico: óptima, que consiste en no establecer más de una sesión multimedia en la red; y congestionada, la cual emula el comportamiento de una red cursando tráfico multimedia. Las cuatro primeras pruebas tiene como objetivo medir indicadores de calidad en la red LAN/IMS, y la quinta prueba busca medir los indicadores en la red LTE/IMS.

## 1.5 ALCANCES DEL TRABAJO

En el presente trabajo se estudia el desempeño de una red móvil LTE considerando, para todas las mediciones, buenas condiciones de radio; es decir, no se busca estudiar la movilidad del usuario a través de las celdas. Debido a que las redes implementadas son a nivel de laboratorio, no se estudia factores como la capacidad de las redes, ni la disponibilidad de los recursos. Así, los límites del trabajo de memoria se establecen en:

- Trabajar con la red LTE de pruebas implementada en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.
- La conexión a la red LTE se realiza vía un modem USB (dungle).
- Se trabaja sobre la plataforma IMS OpenSource del Instituto FOKUS Fraunhofer.
- Los teléfonos móviles se emulan vía software (softphone).
- Las mediciones de QoE son realizadas sólo mientras se provee el servicio, y no evalúan la manera en que estos son entregados.

## 1.6 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

Para una mejor comprensión del trabajo, se divide su presentación en 8 capítulos: El primero de ellos presenta al lector una breve introducción al problema planteado, las

motivaciones que dan sentido al trabajo, los objetivos (generales y específicos), y un resumen de la metodología a seguir con sus alcances e hipótesis.

En el capítulo II, se entregan los antecedentes de los temas relativos a esta memoria: los servicios OTT (en específico Skype y Youtube), servicios que actualmente son ofrecidos, definición e importancia de la calidad de servicio y de la percepción del usuario acerca del mismo (QoE) y, por último, arquitecturas de red LTE e IMS.

En el capítulo III, se establece la metodología seguida para la configuración e implementación de las pruebas de concepto, comenzando por el diseño de las redes en que se implementan (LAN y LTE/IMS), donde se enuncian los principios seguidos para su implementación; a continuación, el diseño de los servicios incluidos en las pruebas, estableciendo sus alcances y las consideraciones de cada a la implementación; y, por último, la metodología seguida para la medición de QoS y QoE en cada servicio.

El capítulo IV entrega los resultados obtenidos: las pruebas de concepto finales, las mediciones que se establecen en cada una de ellas, los fines docentes y la documentación generada. El capítulo V, muestra las discusiones en base a los resultados obtenidos en el capítulo IV y los objetivos planteados en el capítulo I. el capítulo VI establece las conclusiones y trabajos futuros sugeridos. Finalmente, el capítulo VII establece las Referencias Bibliográficas utilizadas para este trabajo y el capítulo VIII los anexos, divididos en Anexo A: Características generales de las arquitecturas usadas, Anexo B: Guía de implementación de los servicios, Anexo C: Guías para las pruebas de concepto y Anexo D: Características de Skype y Youtube.

## 2 CAPÍTULO II: ANTECEDENTES

En este capítulo se entregan los antecedentes de los temas relativos a esta memoria: servicios de video y voz sobre IP tradicionales y OTT, definición e importancia de la calidad de servicio y de la percepción del usuario acerca del mismo (QoE) junto a sus indicadores más empleados y, por último, arquitecturas de red LTE e IMS especificando la empleada en este trabajo.

### 2.1 SERVICIOS

Se realiza una descripción teórica acerca de los servicios a utilizar en este trabajo.

#### 2.1.1 SERVICIOS TRADICIONALES

##### 2.1.1.1 VOIP

A continuación se describe brevemente VoIP y sus principales características.

##### 2.1.1.1.1 DESCRIPCIÓN DE VOIP

Voz sobre Protocolo de Internet, también llamado VoIP, es un grupo de recursos que hacen posible que la señal de voz viaje a través de Internet empleando un protocolo IP (Protocolo de Internet). Esto significa que se envía la señal de voz en forma digital, en paquetes de datos, en lugar de enviarla en forma analógica a través de circuitos utilizables sólo por telefonía convencional como las redes PSTN (Public Switched Telephone Network).

El tráfico de Voz sobre IP puede circular por cualquier red IP, incluyendo aquellas conectadas a Internet, como por ejemplo las redes de área local (LAN).

Cabe hacer la distinción entre Voz sobre IP (VoIP) y Telefonía sobre IP: mientras VoIP es el conjunto de normas, dispositivos, protocolos, en definitiva la tecnología que permite comunicar voz sobre el protocolo IP, la Telefonía sobre IP es el servicio telefónico disponible al público, por tanto con numeración E.164, realizado con tecnología de VoIP.

##### 2.1.1.1.2 *Codecs* de voz

La voz debe ser codificada para poder transmitirla por la red IP. Para ello se hace uso de *codecs* que garanticen la codificación y compresión del audio o del video para su posterior decodificación y descompresión antes de poder generar un sonido o imagen utilizable en el otro extremo. El ancho de banda de la transmisión es fuertemente dependiente del *codec* usado y de la calidad de los datos transmitidos.

Entre los *codecs* utilizados en VoIP encontramos: iLBC, G.711, G.723.1 y el G.729 (especificados por la ITU-T). Estos *codecs* tienen este tamaño en su señalización (la cual difiere de la tasa de transmisión de datos):

- G.711: bit-rate de 56 ó 64 kbps.
- G.722: bit-rate de 48, 56 ó 64 kbps.
- G.723: bit-rate de 5.3 ó 6.4 kbps.
- G.728: bit-rate de 16 kbps.
- G.729: bit-rate de 8 ó 13 kbps.

#### 2.1.1.1.3 FACTORES QUE INCIDEN EN EL QoE

VoIP es sensible a muchos factores, entre ellos el comportamiento de tráfico en la red. Se enuncian a continuación los principales factores que inciden en la pérdida de calidad percibida.

##### 2.1.1.1.3.1 LATENCIA [3]

La latencia en VoIP se define como el tiempo que toma para la voz en salir desde la boca del emisor hasta alcanzar el oído del receptor. Existen 3 tipos de retardos en las redes telefónicas actuales (ver Ilustración 1): propagación, serialización y procesamiento (o manejo). El primero, es producto de las distancias que debe recorrer una señal vía luz, en el caso de redes de fibra óptica; o vía impulso eléctrico, en el caso de redes basadas en elementos de cobre. El segundo, corresponde al tiempo que efectivamente toma en ubicar un *bit/byte* al interior de una interfaz. El tercero, por último, define muchas causas de origen (paquetización, compresión y conmutación del paquete) y es originado en los dispositivos que realizan en envío de las tramas a través de la red.

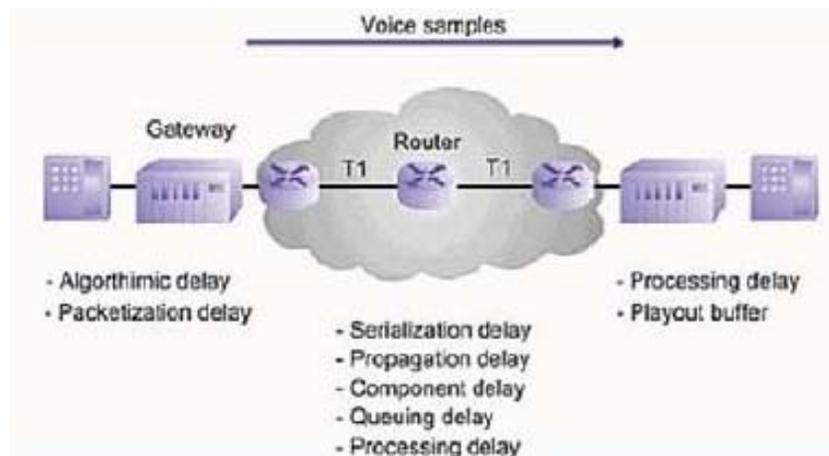


ILUSTRACIÓN 1: DIAGRAMA DE LATENCIA EN VOIP

Cuando los paquetes se encuentran en una cola debido a la congestión de la interfaz de salida, el resultado se conoce como *retardo de cola*, esto es originado cuando se envían paquetes por sobre la capacidad de procesamiento de la interfaz, en un determinado intervalo de tiempo. Otra fuente de retardos corresponde al retardo de la cola de salida.

La recomendación G.114 de la Unión Internacional de Telecomunicación sector T (ITU-T) especifica que para una buena calidad de voz se debe tener no más de 150 mS de retardo en una sola vía de manera extremo a extremo, como se muestra en la Ilustración 2.

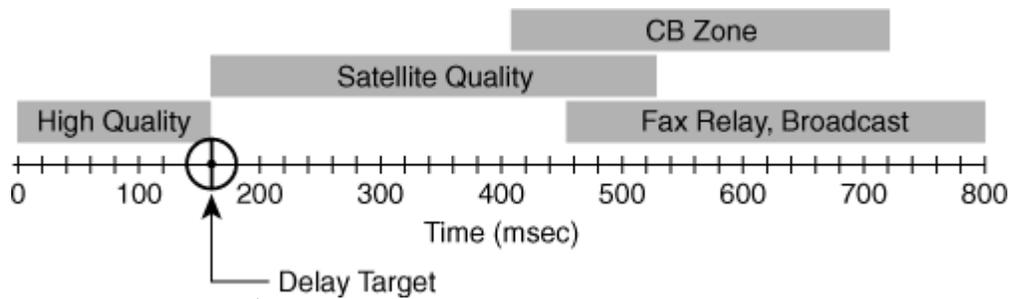


ILUSTRACIÓN 2: VALORES DE LATENCIA PARA ALTA CALIDAD EN VOIP

Como se muestra en la Ilustración 2, algunas vías de transmisión presentan mayores retardos, a pesar de ser aceptadas, debido a la no existencia de alternativas. En las transmisiones vía satélite, por ejemplo, toma aproximadamente 250 mS que ésta llegue al satélite, y otros 250 mS para que vuelva a la tierra. Aún cuando estos 500mS están fuera de la recomendación de la ITU-T, muchas conversaciones ocurren todos los días sobre enlaces satelitales. Así, la calidad de la voz se define usualmente como lo que los usuarios aceptan y usan.

En una red no monitoreada y congestionada, el retardo de cola suma incluso 2 segundos de retardos (o bien, termina en el paquete siendo eliminado). Este alto retardo es inaceptable en redes de voz.

#### 2.1.1.1.3.2 JITTER [4]

El *Jitter* es definido como una variación en el retardo de los paquetes recibidos. En el extremo emisor, los paquetes son enviados en un flujo continuo siendo espaciados de manera uniforme. Debido a eventos como la congestión de la red, encolamiento indebido, o errores de configuración, el tiempo transcurrido entre cada paquete puede variar en vez de permanecer constante. La Ilustración 3 muestra cómo esto ocurre.

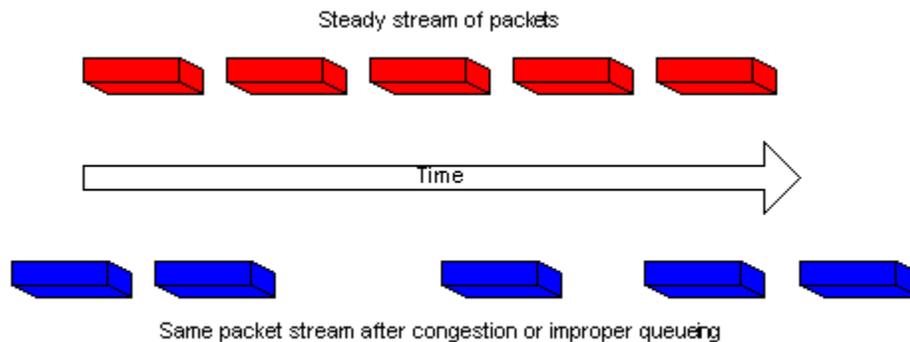
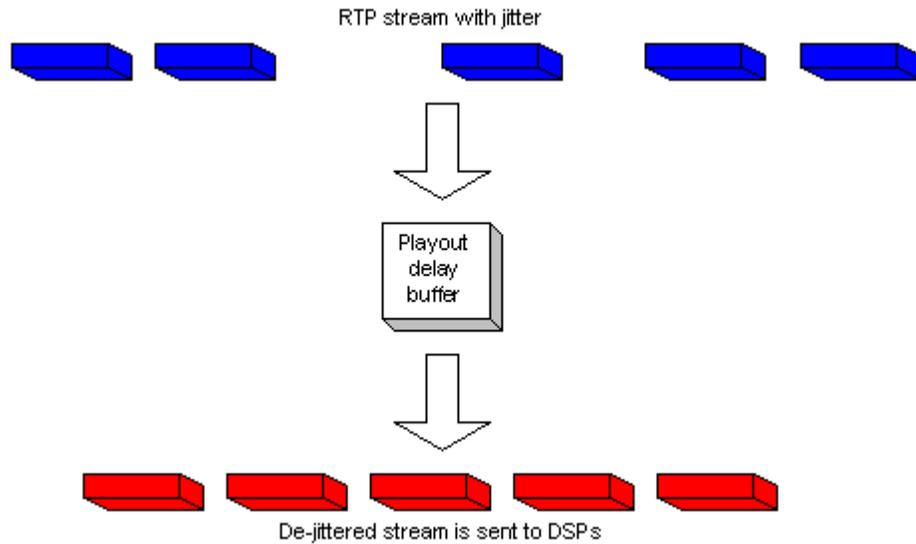


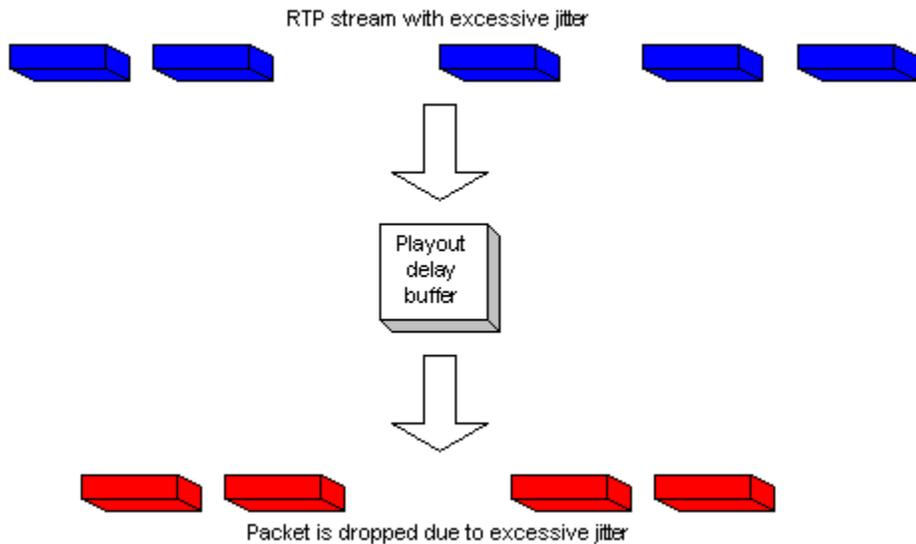
ILUSTRACIÓN 3: JITTER CAUSADO POR CONGESTIÓN

Cuando un router recibe un flujo de audio de VoIP vía *Real Time Protocol* (RTP), se debe compensar el *jitter*. El mecanismo que se encarga de esta función es el *buffer* de reproducción. Este *buffer* debe almacenar estos paquetes y luego reproducirlos en un flujo constante a los procesadores de señal digital (DSP) para volver a convertirlos en una secuencia de audio analógico. Este *buffer* también se refiere a veces como *de-jitter buffer*. La Ilustración 4 muestra cómo se maneja el *de-jitter*.



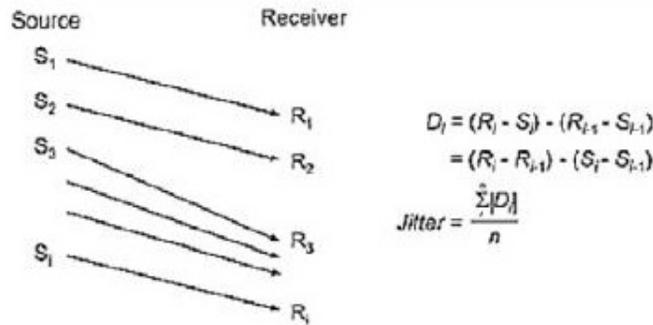
**ILUSTRACIÓN 4: MANEJO DEL DE-JITTER**

Si el *jitter* es tan grande que hace que los paquetes se reciban fuera del alcance de este buffer, se descartan, lo cual afecta al audio. Para pérdidas tan pequeñas, del orden de un paquete, el DSP realiza una interpolación del paquete extraviado resultando en que esta pérdida no alcanza a ser escuchada. Cuando el *jitter* excede lo que el DSP puede hacer para compensar los paquetes que faltan, los problemas son posibles de ser escuchados. La Ilustración 5 muestra como el *jitter* excesivo es manejado.



**ILUSTRACIÓN 5: MANEJO DE JITTER EXCESIVO**

Para calcular el *jitter* en un enlace, se determina el tiempo promedio que toma para  $n$  envíos efectivos de paquetes en llegar a destino, como se muestra en la Ilustración 6.



**ILUSTRACIÓN 6: ESTIMACIÓN DEL JITTER**

### 2.1.1.1.3.2.1 PÉRDIDA DE TRAMAS (*FRAMES LOST*)

Durante su recorrido por la red IP, las tramas que acarrean la información pueden perderse como resultado de una congestión de red o corrupción de datos. Además, para tráfico de tiempo real como la voz, la retransmisión de tramas perdidas en la capa de transporte no es práctico; esto pues ocasiona retardos adicionales. Por consiguiente, los terminales de voz tienen que reenviar las muestras de voz perdidas, también llamadas *Frame Erasures*. El efecto de las tramas perdidas en la calidad de voz depende de como los terminales gestionen las *Frame Erasures*.

En el caso más simple si se pierde una muestra de voz el terminal dejará un intervalo en el flujo de voz. Si muchas tramas se pierden, sonará grietos con silabas o palabras perdidas. Una posible estrategia de recuperación es reproducir las muestras de voz previas. Esto funciona bien si sólo pocas muestras son extraviadas. Para combatir mejor las ráfagas de errores, usualmente se emplean sistemas de interpolación. Basándose en muestras de voz previas, el decodificador predecirá las tramas perdidas. Esta técnica es conocida como Packet Loss Concealment (PLC).

La ITU-T G.113 apéndice I provee algunas líneas de guía de planificación provisional en el efecto de pérdida de tramas sobre la calidad de voz. El impacto es medido por  $I_e$ , el factor de deterioro. Este es un número en el cual 0 significa no deterioro. El valor más grande de  $I_e$  significa deterioro más severo. La Tabla 2 fue obtenida de la G.113 apéndice I y muestra el impacto de las tramas perdidas en el factor  $I_e$ .

**TABLA 2: FACTOR DE DETERIORO SEGÚN CODEC**

| Referencia          | Velocidad de Funcionamiento<br>(kbps) | $I_e$ |
|---------------------|---------------------------------------|-------|
| G.726 G.727         | 40                                    | 2     |
| G.721, G.726, G.727 | 32                                    | 7     |
| G.729               | 8                                     | 10    |
| IS-54               | 8                                     | 20    |
| GSM 06 10           | 13                                    | 20    |
| GSM 723.1           | 5.3-6.3                               | 19-15 |

#### 2.1.1.1.4 Calidad de servicio en VoIP

La calidad de este servicio es lograda bajo los siguientes criterios:

- La supresión de silencios, otorga más eficiencia a la hora de realizar una transmisión de voz, ya que se aprovecha mejor el ancho de banda al transmitir menos información.
- La implantación de IPv6, que proporciona mayor espacio de direccionamiento y la posibilidad de tunneling.
- Compresión de cabeceras aplicando los estándares RTP/RTCP.
- Priorización de los paquetes que requieran menor latencia. Las tendencias actuales son:
  - Custom Queuing (CQ): Asigna un porcentaje del ancho de banda disponible.
  - Priority Queuing (PQ): Establece prioridad en las colas.
  - Weighted Fair Queuing (WFQ): Se asigna la prioridad al tráfico de menos carga.
  - DiffServ: Evita tablas de encaminados intermedios y establece decisiones de rutas por paquete.

#### 2.1.1.2 STREAMING MULTIMEDIA

El *streaming* es la distribución de multimedia a través de una red de computadoras de manera que el usuario consume el producto al mismo tiempo que se descarga. La palabra *streaming* se refiere a un envío sin interrupción. Este tipo de tecnología funciona mediante un búfer de datos que va almacenando lo que se va descargando para luego mostrarse al usuario. Esto se contrapone al mecanismo de descarga de archivos, que requiere que el usuario descargue los archivos por completo para poder acceder a ellos.

El *streaming* requiere una conexión por lo menos de igual ancho de banda que la tasa de transmisión del servicio, a tal punto que comenzó a ser popular sólo a fines de la década de 2000, cuando el ancho de banda se hizo lo suficientemente barato para gran parte de la población.

La entrega de datos desde el servidor puede estar sujeta a demoras conocidas como *lag* (retraso), un fenómeno ocasionado cuando los datos escasean (debido a interrupciones en la conexión o sobrecarga en el ancho de banda). Por tanto, los reproductores multimedia precargan o almacenan en el búfer, los datos que van recibiendo para así disponer de una reserva de datos y evitar que la reproducción se detenga. En el caso específico de su uso en redes, si un determinado contenido comienza a atraer una cantidad de usuarios mayor a su capacidad de ancho de banda, estos usuarios sufrirán *lag*. Finalmente, se llega a un punto en que la calidad del *stream* es pésima.

##### 2.1.1.2.1 PROTOCOLOS COMUNES EN STREAMING

En cuanto a los protocolos más usados para realizar *streaming* se encuentran RTP y RTSP ; el primero, sobre UDP y el segundo sobre TCP, siendo éste el más usado. Ambos hacen que las entregas de paquetes de datos desde el servidor a quien reproduce el archivo se hagan con una velocidad mucho mayor que la que se obtiene por TCP y HTTP. Esta eficiencia es alcanzada por una modalidad que favorece el flujo continuo de paquetes de datos. Cuando TCP y HTTP sufren un error de transmisión, siguen intentando transmitir los paquetes de datos perdidos

hasta conseguir una confirmación de que la información llegó en su totalidad. Sin embargo, UDP continúa mandando los datos sin tomar en cuenta interrupciones, ya que en una aplicación multimedia estas pérdidas son casi imperceptibles.

### 2.1.2 SERVICIOS OTT [5]

Un servicio *Over the top* (OTT) se refiere a los servicios de video, television y voz y otros que son provistos sobre internet en vez de la vía tradicional de la red de datos de un proveedor de servicios. OTT es entregada directamente desde un *provider* a un *viewer* usando una conexión abierta de Internet banda-ancha, independiente del ISP del *viewer*, sin la necesidad de mantener negociaciones y sin gastos en infraestructura de parte del *provider*. Esto es un *best effort*, un método sin manejo de la entrega de contenido vía internet por parte del *provider*, los que son principalmente *broadcasters* en vez de ISPs.

OTT abre completamente una nueva forma para que los operadores generen ganancias desde el video on demand, TV y aplicaciones interactivas. La más clara de las oportunidades son para los distribuidores de la televisión tradicional. Con marcas establecidas, relaciones fuertes y la confianza de los consumidores, estarán perfectamente ubicados para ofrecer un servicio que integra la televisión online y tradicional a través de un sólo dispositivo manejado por un sólo operador.

Juega un rol importante permitiendo a los consumidores acceder a sus servicios pagados en la manera en que ellos quieran, lo que agrega valor a las suscripciones de televisión pagadas. Como norma general, los consumidores disfrutan del contenido a cualquier hora y en cualquier lugar a través de un amplio rango de equipos, incluyendo teléfonos celulares, iPads, consolas de videojuegos o televisores conectados ; todos conectados a un *gateway* central.

#### 2.1.2.1 SKYPE [20]

Skype es un software que permite comunicaciones de texto, voz y vídeo sobre Internet (VoIP). El código y protocolo de Skype permanecen cerrados y propietarios. Los usuarios de Skype pueden hablar entre ellos gratuitamente. Tiene la finalidad de conectar a los usuarios vía texto (mensajería instantánea), voz (VoIP) o vídeo. Una de sus fortalezas es la comunicación gratuita por voz entre usuarios de Skype de cualquier punto del mundo. También realiza llamadas especiales, aunque pagadas a muy bajo coste, entre ordenador y red fija o móvil.

Se puede utilizar de las siguientes formas:

- Comunicación gratuita por texto, voz o vídeo entre dos usuarios de Skype con computadores personales conectados a Internet. Requiere registro y aceptación de las condiciones del servicio, sin coste.
- Comunicación grupal o conferencia de voz gratuita (videoconferencia grupal es de pago) entre varios usuarios de Skype, todos ellos con PC conectados a Internet. Requiere registro sin coste.

- Generación de llamadas de voz a bajo coste desde un usuario de Skype con PC conectado a Internet, hacia teléfonos de red fija o móvil. Requiere contrato de pago, mensual o anual.
- Comunicación y envío de datos a bajo coste (texto y gráficos) desde un usuario de Skype con PC conectado a Internet hacia equipos de fax (u ordenadores con software de fax) conectados a redes de telefonía fija. Requiere contrato de pago.
- Llamadas de voz a tarifa de llamada local desde teléfonos de red fija o móvil al número telefónico de un usuario abonado a Skype con PC conectado a Internet. Si el usuario receptor no está disponible, Skype ofrece un servicio de contestador automático. Requiere contrato de pago por parte del receptor. Las llamadas generadas desde teléfonos móviles pagan las tarifas locales del servicio celular.
- Comunicación y envío de datos a tarifa de llamada local desde equipos de fax conectados a redes de telefonía fija hacia un abonado de Skype con PC conectado a Internet. Requiere contrato de pago por parte del receptor.
- Comunicación por desvío telefónico y de texto a bajo coste desde teléfonos de red fija o celular hacia un abonado de Skype con PC conectado a Internet. Requiere contrato de pago por parte del receptor.

#### 2.1.2.2 YOUTUBE [21]

YouTube es un sitio web en el cual los usuarios pueden subir y compartir vídeos. YouTube usa un reproductor en línea basado en Adobe Flash (aunque también puede ser un reproductor HTML, que incorporó YouTube poco después de que la W3C presentara y el que los Navegadores web mas importantes soportaran el estándar HTML5) para servir su contenido. Es muy popular gracias a la posibilidad de alojar vídeos personales de manera sencilla. Aloja una variedad de clips de películas, programas de televisión y vídeos musicales. A pesar de las reglas de YouTube contra subir vídeos con derechos de autor, este material existe en abundancia, como contenidos amateur (videoblogs). Los enlaces a vídeos de YouTube pueden ser también insertados en blogs y sitios electrónicos personales usando API o incrustando cierto código HTML. En Google Vídeo y otros sitios de vídeos hay quejas acerca de la calidad, siendo que los vídeos se pixelan (aparecen cuadros de color uniforme de mayor tamaño, en forma de mosaico), en gran medida debido al equilibrio entre calidad de imagen y velocidad de transmisión de datos en la red. Otro problema es que en bastantes clips, el audio y el vídeo no están sincronizados; aunque esto depende del formato del archivo original.

En el Anexo D de este trabajo se describe más detalladamente ambos ejemplos de servicios OTT.

## 2.2 LTE [6]

### 2.2.1 EVOLUCIÓN DE LAS REDES MÓVILES PREVIAS A LTE

La primera generación de celulares (1G) soportaba los conocidos Plain Old Telephony Services (POTS), la cual proveía al usuario final de voz con pocos servicios suplementarios relacionados. Con la aparición durante los años 1980s de la comunicación digital, nació la

oportunidad de desarrollar estándares y sistemas de una segunda generación de comunicación móvil basados en dicha tecnología.

Con la tecnología digital, llegó la oportunidad de aumentar la capacidad de los sistemas, de entregar una calidad de servicio más consistente, y desarrollar equipos realmente móviles y más atractivos visualmente.

En Europa, el proyecto de GSM (originalmente Groupe Spécial Mobile, más tarde Global System for Mobile Communications) nació con el objetivo de desarrollar un sistema móvil-telefónico Pan-Europeo, siendo iniciado a mediados de la década de los 80s por el European Telecommunication Standards Institute (ETSI). El estándar GSM se basó en Time-Division Multiple Access (TDMA).

Gracias a la segunda generación de telefonía móvil digital (2G), se dio la posibilidad de proveer servicios de dato sobre redes de comunicaciones móviles. Los primeros servicios de datos introducidos en 2G fueron los mensajes de texto Short Message Services (SMS) y servicios de dato por conmutación de circuito permitiendo el uso de E-mail y otras aplicaciones de datos, inicialmente a una modesta tasa de transferencia de 9.6 kbit/s. Velocidades mayores fueron introducidas en sistemas 2G evolucionados al asignar múltiples time-slots a un usuario y a través de esquemas de codificación modificados.

Los datos paquetizados en sistemas celulares se convirtieron en realidad durante la segunda mitad de la década de los 90s, con el General Packet Radio Services (GPRS) introducidos en GSM. Estas tecnologías comúnmente se conocen como 2.5G.

El desarrollo de 3G está hoy en día en manos de 3GPP, a pesar de que sus pasos iniciales se dieron cuando aún esta organización no estaba formada.

Lo que también creó el escenario para 3G fue la internacionalización de los estándares celulares. GSM, por ejemplo, fue un proyecto pan-Europeo, pero rápidamente atrajo interés mundial. Un estándar global tiene ventajas por la economía de escala, ya que el mercado de productos se vuelve más grande. Esto ha llevado a una cooperación más estrecha que en las generaciones anteriores.

## 2.2.2 ASPECTOS POTENCIALES DE LAS NUEVAS REDES MÓVILES

La rápida evolución de la tecnología utilizada en los sistemas de telecomunicaciones, electrónica y, específicamente, dispositivos móviles, ha sido sorprendente en los últimos 20 años. La ley de Moore lo ilustra e indica la evolución continua del rendimiento de los procesadores e incrementa el tamaño en memoria, a menudo combinado con la reducción de tamaño, consumo eléctrico y el costo de los equipos. Pantallas de alta-resolución y cámaras con sensores de megapíxeles también están disponibles en todos los tipos de equipos celulares. Combinadas con un *backbone* de Internet de alta velocidad, de la mano de una red base de fibra óptica, se ve que una gama de “technology enablers” están presentes en concordancia con los avances en la tecnología de las comunicaciones móviles como por ejemplo, LTE.

El rápido aumento en el uso de Internet para proveer de una gran cantidad de servicios desde los 90s comenzó cuando la adopción de 2G y 3G se estaba volviendo un uso masivo. El próximo paso natural era que dichos servicios basados en internet se desplazaran para ser ofrecidos también en servicios móviles, creando lo que se conoce hoy como banda ancha móvil. Ser capaz de soportar servicios basados en el mismo Internet Protocol (IP) en un dispositivo móvil que la gente usa en un ambiente de banda ancha fija en sus hogares es el mayor desafío y el primer conductor para la evolución hacia LTE. Aún cuando unos pocos servicios fueron implementados en 2.5G, no es hasta que los sistemas son diseñados para soportar servicios basados en IP para dispositivos móviles que la real evolución IP-móvil [7] puede despegar. Un interesante aspecto de la migración a servicios de banda ancha para dispositivos móviles es que un sabor móvil es añadido. La posición móvil, la movilidad y las capacidades de roaming crean un completo nuevo rango de servicios.

La telefonía fija, y las primeras generaciones móviles fueron hechas en base a la provision de servicios vía la conmutación de circuitos, principalmente voz. Los primeros servicios de datos vía GSM fueron provisionados de la misma manera, con la adición posterior de GPRS basada en paquetes. Esto también influenció el primer desarrollo de 3G, la cual fue basada en datos vía conmutación de circuitos, con conmutación de paquetes como complemento.

No es sino hasta la evolución de 3G hacia HSPA y luego a LTE/LTE-Advanced que los servicios vía conmutación de paquetes IP han sido el objetivo de diseño. Los antiguos servicios de conmutación de circuitos se mantienen, pero se proporcionarán sobre LTE, a través de IP como por ejemplo voz sobre IP (VoIP). IP es en sí mismo agnóstico al servicio y de esa manera habilita un rango de servicios con diferentes requerimientos.

Los parámetros de diseño principales, para una interfaz de radio que soporten una variedad de servicios son:

#### 2.2.2.1 TASA DE DATOS

Muchos servicios con bajas tasas de datos como los de voz son importantes y siguen ocupando una gran parte de la capacidad de una red móvil, pero son los servicios que requieren grandes tasas de datos los que manejan el diseño de la interfaz de radio. La siempre creciente demanda por altas tasas de datos para web browsing, streaming y transferencia de archivos empuja a las tasas de datos a su peak en un sistema móvil, desde kbit/s en 2G, y Mbit/s en 3G; en 4G se acerca bastante a Gbit/s.

#### 2.2.2.2 DELAY

Los servicios interactivos como juegos en tiempo real, y también web browsing y transferencia de archivos interactiva tienen requisitos de bajo *delay*, lo cual lo convierte en un objetivo principal de diseño. Sin embargo, hay muchas aplicaciones como el correo electrónico y

la television donde los requisitos de *delay* no son tan estrictos. El *delay* de un paquete enviado desde un servidor hacia un cliente junto a su regreso, se le conoce como latencia.

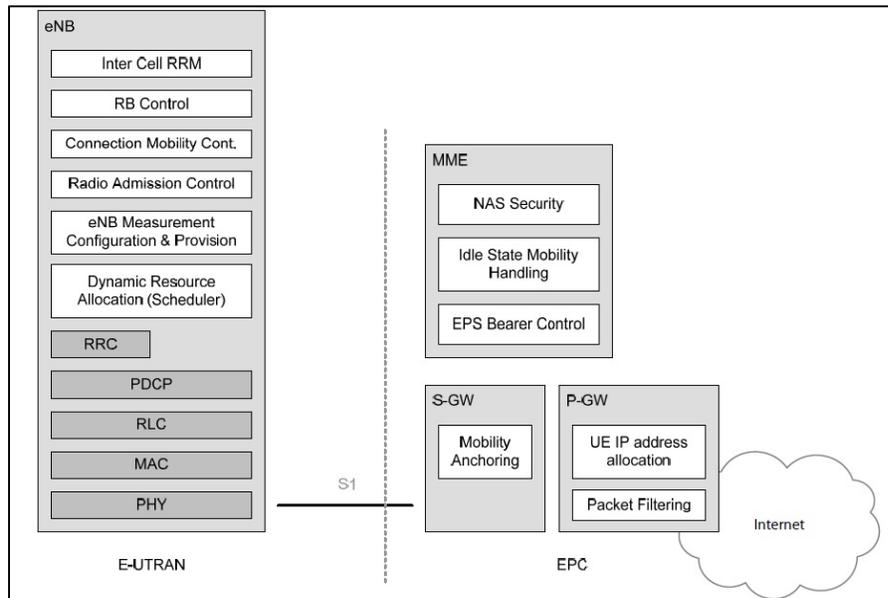
### 2.2.2.3 CAPACIDAD

Desde el punto de vista de un operador de un sistema móvil, no sólo es importante el *peak* en la tasa de envío de datos que se entrega al usuario final, sino que también la tasa total de transmisión que puede ser entregada (en promedio) en cada estación base, por herz del espectro disponible. Esta medida es llamada eficiencia espectral. En el caso de escasez de capacidad en un sistema móvil, la calidad de servicio (QoS) para cada usuario puede ser degradada.

En la evolución de la tecnología hacia 4G no sólo existe demanda por nuevos servicios y por altos *peaks* en las tasas de bits y en la capacidad del sistema, sino que también hay una demanda de recursos de espectro para expandir sistemas. Dicha demanda lleva a una mayor competencia entre un incrementado número de operadores móviles y entre alternativas tecnológicas para proveer servicios de banda ancha móvil. Con el mayor uso esperado de espectro para banda ancha móvil, existe una necesidad de operar los sistemas móviles en diferentes bandas de frecuencia, en las asignaciones de espectro de diferentes tamaños y también en el espectro fragmentado. Esto requiere alta flexibilidad del espectro con la posibilidad de un ancho de banda con canal variante, lo que también era un conductor y un parámetro de diseño esencial para LTE.

### 2.2.3 ARQUITECTURA DE LTE

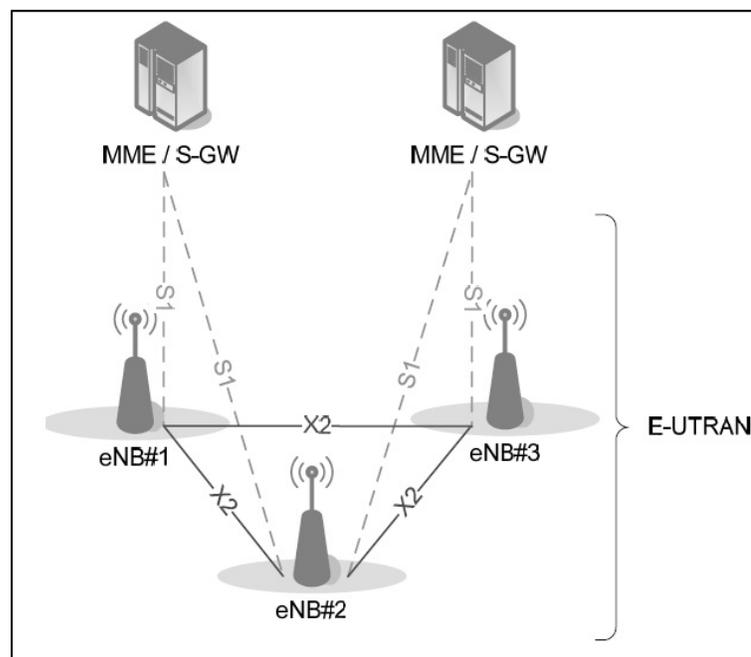
A nivel general, la red se compone de un núcleo llamado, *Evolved Packet Core* (CN-EPC), y por la red de acceso *Evolved UTRAN* (E-UTRAN). Mientras el núcleo consiste de varios nodos lógicos, el acceso fue creado esencialmente con un solo nodo, el Evolved Node B (eNodeB) el que conecta al equipo del usuario (UE). Cada uno de estos elementos de red está inter-conectado en términos de interfaces, las que están estandarizadas para permitir interoperabilidad para varios proveedores. En la Ilustración 7 se detallan tanto el EPC como E-UTRAN.



**ILUSTRACIÓN 7: DETALLE DEL ENLACE EPC-EUTRAN**

### 2.2.3.1 RED DE ACCESO

La red de acceso de LTE, E-UTRAN, simplemente consiste de una red de eNodeB's, como se muestra en la Ilustración 8. Para tráfico normal de usuario (en oposición a lo que ocurre con el broadcasting), no hay un controlador centralizado en E-UTRAN; por lo tanto, la arquitectura E-UTRAN se dice que es plana.



**ILUSTRACIÓN 8: ARQUITECTURA EUTRAN**

Los eNodeB's están normalmente interconectados a los demás a través de la interfaz conocida como X2, y al EPC por medio de la interfaz S1; más específicamente, al MME por medio de la interfaz S1-MME y al S-GW a través de la interfaz S1-U.

Los protocolos que van desde los eNodeB's y el UE son conocidos como protocolos Access Stratum (AS). La E-UTRAN es responsable por todas las funciones relacionadas al acceso por radio, lo cual realiza con:

- Radio Resource Management
- Header Compression
- Security - Connectivity to the EPC

### 2.2.3.2 NÚCLEO DE RED

El *Core Network*, llamado EPC en la evolución de la arquitectura de servicios (SAE), es el responsable del control total del UE y el establecimiento de portadores. Los nodos lógicos principales del EPC son:

- PDN Gateway (P-GW);
- Serving Gateway (S-GW);
- Mobility Management Entity (MME).

Además, EPC también incluye otros nodos y funciones lógicas como el Home Subscriber Server (HSS) y el Policy Control and Charging Rules Function (PCRF). Como el EPS solo provee un portador de ruta con cierto nivel de QoS, el control multimedia, como por ejemplo VoIP, es provisto por el IP Multimedia Subsystem (IMS) el cual se considera externo al EPS.

Los nodos lógicos del núcleo se muestran en la Ilustración 9, y se detallan a continuación:

- PCRF.
- HSS
- P-GW.
- S-GW.
- MME.

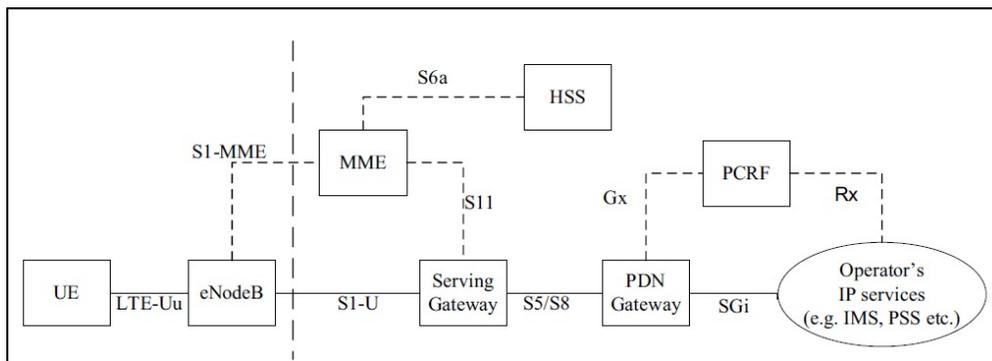


ILUSTRACIÓN 9: ELEMENTOS DE RED EPS

## 2.2.4 LTE EN LA FCFM [8]

La Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas en conjunto con la empresa China ZTE y bajo un acuerdo de cooperación, instalaron y habilitaron durante el año 2011 el primer laboratorio de tecnología LTE en Latinoamérica.

Los equipos de núcleo y acceso “Indoor” del laboratorio LTE fueron desplegados en el segundo piso del edificio de Electrotecnologías del Departamento de Ingeniería Eléctrica (DIE). Las estaciones base y antenas “Outdoor” (eNodeB completos) se instalaron en el techo del DIE (Av. Tupper 2007) y en la terraza del Edificio de Computación (Av. Blanco Encalada 2120).

La Ilustración 10, muestra una vista satelital de la FCFM (utilizando Google Earth), la cobertura LTE aproximada, la identificación de las celdas y la ubicación de los nodos eNBs:

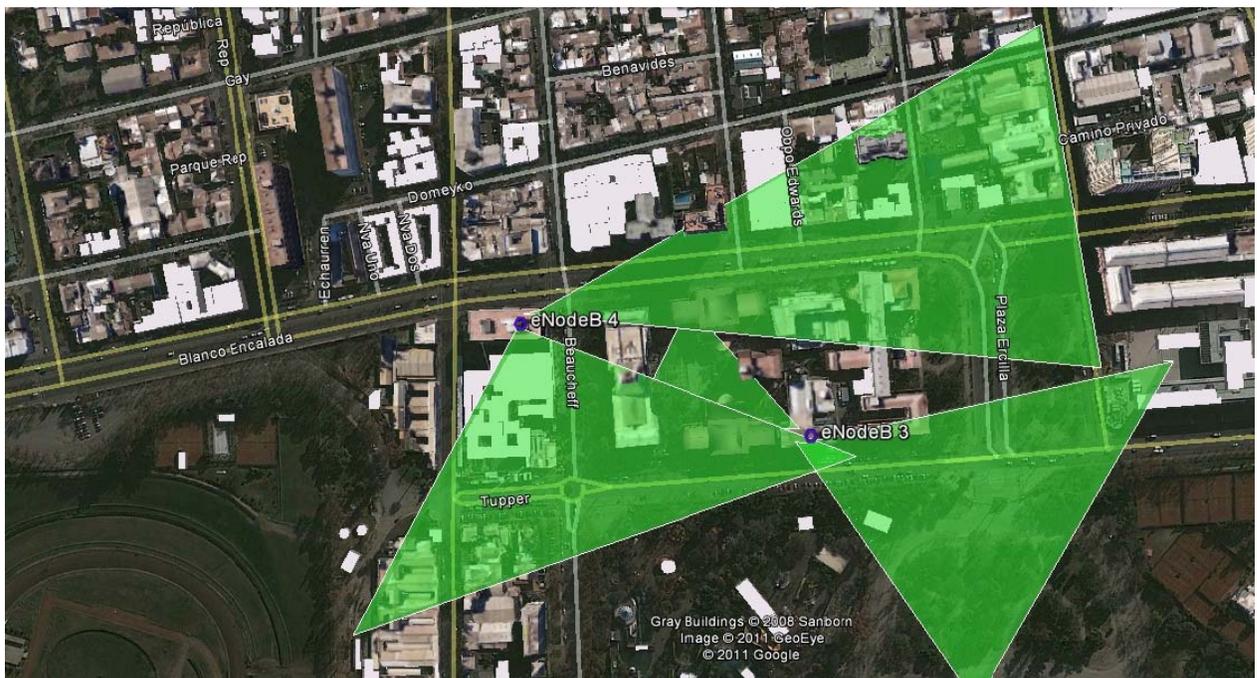


ILUSTRACIÓN 10: LTE EN LA FCFM

### 2.2.4.1 FRECUENCIAS UTILIZADAS EN EL LABORATORIO LTE

Las frecuencias utilizadas y las modalidades de uso son las siguientes:

- La SUBTEL asignó a la FCFM las bandas de frecuencias; (2530 Mhz -2550 Mhz) y (2640 Mhz -2660 Mhz), para uso del Laboratorio LTE en modalidad FDD.
- El Operador VTR facilitó, para efectos de prueba la Banda 38 de frecuencia (2580 Mhz - 2600 Mhz) centrada en 2590 Mhz, para uso del Laboratorio LTE en modalidad TDD.

### 2.2.4.2 DIAGRAMA DE RED DEL LABORATORIO LTE INSTALADO EN LA FCFM

El diagrama de red del Laboratorio se muestra en la Ilustración 11:

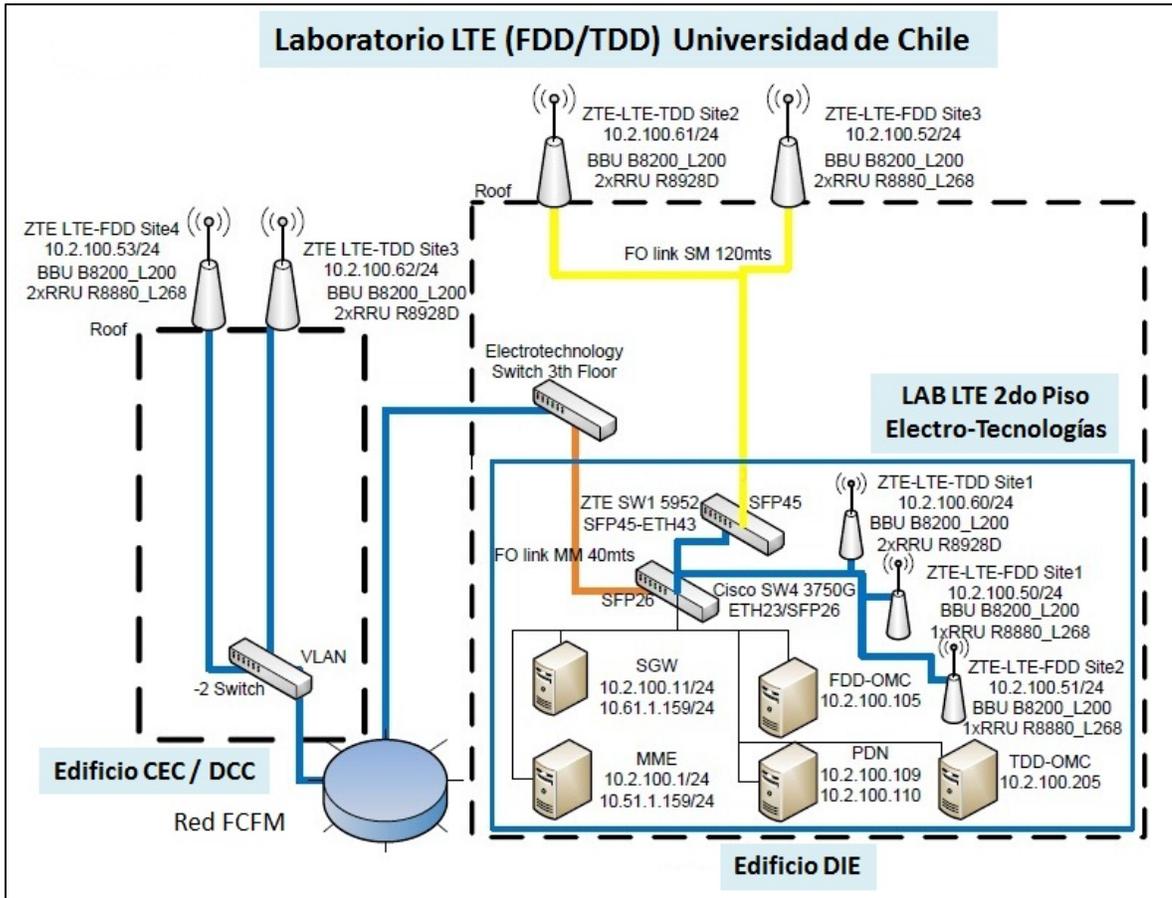


ILUSTRACIÓN 11: DIAGRAMA DE RED DE LTE EN LA FCFM

2.2.4.3 EQUIPAMIENTO DEL LABORATORIO LTE INSTALADO EN LA FCFM

La Tabla 3, resume el equipamiento instalado en el Laboratorio y el diagrama del Núcleo EPC y Acceso E-UTRAN.

TABLA 3: EQUIPAMIENTO LTE INSTALADO EN LA FCFM

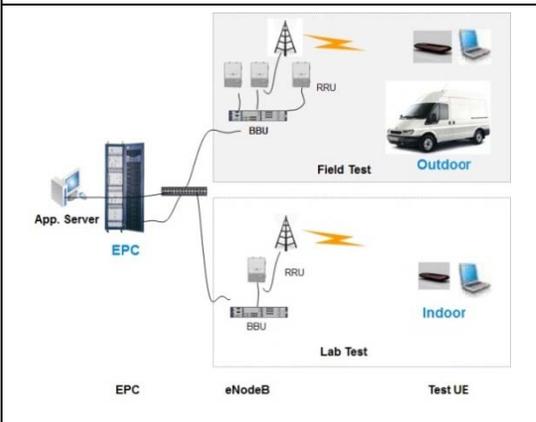
| Equipamiento LTE - ZTE  | Diagrama del Core EPC y Acceso E-UTRAN  |
|---|---|
| <p><b>7 * eNodeB:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•FDD-LTE : 4 eNodeB</li> <li>3X 1B8200&amp;2R8880</li> <li>1X 1B8200&amp;1R8880</li> <li>•TDD-LTE : 3 eNodeB</li> <li>3X 1B8200&amp;2R8928D</li> </ul> | <p>El diagrama muestra la arquitectura de red LTE. En la parte inferior, se encuentran los eNodeB (estaciones base) y los UE (dispositivos de usuario). Los eNodeB se conectan a la MME (Controlador de Movilidad) y al X-GW (Gateway de Usuario) a través de las interfaces S1-MME y S1-U. La MME se conecta al HSS (Sistema de Suscripción de Servicios) y al X-GW a través de las interfaces S6a y S6b. El X-GW se conecta al PDN (Red de Datos). El EMS (Sistema de Gestión de Elementos) también se conecta al X-GW.</p> |

|   |  |
|---|--|
| <p><b>1* EPC:</b> MME (uMAC)</p> <p>S-GW/P-GW (x-GW)</p> <p>HSS</p> <p><b>1*EMS:</b> NetNumen M31</p> <p><b>1*Service System:</b>Application Server (PDN)</p> <p><b>4 * UE:</b> 4* UE de Prueba</p> |  |
|---|--|

#### 2.2.4.4 ENTORNO DE PRUEBAS DEL LABORATORIO LTE INSTALADO EN LA FCFM

La Tabla 4, muestra el Entorno de Pruebas “Outdoor” e “Indoor” utilizado en el Laboratorio LTE instalado en la FCFM:

**TABLA 4: ENTORNO DE PRUEBAS LABORATORIO LTE**

| Entorno de Pruebas  | Ejemplo de Configuración  |
|---|---|
|  <p>The diagram illustrates the LTE test environment. On the left, an 'App. Server' is connected to the 'EPC' (EPC). The EPC is connected to an 'eNodeB' (consisting of BBU and RRU). The eNodeB is connected to 'Test UE' (consisting of RRU and UE). Two configurations are shown: 'Outdoor' (Field Test) and 'Indoor' (Lab Test). The Outdoor configuration includes a van and a laptop, while the Indoor configuration includes a laptop. Labels at the bottom of the diagram include 'EPC', 'eNodeB', and 'Test UE'.</p> | <p>Frecuencia: 2.6Ghz</p> <p>Bandwidth: 20Mhz</p> <p>Antena: 2x2 MIMO</p> <p>DL: HOM 64QAM</p> <p>UL: HOM 64QAM</p> |

## 2.3 IMS [9]

IMS es una arquitectura que cumple con los requerimientos definidos por la ITU-T para una Red de Próxima Generación. Constituye una estandarización para el desarrollo de una plataforma con miras a la convergencia de redes. En consecuencia, posee características básicas como por ejemplo la posibilidad de uso de diferentes redes de acceso, el soporte de movilidad generalizada o el ser una red basada en la conmutación de paquetes.

La arquitectura IMS fue diseñada por la 3rd Generation Partnership Project (3GPP) como parte del trabajo de estandarización asociado a la Tercera Generación de Telefonía Celular (3G). En su primera versión (Release 5) se diseñó para la evolución de telefonía móvil 2G a 3G, soportando redes GSM y GPRS y siendo añadidos además el soporte de contenidos multimedia basados en

SIP. Para el Release 6 se añadió el soporte para acceso vía redes inalámbricas (WLAN, WiMAX).

En el Release 7 se incluyó el soporte para redes fijas (xDSL, cable modem, ethernet) en un trabajo en conjunto con la organización TISPAN. Además es importante destacar que al ser una red IP se hace uso de protocolos de Internet estandarizados por la IETF y de otros protocolos estandarizados por la ITU-T. Así mismo organizaciones como ANSI, ETSI y OMA también apoyan el desarrollo de IMS en este sentido.

Finalmente, el Release actual bajo estudio (Release 12), incluye la habilitación del servicio de Telepresencia basada en IMS, posibilitando una experiencia inmersiva al ofrecer comunicación audiovisual interactiva entre estaciones remotas. Además, en dicho Release se discute la posibilidad de tener IMS *Network-Independent Public User Identities* (INIPUI) permitiendo a los operadores asociar a sus suscriptores con identidades públicas de la forma [sip:user@domain](mailto:sip:user@domain), en que la sección de dominio es cualquier dominio registrado en Internet. Por último, entrega las bases para permitir al IMS coexistir a una PBX IP operada en modo estático y agrega extensiones de seguridad [10].

Entre las principales características de la arquitectura IMS se debe mencionar:

- Soporte de sesiones en tiempo real (voz y video conferencia) y de no-tiempo real (PTT/ Push-To-Talk, PTS/Push-To-Show, presencia, mensajería) sobre redes IP.
- Interfaces y protocolos abiertos.
- Plataforma que permite desarrollo de sofisticados servicios de valor agregado como streaming de audio y video online.
- Integración horizontal dado que existen funciones genéricas en estructura e implementación que pueden ser reutilizadas por todos los servicios de la red (descubrimiento, enrutamiento, cobro, presencia, administración de usuarios, etc.) con la consiguiente disminución de costos para el operador.
- Soporte de redes de acceso de distinto tipo que va de la mano con la movilidad generalizada.

### 2.3.1 ARQUITECTURA DE IMS [11]

En la Ilustración 12 se entrega un esquema genérico de la arquitectura IMS con sus principales componentes:

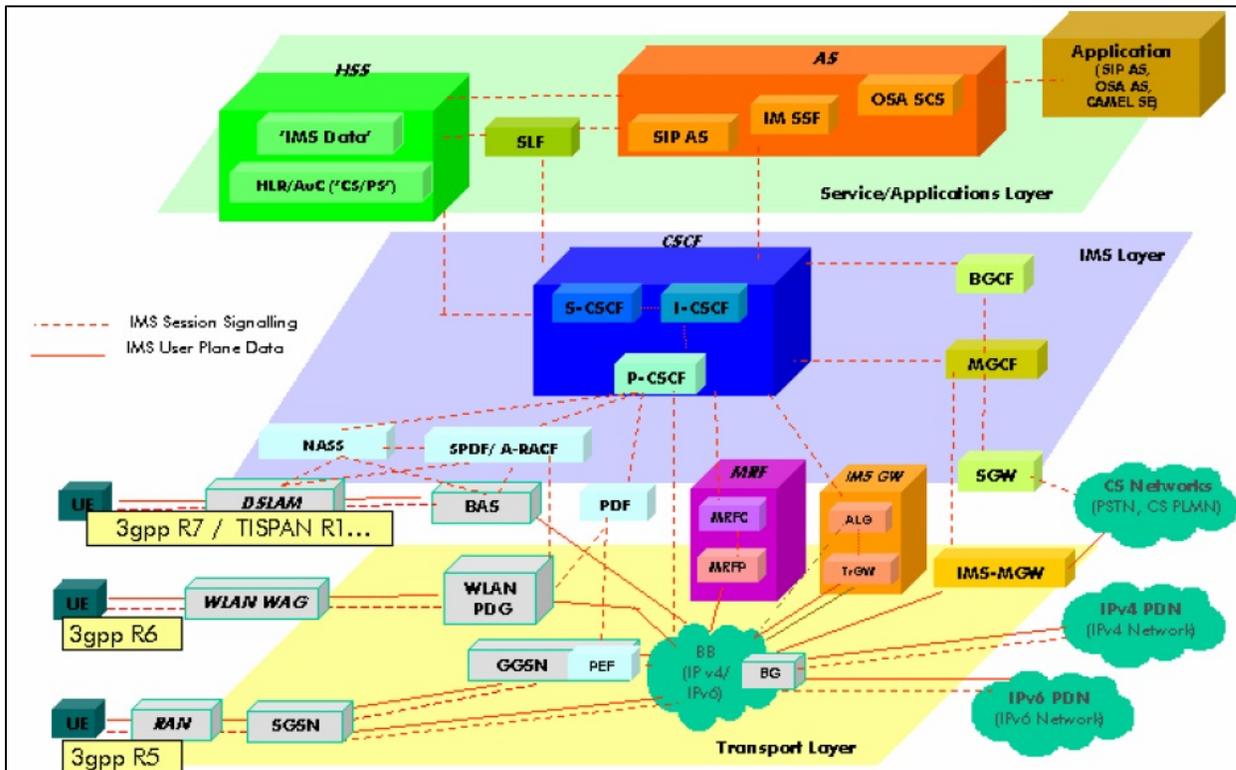


ILUSTRACIÓN 12: ARQUITECTURA IMS

Se presentan las distintas capas de la arquitectura. Destacan los niveles de Transporte, Capa IMS y Capa de Servicios/Aplicaciones. En términos generales la arquitectura presenta equipos encargados del acceso a la red IMS, del transporte de paquetes IP, del control de las sesiones multimedia y de la entrega de aplicaciones y servicios.

Dado que en la arquitectura IMS se interconectan diferentes componentes y por lo tanto existen diversas comunicaciones basadas en distintos protocolos, se definen "interfaces" entre dichas componentes para establecer la estandarización del sistema en general. Los principales elementos están asociados al core de la red IMS. En la Ilustración 13, se observan las distintas conexiones y sus respectivas interfaces suponiendo que todas estas componentes lógicas se encuentran implementadas en forma separada:



### 2.3.2.1 DESCRIPCIÓN

Open IMS Core es una implementación de las entidades CSCFs y de un HSS de bajo peso que en conjunto forman los elementos core de todas las arquitecturas IMS/NGN especificadas dentro de 3GPP, 3GPP2, ETSI TISPAN y la iniciativa PacketCable. Las cuatro componentes (S-CSCF, P-CSCF, I-CSCF, HSS) están basadas en software Open Source.

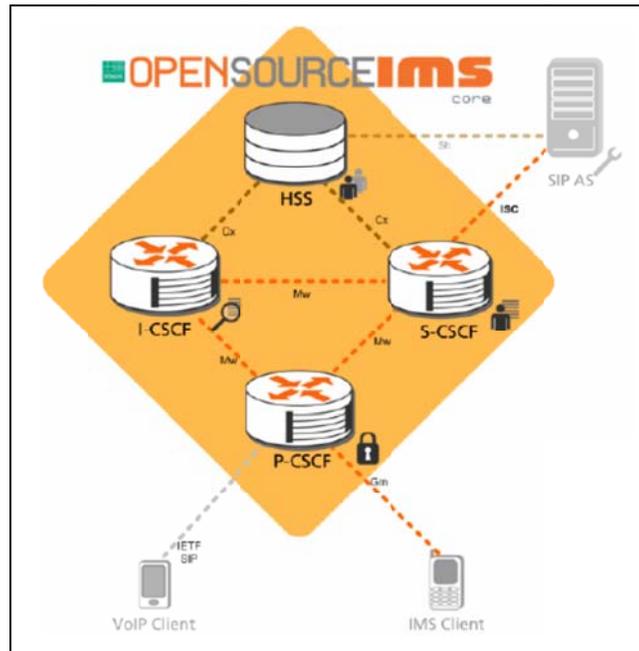


ILUSTRACIÓN 14: PROYECTO IMS OPENSOURCE

Esta plataforma ha sido desarrollada por FOKUS (Fraunhofer - Institute for Open Communication Systems), institución de origen alemán y sin fines de lucro que provee servicios de Investigación y Desarrollo de sistemas de comunicación de próxima generación. Su principal objetivo es potenciar el desarrollo de nuevas tecnologías entregando un marco de trabajo basado en software open source que permita establecer prototipos de tecnologías acorde al mercado y los requerimientos del usuario final.

Las líneas de investigación de FOKUS son las siguientes:

1. 3G - Infraestructura y servicios para soluciones móviles
2. Habilitación de tecnologías para ambientes inteligentes
3. Desarrollo y testing de modelos basados en software

En este sentido, una temática que particularmente aborda FOKUS son las tecnologías emergentes. Dentro de este marco se ha diseñado e implementado en base a herramientas open source la plataforma de pruebas denominada “Open IMS Core” que permite testear la tecnología y probar servicios. Dicho desarrollo está disponible para que cualquier persona pueda experimentar y trabajar con fines experimentales y/o docentes. En ningún caso constituye un kit

de desarrollo para la implementación de plataformas comerciales. Más aún, debe tenerse en cuenta que dada la cantidad de organizaciones involucradas en IMS, posteriormente podrían existir patentes de por medio que deberán ser respetadas. IMS aún se encuentra en etapas de prueba con un número creciente de operadores interesados en la tecnología. Mientras que en el área de VoIP existen muchos proyectos open source asociados a clientes SIP, proxies y herramientas (alrededor del estándar SIP IETF), prácticamente no existen proyectos open source con foco en IMS. Luego, el objetivo principal de esta iniciativa es llenar ese vacío para entregar una herramienta que permita probar y desarrollar servicios IMS y permitir el estudio del core de dicha arquitectura.

### 2.3.3 USO EN EL CONTEXTO DEL TRABAJO DE TÍTULO

El proyecto Open IMS Core constituye una plataforma de pruebas IMS que posee las principales funcionalidades del core de la arquitectura, permitiendo explotar las características básicas que requiere el desarrollo de la memoria. A través de la página web de FOKUS se puede acceder a todo el desarrollo en software para instalar, configurar y utilizar los módulos mencionados previamente. Su uso fue recomendado principalmente por dos razones. Por un lado el “desarrollar desde cero” todas las componentes para implementar las entidades tomaría mucho tiempo y por otra parte el proyecto en sí ha sido adoptado con gran aceptación por variadas universidades alrededor del mundo.

Posterior a dicho análisis, en conjunto con el profesor guía, se decidió utilizar esta herramienta para la puesta en marcha del servicio de VoIP, y para su interconexión al acceso LTE, a los cuales les serán medidos su calidad de servicio y de experiencia.

## 2.4 CALIDAD DE SERVICIO (QOS)

### 2.4.1 DEFINICIÓN E IMPORTANCIA [13]

En el campo de la telefonía, la calidad del servicio fue definida por la UIT en 1994. Comprende las necesidades de todos los aspectos de una conexión, como el tiempo de respuesta del servicio, pérdida, relación señal-ruido, diafonía, eco, interrupciones, respuesta en frecuencia, los niveles de sonoridad, y así sucesivamente.

En el campo de las redes de computadoras y otras redes de paquetes conmutados de telecomunicaciones, el término ingeniería de tráfico se refiere a los mecanismos de control de recursos de reserva en lugar de la calidad de servicio alcanzados. Calidad del servicio es la capacidad de ofrecer diferentes prioridades a las diferentes aplicaciones, los usuarios, o flujos de datos, o para garantizar un cierto nivel de rendimiento a un flujo de datos. Por ejemplo, una tasa de bits requerida, *delay*, *jitter*, probabilidad de paquetes perdidos y/o tasa de bits erróneos puede ser garantizada. Dichas garantías son importantes si la capacidad de la red es insuficiente, sobre todo en tiempo real para aplicaciones de streaming multimedia tales como voz sobre IP, juegos en línea e IPTV, ya que a menudo requieren una tasa de bits fija y son sensibles a los retardos. Un

ejemplo en que esto ocurre es en la comunicación de datos celular. La insuficiencia de dicha capacidad está ligada al nivel de *overbooking* ofrecido en una red.

Una red o protocolo que soporta calidad de servicio puede acordar un contrato de tráfico con el software de aplicación y la capacidad de reserva en los nodos de la red, por ejemplo, durante una fase de establecimiento de sesión. Durante la sesión se puede controlar el nivel de rendimiento alcanzado, por ejemplo, a través de la velocidad de datos y el retraso; y de forma dinámica las prioridades de tráfico en los nodos de la red.

La Calidad de servicio se utiliza a veces como una medida de calidad, en lugar de referirse a la capacidad de reserva de los recursos. A veces, se refiere también al nivel de calidad de servicio, es decir, la calidad del servicio garantizada. Alta calidad de servicio se confunde a menudo con un alto nivel de rendimiento o calidad que se consigue el servicio, por ejemplo, la tasa de bits de alta, baja latencia y baja probabilidad de error de bit.

#### 2.4.1.1 PAQUETES PERDIDOS (*PACKET LOSS*)

Los *routers* pueden fallar al entregar algunos paquetes si sus datos están dañados o si llegan cuando sus *buffers* ya están llenos. La aplicación receptora puede solicitar esta información a ser transmitida, posiblemente causando graves retrasos en la transmisión en general.

#### 2.4.1.2 JITTER

Los paquetes llegan al destino con diferentes retardos. Una demora de un paquete varía según su posición en las colas de los routers a lo largo de la ruta entre origen y destino y la posición puede variar de forma impredecible. Esta variación en el retardo se conoce como inestabilidad y puede afectar seriamente la calidad de streaming de audio y/o video.

#### 2.4.2 ACUERDO DE NIVEL DE SERVICIO (SLA) [14]

Un acuerdo de nivel de servicio o *Service Level Agreement*, también conocido por las siglas ANS o SLA, es un contrato escrito entre un proveedor de servicio y su cliente con objeto de fijar el nivel acordado para la calidad de dicho servicio. El ANS es una herramienta que ayuda a ambas partes a llegar a un consenso en términos del nivel de calidad del servicio, en aspectos tales como tiempo de respuesta, disponibilidad horaria, documentación disponible, personal asignado al servicio, etc. Básicamente el ANS establece la relación entre ambas partes: proveedor y cliente. Un ANS identifica y define las necesidades del cliente a la vez que controla sus expectativas de servicio en relación a la capacidad del proveedor, proporciona un marco de entendimiento, simplifica asuntos complicados, reduce las áreas de conflicto y favorece el diálogo ante la disputa.

También constituye un punto de referencia para el mejoramiento continuo, ya que el poder medir adecuadamente los niveles de servicio es el primer paso para mejorarlos y de esa forma aumentar los índices de calidad.

#### 2.4.2.1 PARAMETROS HABITUALES

Los acuerdos de nivel de servicio pueden contener un alto número de parámetros con sus correspondientes objetivos de nivel de servicio. Un caso habitual en la Gestión de Servicio TI es el *call center*. Los parámetros designados habitualmente para estos casos incluyen:

- *Abandonment Rate* (ABA): Porcentaje de llamadas abandonadas mientras esperaban recibir atención telefónica.
- *Average Speed to Answer* (ASA): Tiempo medio normalmente medido en segundos, utilizado para que el service desk responda la llamada.
- *Time Service Factor* (TSF): Porcentaje de llamadas respondidas en un plazo de tiempo determinado, por ejemplo 80% en 20 segundos.
- *First Call Resolution* (FCR): Porcentaje de llamadas recibidas que pudieron ser resueltas sin necesidad de una segunda llamada.
- *Turn Around Time* (TAT): Tiempo utilizado para completar una tarea determinada.

Los acuerdos de disponibilidad son otro tipo de parámetro muy habitual utilizado en los servicios como *hosting* o servidores dedicados. Algunos acuerdos habituales incluyen un porcentaje, tiempo de operación de la red, tiempos de mantenimiento, etc.

#### 2.4.3 OVERBOOKING [15]

Overbooking es un término usado para describir la venta adicional de acceso a la red de transporte. Cuando se emplea overbooking en ancho de banda, a cada usuario de la red que ha sido admitido en el tráfico de un enlace de *backbone* se le asigna menos ancho de banda de lo que soliciten.

Los clientes suelen pedir más ancho de banda del que necesitan, lo que lleva a una escasa utilización de la red, especialmente cuando un gran número de circuitos se agregan en un enlace troncal. Un error común consiste en suponer que Internet siempre está congestionado. Aunque en algunas partes, tales como redes de universidades de gran utilización esto no ocurra, la columna vertebral de la Internet es de relativamente baja carga. Este recurso subutilizado hace al *overbooking* posible.

Los proveedores de servicios de red tienen que tener cuidado en la selección de la cantidad de recursos en reserva. Ellos pueden maximizar el beneficio por predecir con precisión la utilización real con el fin de especificar una política de sobreventa de ancho de banda que va a vender tanto como sea posible sin causar una degradación de Calidad de Servicio (QoS) en la red. Un QoS pobre se traduce en pérdida de paquetes, resultando en el aumento de retardo y jitter, lo que afecta a la satisfacción de los clientes.

## 2.5 CALIDAD DE EXPERIENCIA (QoE)

### 2.5.1 INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO (KPI) [16]

De acuerdo a la recomendación E.419 de la ITU-T [40], el objetivo de describir en detalle indicadores clave de desempeño o Key Performance Indicator (KPI) es establecer una correlación sólida entre los factores tradicionales que servían de indicadores para la gestión de red y el "enfoque comercial" agresivo que impera actualmente en la industria de las telecomunicaciones.

La percepción de la calidad de servicio por los usuarios depende del funcionamiento extremo a extremo del servicio y, por lo tanto, se debe encontrar una métrica, o conjunto de ellas, que considere este hecho y que además permita reflejar la percepción del servicio aun cuando esta se vea degradada por factores externos al operador.

Los objetivos comerciales esenciales (KBO, Key Business Objectives) se deducen de los asuntos que cada empresa considera importantes, tales como:

- Ingresos.
- Reducción de costos.
- Mejora de la satisfacción del cliente.
- Cumplimiento de la reglamentación estatal.
- Reducción del uso de recursos.

Los objetivos clave de desempeño (KPO, key performance objectives) son los factores cuantificables que contribuyen a realizar los objetivos de la empresa. Por ejemplo: en relación con el aumento de ingresos, la disponibilidad de servicios o de la red garantizaría ingresos. Ahora bien, la disponibilidad de la red podría ser un requisito impuesto por la reglamentación estatal con el fin de garantizar el servicio, como ocurre en los servicios básicos que proveen los operadores. Los KPO son los factores cuantificables que directamente permiten realizar objetivos comerciales esenciales (KBO) y cuyo valor puede medirse en tiempo real. Los KPO son los siguientes:

- Disponibilidad.
- Reducción de los efectos de las interrupciones de red.
- Integridad.
- QoS (calidad de servicio).
- Confiabilidad

Los indicadores clave de desempeño (KPI, Key Performance Indicator) son indicadores concretos y cuantificables que se miden en tiempo real y que facilitan directamente el cumplimiento de los objetivos principales de la empresa al permitir que se alcancen los objetivos clave de desempeño. Estos indicadores se relacionan entre sí para determinar un modelo de calidad. En esta misma línea, la recomendación E.800 [38] muestra que los componentes que contribuyen a la calidad de servicio extremo a extremo se encuentran a lo largo de toda la red y para determinar la QoS extremo a extremo es necesario determinar las condiciones operativas en que se proporcionará el servicio.

Finalmente, la Calidad de servicio experimentada o percibida por el usuario QoSE corresponderá a la QoS proporcionada por el proveedor del servicio e influenciada por los factores psicológicos que influyen en la percepción del usuario es por ello que es fundamental conocer la QoSE para optimizar los ingresos y recursos del proveedor del servicio.

La calidad de servicio se puede desglosar en cuatro polos como se muestra en la Ilustración 15:

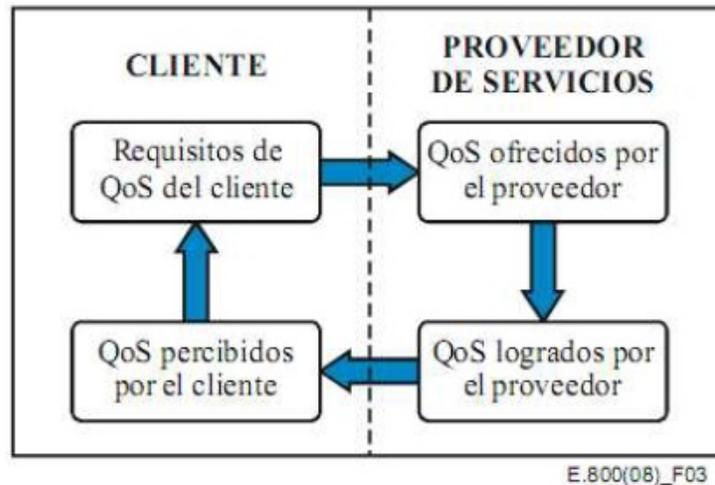


ILUSTRACIÓN 15: POLOS DE LA CALIDAD DE SERVICIO

Los Requisitos de QoS del cliente, corresponden a la declaración de requerimientos de QoS de un usuario o necesidades de calidad de funcionamiento de un servicio. El QoS ofrecido por el proveedor corresponde a la declaración del nivel de calidad planificada por el proveedor de servicios. Los QoS logrados por el proveedor corresponden al nivel de calidad logrado o alcanzado por el proveedor. Finalmente el QoS percibidos por el cliente, corresponde al nivel de calidad que el cliente declara haber experimentado por el servicio brindado.

Estos cuatro polos muestran lo distinto que pueden ser los indicadores que se puede estar midiendo o considerando a la hora de evaluar un servicio y lo indispensable que es que estos se encuentren fuertemente correlacionados y sea posible medir de modo tal que cuando se mida la calidad de servicio que se está ofreciendo a un cliente sea en realidad la QoS percibida, de modo tal que se tenga claridad en lo que está recibiendo el usuario.

Pero de esta misma forma, los indicadores de calidad de servicio no necesariamente son capaces de mostrar la experiencia que está recibiendo un usuario ya que los indicadores por sí mismos, sólo son capaces de mostrar niveles de servicio de los diferentes factores que influyen en la experiencia del usuario y no la experiencia propiamente tal.

Este nuevo concepto se conoce como calidad de experiencia o QoE (Quality of Experience) que recoge la totalidad de los efectos del sistema a lo largo de la comunicación extremo a extremo y se ve influenciado por las expectativas del cliente y el contexto en que recibe el servicio. Este enfoque permite conocer la calidad percibida por el cliente y de este modo poder modelar el comportamiento que tendrá la red y así determinar cuando el usuario está percibiendo una mala calidad del servicio, aunque los indicadores de QoS tradicionales no se vean alterados y más aun adelantarse a posibles problemas y corregir las falencias antes que se transformen en un incidente.

## 2.5.2 MODELO DE QoE [16]

Considerando los puntos anteriores, es indispensable adoptar una metodología de trabajo que permita modelar el servicio y de ese modo establecer un indicador de desempeño de la calidad de experiencia percibida por el usuario. La ITU-T [39] recomienda el siguiente proceso para estimar la calidad de funcionamiento de un servicio extremo a extremo:

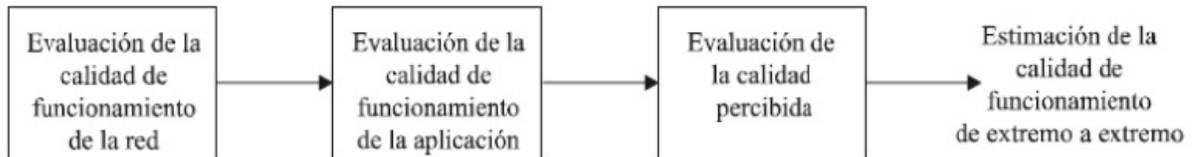


ILUSTRACIÓN 16: PROCESO DE ESTIMACIÓN DE QOE EXTREMO-EXTREMO

El primer paso consiste en la evaluación de la calidad de funcionamiento de la red. Existen dos fuentes principales de información sobre la calidad de funcionamiento de la red, las mediciones y el modelamiento.

Las mediciones permiten que la red sea tratada como una caja negra y generan información útil para el resto del modelamiento, es su realización es importante tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. La prueba no debe alterar el medio de la aplicación considerada. Por ejemplo, el control de flujo de TCP responde a las condiciones de red y tiende a llenar las colas en los cuellos de botella, incrementando el retardo por sobre lo que podría medirse en caso que no realizara la prueba.
2. La carga sin mediciones debe ser similar en tamaño y características a las condiciones en las que han de aplicarse las pruebas. Las mediciones en una red no cargada no son particularmente útiles.

El modelamiento de la red puede proporcionar la caracterización de la calidad de funcionamiento necesaria cuando la red no esté aún plenamente construida o cuando no puedan alcanzarse las consideraciones esenciales para las mediciones. Las herramientas de modelado exigen bastante pericia e información sobre la red considerada para conseguir los resultados previstos. No obstante, la precisión de este método dependerá en gran medida de la precisión de la información disponible.

El segundo paso consiste en la evaluación de la calidad de funcionamiento de la aplicación. Los modelos de aplicación utilizan como entradas las estimaciones de la calidad de funcionamiento de la red y producen como resultado una o varias métricas de calidad de funcionamiento de la aplicación.

El tercer paso consiste en la evaluación de la calidad percibida como un valor de percepción del usuario. Esto sumado a la información proporcionada por los pasos anteriores entrega como resultado final la estimación de la calidad de funcionamiento extremo a extremo de la aplicación en cuestión.

Esta metodología considera la información de la red, aplicación y percepción del cliente que al ser modelada y correlacionada apropiadamente entregará como resultado el o los indicadores de

calidad de experiencia que perseguimos, pudiendo así describir el comportamiento de los usuarios y su percepción del servicio. De este modo, será posible determinar los factores que están afectando la experiencia del usuario y realizar rápida y eficazmente las correcciones necesarias para mejorarla.

### 2.5.3 KPIs USADOS EN EL CONTEXTO DE ESTE TRABAJO

#### 2.5.3.1 NOTA DE OPINIÓN MEDIA (MOS) [17]

La Nota media de opinión (MOS) es una prueba correspondiente a la especificación de la ITU-T (recomendación P.800) que ha sido utilizado durante décadas en las redes de telefonía para obtener la vista del usuario humano de la calidad de la red. En multimedia (audio de telefonía, voz o vídeo), especialmente cuando se utilizan *codecs* para comprimir el requisito de ancho de banda (por ejemplo, de una conexión de voz digitalizada a partir de los 64 kbps en modulación PCM), el MOS proporciona una indicación numérica de la calidad desde la perspectiva de los usuarios de los medios de comunicación recibida después de la compresión y/o transmisión. El MOS se expresa como un solo número en el rango de 1 a 5, donde 1 es la más baja calidad percibida de audio, y 5 es el más alto de medición de calidad percibida de audio. El MOS es generado por un promedio de los resultados de una serie de pruebas estándar, donde una serie de tasa de oyentes de la calidad de audio escuchando frases prueba de lectura en voz alta por los hablantes masculinos y femeninos en el medio de comunicación que se está probando. Un oyente tiene la obligación de dar a cada frase, una clasificación con el esquema de calificación siguiente:

**TABLA 5: VALORES DE MOS**

| <b>Mean opinion score (MOS)</b> |                |                             |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|
| <b>MOS</b>                      | <b>Calidad</b> | <b>Percepción del error</b> |
| 5                               | Excelente      | Imperceptible               |
| 4                               | Buena          | Perceptible pero no molesta |
| 3                               | Suficiente     | Ligeramente molesta         |
| 2                               | Pobre          | Molesta                     |
| 1                               | Mala           | Muy molesta                 |

El MOS es la media aritmética de todas las puntuaciones individuales, y pueden ir de 1 (peor) a 5 (mejor). En algunas herramientas estos valores suelen ser en la escala de 1-100, con la siguiente equivalencia:

**TABLA 6: CONVERSIÓN DE ESCALAS DE MOS**

| <b>Equivalencia de escalas de (MOS)</b> |                      |                |
|---|----------------------|----------------|
| <b>MOS<br/>1-5</b>                      | <b>MOS<br/>1-100</b> | <b>Calidad</b> |
| 5                                       | 80-100               | Excelente      |
| 4                                       | 60-80                | Buena          |
| 3                                       | 40-60                | Suficiente     |
| 2                                       | 20-40                | Pobre          |
| 1                                       | 0-20                 | Mala           |

Comunmente, se utilizan sistemas codificadores/decodificadores (*codecs*) y procesamiento digital de señales (DSP) en las comunicaciones de voz, y pueden ser configurados para ahorrar ancho de banda. Si este es el caso, existe un compromiso entre calidad de la voz y la conservación de ancho de banda. Ancho de banda se pueden medir cuantitativamente, pero la calidad de voz requiere la interpretación humana, aunque las estimaciones de la calidad de voz se pueden hacer por los sistemas automáticos de prueba. Un proceso similar se puede utilizar para evaluar la calidad de vídeo subjetiva.

A modo de ejemplo, las siguientes son las puntuaciones medias de opinión para una implementación de diferentes *codecs*:

**TABLA 7: COMPORTAMIENTO DE LOS CODECS DE AUDIO**

| <i>Codec</i> | <b>Data rate<br/>[kbit/s]</b> | <b>Mean opinion score<br/>(MOS)</b> |
|--------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| G.711 (ISDN) | 64                            | 4.1                                 |
| iLBC         | 15.2                          | 4.14                                |
| G.729        | 8                             | 3.92                                |
| G.723.1 r63  | 6.3                           | 3.9                                 |
| GSM EFR      | 12.2                          | 3.8                                 |
| G.726 ADPCM  | 32                            | 3.85                                |
| G.728        | 16                            | 3.61                                |

Un inconveniente de la obtención de estimaciones MOS es que puede ser muy tedioso y costoso ya que requiere la contratación de expertos para hacer estimaciones. Cuando un sistema de codificación de voz está en desarrollo, o el desarrollador tiene que probar y comparar un par de sistemas de audio, es muy importante tener la posibilidad de una prueba rápida.

#### 2.5.3.2 PEAK DE LA RAZÓN DE SEÑAL-A-RUIDO (PSNR) [18]

PSNR es un término ingenieril para la razón entre la energía máxima posible de una señal y la energía del ruido que afecta la fidelidad de su representación. Ya que muchas señales tienen un rango grande y dinámico, el PSNR se expresa usualmente en términos de escala logarítmica (decibeles, dB).

El PSNR se usa más comúnmente como una medida de la calidad de la reconstrucción de *codecs* sin pérdidas (por ejemplo, compresión de imágenes). En este caso, la señal es el dato original y el ruido es el error introducido por la compresión. Cuando se comparan los *codecs* se usa como *aproximación* a la percepción humana de la calidad de reconstrucción de la imagen. Esto, ya que en algunos casos aún cuando la reconstrucción aparenta ser más cercana al original que otra, tiene un PSNR más bajo (un PSNR alto indica que la reconstrucción es de alta calidad). Dicho esto, se debe ser extremadamente cuidadoso en el rango de validez de esta métrica; es válida sólo si se comparan resultados obtenidos del mismo *codec*.

Se define de manera más fácil vía error cuadrático medio (MSE) lo cual, para dos imágenes ( $I$  y  $K$ , de la Ecuación 1) monocromáticas  $m \times n$ , donde una de las imágenes es considerada una aproximación ruidosa a la otra, se define como:

$$MSE = \frac{1}{m \cdot n} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i, j) - K(i, j)]^2$$

ECUACIÓN 1: ESTIMACIÓN DE MSE

Así, el PSNR se define como:

$$\begin{aligned} PSNR &= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{MAX_I^2}{MSE} \right) \\ &= 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right) \\ &= 20 \cdot \log_{10} (MAX_I) - 10 \cdot \log_{10} (MSE) \end{aligned}$$

ECUACIÓN 2: ESTIMACIÓN DE PSNR EN FUNCIÓN DE MSE

Los valores típicos de PSNR para imágenes con pérdida y compresiones de video son entre 30 y 50 dB, donde a más alto, mejor. Los valores aceptables para una transmisión inalámbrica con pérdidas son considerados entre 20 y 25 dB. Cuando las dos imágenes o videos son idénticos, el MSE será cero. Para este valor, el PSNR está indefinido.

### 2.5.3.3 EVALUACIÓN PERCEPTUAL DE LA CALIDAD DE LA VOZ (PESQ) [19]

PESQ (*Perceptual Evaluation of Speech Quality*) es una familia de estándares que buscan una metodología de pruebas para lograr la automatización de la calidad de la voz experimentada por un usuario de sistemas telefónicos. Se encuentra estandarizado por la ITU-T en la recomendación P.862 (02/01). Hoy en día, PESQ es un estándar de alta aplicación industrial para

el testeo de la calidad objetiva de la voz, usado entre otros por empresas manufactureras de teléfonos, vendedores de equipamiento de red y operadores de telecomunicaciones.

#### 2.5.3.3.1 ENFOQUE DE MEDICIÓN

PESQ ha sido desarrollado especialmente para modelar las pruebas subjetivas de uso común en las telecomunicaciones (por ejemplo, el UIT-T P.800: MOS) para evaluar la calidad de la voz por los seres humanos. En consecuencia, PESQ emplea muestras reales de voz como entrada. Con el fin de caracterizar la calidad de la escucha como es percibida por los usuarios, es de suma importancia la carga de equipos de telecomunicaciones con señales semajantes al habla real. Las directrices para las aplicaciones se definen en la referencia PESQ ITU-T P.862.3.

#### 2.5.3.3.2 TIPOS DE PRUEBAS

Dependiendo de la información que se pone a disposición de un algoritmo, estos se pueden dividir en dos categorías.

##### 2.5.3.3.2.1 ALGORITMO FULL-REFERENCE (FR)

Tiene acceso y hace uso de la señal de referencia original para una comparación, es decir, un análisis de diferencias. Se puede comparar cada muestra de la señal de referencia (extremo emisor) con cada muestra de la señal degradada correspondiente (extremo receptor). Las medidas de FR entregan la más alta eficacia y repetibilidad, pero solo puede ser aplicada en pruebas específicas en redes vivas (por ejemplo, herramientas de comparación en pruebas en conducción para redes móviles).

##### 2.5.3.3.2.2 ALGORITMO NO-REFERENCE (NR)

Utiliza sólo la señal degradada para la estimación de la calidad y no tiene información de la señal de referencia original. Los algoritmos NR (como por ejemplo, P.563) son estimadores de baja precisión, debido a que las características de la voz de origen de la referencia de origen son completamente desconocidas. Una variante común de este tipo de algoritmos ni siquiera analiza la señal de audio decodificada sino que trabaja en el análisis del *bitstream* digital en un nivel de paquete IP. La medición es consecuentemente limitada al análisis del transporte de los datos.

El algoritmo PESQ es FR y analiza la señal de *speech* muestra por muestra, luego de una alineación temporal de los correspondientes extractos. PESQ puede ser aplicado para proveer aseguramiento de calidad de extremo a extremo en una red, o caracterizar componentes individuales.

El resultado del algoritmo PESQ es un valor MOS en la escala 1-5.

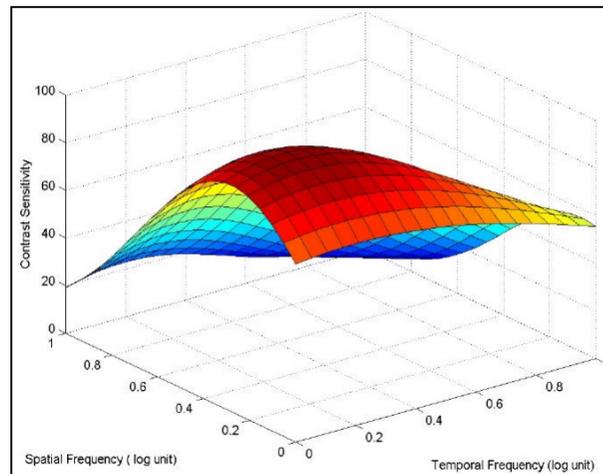
#### 2.5.3.4 MÉTRICA DE CALIDAD DE VIDEO (VQM) [18]

VQM es un indicador de medición de calidad de video de manera objetiva que incorpora elementos de la percepción humana ante un video.

Los algoritmos de compresión sin pérdidas (como la codificación de Huffman, por ejemplo), sólo logran un nivel de compresión de 3:1. Los algoritmos con pérdidas resultan en un rango de

compresión mucho mayor (del orden de 100:1), sin embargo, siempre introducen *artefactos*. Para controlar dichos artefactos se requiere una métrica de calidad de video correcta.

La función de sensibilidad humana al contraste espacio-temporal (ver Ilustración 17) es la base de toda métrica de video y sonido. Se puede ver que la sensibilidad ocular decrece con altas frecuencias espaciales y temporales. Basada en la variada sensibilidad, se puede representar esto con menor precisión gracias a que los ojos humanos no son sensibles a la pérdida de información en este rango.



**ILUSTRACIÓN 17: FUNCIÓN DE SENSIBILIDAD HUMANA AL CONTRASTE ESPACIO-TEMPORAL**

## **3 CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

En este capítulo se detalla la metodología seguida para la concreción de los objetivos planteados en el capítulo 1. Se parte por indicar al lector el diseño de las pruebas de concepto, considerando las redes y servicios en estudio. También, se detallan aspectos técnicos de los servicios que serán montados sobre esta arquitectura y, por último, se indica el procedimiento para la toma de datos tanto de calidad de servicio como de experiencia.

Se considera como objetivo final de la metodología la obtención de indicadores de calidad de experiencia (QoE) en servicios que son independientes del proveedor de internet, conocidos como Over-The-Top (OTT), evaluados en una red 3,95G LTE/IMS. Para esto, se entregan métodos a modo de pruebas de concepto que son puestos en marcha, en un principio, en una red de área local (a modo de verificación de la correcta medición), para luego pasar a la implementación en la red LTE/IMS.

Las pruebas de concepto son realizadas para cada servicio evaluado bajo diferentes escenarios de congestión, de manera de validar la correcta variación de las mediciones de QoE bajo dichos escenarios. De esta manera, también debe considerarse la manera en que cada servicio interactúa con el usuario y con la red, razón por la cual cada una de estas pruebas de concepto presenta alternativas de medición. Cada una de estas alternativas presenta enfoques que, por un lado, realizan un seguimiento en línea espiando la red en busca de una llamada o una provisión de video en línea y, por otro, establecen una captura del tráfico real vía grabación del audio o video desde el extremo del cliente. A continuación, se entregan las consideraciones que presenta cada servicio a ser estudiado con el objetivo de elegir el método de medición más apropiado.

### **3.1 DISEÑO DE LAS PRUEBAS DE CONCEPTO**

En este apartado se encuentra el diseño a considerar en las pruebas de concepto de cada parámetro de calidad, teniendo en cuenta la elección de los servicios a medir y las redes en que se realizan.

#### **3.1.1 SERVICIOS AL USUARIO FINAL A CONSIDERAR**

Se realiza a continuación la elección de los servicios a medir a través de la metodología expuesta en este trabajo, destacando la manera en que cada uno de ellos es implementado.

##### **3.1.1.1 SERVICIOS DE VOIP**

Los servicios de voz sobre IP considerados en este trabajo corresponden a dos tipos, ambos de código libre: una implementación de una central telefónica IP Asterisk de la corporación Elastix; y un Subsistema Multimedia IP (IMS) Open Source. Ambas alternativas emplean los protocolos SIP para el establecimiento de llamadas y solicitudes de registro, y DIAMETER para las consultas a la base de datos de usuarios. Una vez establecidas las sesiones de comunicación, se emplea el protocolo UDP/RTP para el envío de tráfico.

Además, si al servidor Asterisk se le agrega una tarjeta telefónica, es posible realizar llamadas hacia la PSTN. Para que IMS logre dicha funcionalidad se deben agregar elementos de red como por ejemplo un Media Gateway Control Function (MGCF) para la traducción de los protocolos de voz sobre IP y telefonía tradicional.

#### 3.1.1.2 SERVICIO DE EMISIÓN DE VIDEOS

Para la emisión en línea de videos se considera un servidor dedicado que contenga los videos a ser solicitados. Además, dicho servidor debe ser capaz de emitir en los protocolos UDP/RTP/RTSP vía una interfaz de red Ethernet. La emisión se realiza de manera unicast, especificando la dirección IP de destino, el puerto y/o el nombre de dominio del servidor según el protocolo a usar.

#### 3.1.1.3 SERVICIOS *OVER THE TOP* (OTT)

Los servicios OTT a ser considerados en las pruebas de concepto son: *Youtube* y *Skype*. Ambos requieren la instalación de programas en el computador del usuario: Adobe Flash Player (para Youtube) y el software de Skype, ambos descargables gratuitamente.

### 3.1.2 ALCANCES DEL DISEÑO

Se detalla en esta sección las consideraciones y los alcances a tener en cuenta en el diseño de la metodología de medición a través de las pruebas de concepto. Para esto, se entregan los principales desafíos técnicos enfrentados para la definición de cada prueba.

#### 3.1.2.1 SEGÚN SERVICIO

Se entregan las consideraciones de alcance según el servicio a ser medido.

##### 3.1.2.1.1 SKYPE [20]

Skype presenta una manera segura de proveer el servicio de VoIP al encriptar las sesiones establecidas con el cliente, es decir, es imposible usar programas espías para captar la comunicación ni programas que entreguen indicadores de calidad percibida de manera online.

Esto, sumado al hecho de que Skype tiene un protocolo propietario, deja como única alternativa viable a la grabación del audio de la llamada en los clientes para su posterior procesamiento en búsqueda de los parámetros de calidad.

Otro punto importante es que Skype presenta maneras distintas de manejar la entrega de audio de la llamada dependiendo del nivel de congestión en el enlace hacia el cliente. Así, en casos extremos, se adapta el *codec* al inicio de la llamada y se utiliza por ejemplo, menor ancho de banda para la llamada establecida. Esto último, agrega la necesidad de establecer el nivel de congestión una vez establecida la comunicación.

##### 3.1.2.1.2 YOUTUBE [21]

Youtube es un reproductor de videos FLV y MP4 embebido en una página web. La capa de transporte utiliza el protocolo TCP. Esto genera una alta dependencia entre la percepción del cliente y el tamaño del *buffer*. Dicho *buffer* corresponde a un almacenamiento temporal que

comienza a ser llenado siempre y cuando la tasa de descarga del video sea mayor a la tasa en que se reproduce el video.

Así, se heredan los problemas del protocolo TCP para la provisión de servicios en tiempo real, sin embargo genera la ventaja de que, gracias a la confirmación de recepción, se pierdan menos paquetes de datos con respecto a otros protocolos como UDP.

Por lo tanto se observa que la percepción del usuario, en cuanto a la calidad del contenido del video (calidad del *frame*), no se logra deteriorar, sino más bien la congestión de la red tiene un impacto en el tiempo que demore en interrumpirse el video. Finalmente, se deben considerar alternativas que capturen la totalidad del tiempo que toma el cliente en ver el video completo.

#### 3.1.2.1.3 VOIP Y VIDEO STREAMING (VVOIP)

Ambas opciones establecen primero sesiones entre los clientes y el servidor en pos de su registro, para luego establecer sesiones de comunicación entre los clientes para realizar la llamada. Una vez establecida la conexión de la llamada entre los clientes, se encarga la capa de transporte (UDP) del envío y recepción de datos, deslizando de dicha responsabilidad al servidor VoIP.

Al ser de código abierto y al usar protocolos de transporte tradicionales como SIP y UDP/RTP, es posible realizar capturas en la red y realizar mediciones en línea de la calidad percibida mediante programas que realicen dichas capturas.

Para la provisión de video se utilizan herramientas de código libre que realizan una emisión directa indicando el protocolo de la capa de transporte (en este caso, UDP/RTP). El video a emitirse se encuentra codificado en MPEG-2 y está en un contenedor AVI.

Esto, y al igual que en el caso de los servicios VoIP, implica la factibilidad del uso de software que capture desde la red los paquetes de información de video para su procesamiento en línea y posterior obtención de parámetros de calidad.

#### 3.1.2.2 SEGÚN RED

Gracias a que la red LTE/IMS presenta conmutación de paquetes, además de poseer un manejo a través del protocolo IP tanto en el núcleo de la red como en el plano de los usuarios, se puede ver a dicha red como una de área local en que, el núcleo, contiene servidores de señalización (tanto para los clientes como para el tráfico mismo) contenido en un segmento de red, y el plano de los usuarios en otro segmento distinto. Ambos interconectados por el SGW (Serving Gateway) de la red LTE que, a nivel IP, tiene el comportamiento de un router/Gateway traduciendo las direcciones de otra y manejando DHCP para la asignación de IP a los clientes que se registran a través de los e-nodo-B.

De esta manera, es fácil ver la analogía entre una red LTE y una red LAN, lo cual da pie para considerar la puesta en marcha de las pruebas de concepto en una red LAN previo a su implementación en LTE como una prueba prototipo.

Aclarado este punto, la red LAN/IMS a implementar debe poseer un servidor DHCP para el manejo de los usuarios de manera de emular el comportamiento de la red LTE.

En LTE, se debe poseer un módem USB para la conexión a la red. Esto añade la restricción de compatibilidad entre dicho módem y el sistema operativo del computador a ser utilizado.

Además, los programas que permiten medir QoE y aquellos que se utilizan para la provisión de los diferentes tipos de servicios presentan sus propias restricciones, las cuales están directamente relacionadas al Sistema Operativo que se escoja.

Otro punto de interés de cara al correcto funcionamiento de las pruebas, es el hecho de que en una red LTE, el servicio *Peer-to-Peer* no está habilitado por defecto por razones de carácter comercial. Este hecho impide el correcto funcionamiento de las llamadas VoIP entre usuarios de LTE puesto que una vez se establece la sesión de comunicación, el tráfico es enviado de manera peer to peer. Lo mismo sucede si se intenta emitir un video desde un cliente LTE.

### 3.1.3 DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DE LAS REDES

Se entrega el diseño final a considerar en la arquitectura de las redes y la manera en que este es realizado, de acuerdo a las entidades de red con las que se trabaja.

#### 3.1.3.1 LTE/IMS

En esta sección se desarrolla el diseño considerado de la plataforma LTE/IMS, estableciéndose sus características y presentándose en detalle cada uno de los elementos que componen la arquitectura para cada una de las mediciones a realizarse.

Se describe también la arquitectura de pruebas de LTE con la que se cuenta y las propiedades de los dispositivos dongles que permiten la conexión a la red.

##### 3.1.3.1.1 ALCANCES

La entidad IMS Open Source usada en este trabajo de título corresponde a trabajos de título anteriores, razón por la cual se heredan algunas consideraciones acerca de la instalación; agregándose algunas consideraciones nuevas en cuanto a su interconexión con la red LTE. En cuanto a la red LTE, corresponde a una arquitectura ya instalada por lo que se toma conocida y se agrega a la sección de diseño como un alcance del mismo.

##### 3.1.3.1.1.1 IMS OPEN SOURCE

Se acota su funcionalidad debido a la característica Open Source del mismo y a la necesidad de interconexión con la red LTE:

- Es una plataforma que permite el establecimiento de sesiones de voz y video además de mensajería instantánea.
- No representa un IMS comercial, por lo cual no se consideran todas las funcionalidades descritas en el estándar IMS.
- Se simplifica el sistema definiendo un grupo acotado de servidores que permiten simular el comportamiento del core de dicha arquitectura. Todos estos servidores corresponden a la mínima configuración funcional posible.
- Dichos servidores son montados en una misma máquina virtual, en la misma dirección IP.

- No se configuran parámetros de QoS en el IMS, ya que dicha labor requiere la compartición de políticas con la red LTE, lo cual es impracticable en este caso.
- Para la configuración, se adopta la IP de la red LTE.

### 3.1.3.1.1.2 RED LTE EN LA FCFM

La red LTE de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas considera dos tipos de sitios: *indoor* y *outdoor*. Para el primero, se cuenta con antenas de baja ganancia *indoor* alojadas en el Laboratorio de Telecomunicaciones del edificio de Electrotecnologías; para el segundo, se encuentran ubicadas en los techos de los edificios del DIE y del CEC antenas bi-sectoriales que permiten movilidad.

Como el presente trabajo de memoria no tiene por objetivo estudiar la movilidad ni el desempeño de LTE en radiofrecuencia, se considera sólo el ambiente indoor de pruebas.

Además, con respecto a la conexión de los usuarios a la red LTE, es vía notebooks con sistema operativo Windows XP y Windows 7. Esto, pues el dispositivo modem USB (dongle) tiene esta restricción. Para las pruebas, se cuenta con 2 módems USB LTE de la empresa ZTE los cuales se interconectan a la red LTE en modo FDD y a la frecuencia de 2,6GHz. Tienen las siguientes características:

**TABLA 8: CARACTERÍSTICAS DEL MÓDEM USB LTE [22]**

|                                      |   |  |
|--------------------------------------|---|--|
| <b>Modelo</b>                        | ZTE MF820   |  |
| <b>Modo de Operación de red</b>      | FDD/TDD   |  |
| <b>Frecuencia de operación (LTE)</b> | 2,6; 2,1; 1,8 GHz   |  |
| <b>S.O. soportados</b>               | Windows XP, Vista; 7; Mac OS X 10.5.8 y versiones posteriores |  |
| <b>Rapidez de Datos</b>              | Subida: 50 Mbps<br>Bajada: 100 Mbps                           |  |
| <b>Interfaz USB</b>                  | USB 2.0   |  |

Dichos módems se conectan mediante un puerto USB a cualquier computador que cumpla con lo especificado en la Tabla 8.

### 3.1.3.2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE LA RED LTE

En esta sección se presentan los equipos y la configuración de la red LTE con la que se cuenta para realizar este trabajo.

Una red de acceso LTE considera una arquitectura reducida en comparación a 3G, en que se manejan sólo datos paquetizados y no existe transmisión de voz nativa vía conmutación de circuitos. A través de una mejora en la modulación tanto en el downlink como en el uplink se mejora la eficiencia espectral y la rapidez envío de datos.

Para esto, el estándar LTE cuenta con 2 elementos fundamentales en su núcleo (llamados en su conjunto EPC): Mobility Management Entity (MME), Serving Gateway (SGW). Además, debe existir una base de datos de usuarios (HSS) y un Packet Data Network Gateway (PDW), para permitir la interconexión hacia otras redes (internet, entre ellas). Además, cuenta con los e-nodos-B los cuales componen las estaciones bases de este sistema junto a su controlador respectivo y a las antenas; es decir, el e-nodo-B es capaz de manejar el Handover entre celdas sin recurrir al EPC para esta función.

Para las consideraciones del diseño, y al ser el laboratorio de LTE en la Universidad una configuración previamente armada para demostraciones de esta tecnología, se mantiene ese diseño, que corresponde a una versión reducida de este sistema: existe un MME, y SGW (llamado xGW) más la base de datos de los usuarios HSS. Se omite el PDW ya que este laboratorio no cuenta con la conexión a internet.

Así, la arquitectura de LTE posee las siguientes entidades:

- UE
- E-Nodo-B
- MME
- SGW (xGW)
- HSS

#### 3.1.3.3 CONSIDERACIONES DE DISEÑO DEL IMS OPENSOURCE

IMS está compuesto por un conjunto de entidades o servidores que interactúan entre sí emulando el comportamiento del core IMS en un ambiente controlado. En este sentido, las componentes conviven en una red privada IP de computadores y se comunican a través de los protocolos establecidos en el estándar de la 3GPP para IMS.

Para escoger las entidades IMS que se adoptan para la arquitectura final, se considera lo siguiente:

- El sistema se diseña con el fin de emular el funcionamiento del core IMS.
- El acceso al sistema por parte de usuarios se realiza mediante un dongle conectado a los e-nodo-B de la red LTE.
- Existe interacción entre el IMS Open Source y el EPC de la red LTE de pruebas indoor. Esto se realiza mediante la asignación de una IP privada en la red del Serving Gateway del EPC. Así, las comunicaciones son enrutadas vía LTE entre los distintos usuarios que están conectados a los nodos.
- Se instala el IMS en un solo equipo, pues no se requiere estudiar el comportamiento de cada componente en forma aislada. Sin embargo, esta implementación podría tener incidencia en las capacidades de la red (throughput y velocidad de procesamiento).

Expuesto lo anterior se definen las siguientes características generales de diseño:

- Dado que para establecer las sesiones dentro de esta arquitectura se utiliza el protocolo SIP, se ocupa un programa Cliente SIP 3GPP (cliente SIP con alteraciones para IMS) para acceder al sistema. Dicha aplicación corre en computadores que poseen un dongle LTE y llegan a establecer la comunicación vía la interfaz aérea LTE y el EPC.

- No se consideran elementos de la arquitectura IMS que permiten la interoperabilidad con la PSTN. Tampoco se considera la conexión del IMS a una PBX-IP (como Asterisk, por ejemplo). Sin embargo, se emplea un PBX-IP privada Open Source (Asterisk) para hacer llamadas de telefonía tradicional vía IP dentro de la red LTE solamente sin interacción de éste con IMS. Se deja como trabajos futuros la conexión de dicha red a la PSTN.
- IMS permite establecer sesiones SIP exclusivamente entre los clientes SIP de la red y a través de la interfaz de usuario señalada anteriormente.

En base a las ideas anteriores se escoge un grupo acotado de entidades de la arquitectura IMS que permiten emular el core de dicha arquitectura:

- UE
- HSS
- P-CSCF
- I-CSCF
- S-CSCF
- DNS

Las seis entidades escogidas son básicas para el funcionamiento de una red IMS. El UE corresponde al terminal de usuario del cliente que posibilita el acceso al sistema que, en este caso, es un software. El HSS representa la base de datos que permite el registro de usuarios y por ende la comunicación entre los clientes SIP. El P-CSCF es el primer punto de contacto de un usuario con la red IMS. El I-CSCF participa en el registro de clientes y permite el uso de Roaming. Finalmente, el S-CSCF es el servidor SIP que sirve los requerimientos de un usuario.

Tomando en cuenta todas estas funciones, se establece su uso en el diseño de la red final. Todas las entidades mencionadas, salvo la UE, corren en el mismo computador, el cual es conectado al core de LTE mediante la asignación de una IP en la red local del plano de control del EPC.

#### 3.1.3.4 CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE LA INTERCONEXIÓN ENTRE IMS Y LTE

Para el diseño de la red LTE/IMS se consideran los siguientes elementos de la arquitectura:

1. Un acceso de radio LTE de pruebas indoor, en modo FDD
2. Un núcleo de paquetes EPC de pruebas
3. Un núcleo de control IMS Open Source
4. 2 dongles USB LTE en el lado del cliente (UE) en modo FDD
5. Un Media Server donde se alojan los videos
6. Al menos dos computadores con un módem USB LTE en UE (User Equipment) para establecer las conversaciones de VoIP, recibir videos y montar las herramientas de medición.

En la configuración de esta red se debe tener en cuenta las características Open Source de IMS y las características de prueba de LTE. Es decir, sólo el IMS es manipulable, la configuración de LTE es dada.

Para que el IMS Open Source funcione en cualquier red de acceso, dicha red debe tener la capacidad de soportar servicios Peer to Peer, lo cual es chequeable haciendo un ping entre dos

equipos conectados en dicha red. En caso en que ambos reciban el ping solicitado, no hay problemas de configuración. Si esto no es así, es posible que se den casos como el que uno de estos usuarios pueda registrarse al IMS y solicitar la llamada, pero a la hora de realizar la llamada no reciba datos RTP.

En el caso en que la red de acceso es LTE, se debe considerar que el SGW entregue direcciones IP a los usuarios LTE que sean alcanzables vía ping, además del acceso en el Firewall. Para esto, se debe ingresar al software NetNumen para configurar el SGW con el fin de permitir que los usuarios sean visibles entre ellos.

En caso extremo, puede configurarse esta opción para que se redirija a una misma compuerta de enlace por defecto (Default Gateway) a todos los usuarios LTE.

Cabe destacar que la interconexión entre el IMS y la red LTE es de carácter funcional. Esto, pues se presenta en la configuración propuesta dos bases de datos de usuarios: una de la red LTE, que tiene un manejo mediante las tarjetas SIM del módem USB; y otra de la red IMS, en la cual existen sólo dos usuarios SIP creados.

### 3.1.3.5 LAN/IMS

#### 3.1.3.5.1 ALCANCES

El uso de la red LAN en el contexto del trabajo de memoria presente tiene por objetivo entregar un marco de referencia para la puesta en marcha de pruebas de concepto aplicables a un contexto de red IP. De ese modo, se elige una cantidad mínima de dispositivos de red para abarcar la cantidad de servidores y clientes presentes en las pruebas.

IMS conserva las consideraciones de alcance de la red LTE-IMS.

#### 3.1.3.5.2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Puesto que el estudio requiere de sólo una comunicación VoIP (2 clientes interactuando) o sólo una sesión de video (1 cliente y 1 servidor), no se requiere que la red LAN tenga mayor capacidad que la encontrada en un router de bajas prestaciones; además, se considera la adición de un switch para la conexión común de los servidores de voz y videos.

Con respecto a IMS, los clientes podrán acceder vía protocolo SIP a través de la red IP directamente. Las consideraciones de diseño se conservan de la red LTE-IMS.

Por último, se agrega la interconexión del router a internet a través de un punto de red del Laboratorio de Telecomunicaciones para las pruebas de los servicios OTT.

### 3.1.4 ESQUEMA DE INTERCONEXIONES

De las secciones anteriores, se establecen las entidades que son necesarias para el establecimiento de los servicios que consideran las pruebas de concepto. Estos son:

- Núcleo de red
  - IMS
    - HSS (Home Subscriber Server)
    - CSCF (Call Session Control Function)

- P-CSCF (Proxy)
    - I-CSCF (Interrogating)
    - S-CSCF (Serving)
  - LTE (EPC)
    - MME (Mobility Management Entity)
    - SGW (Serving Gateway)
  - Servidores de Servicios
    - Central telefónica IP Asterisk (PBX-IP)
    - Servidor de Videos (VLC Media Player)
- Acceso de red
  - IMS
    - Softphones SIP
    - Clientes IMS
  - LTE
    - Módems USB LTE
      - Tarjetas SIM

En el caso particular de la red LAN/IMS, de cara a la implementación, se consideran los mismos componentes de IMS, pero se agrega un router de conexión a internet y un switch para proveer la conectividad a los usuarios.

Por motivos de simplicidad, se muestra a continuación el esquema de interconexiones en LTE/IMS. Se omite el caso de LAN/IMS pues dicho caso se desprende directamente del mostrado.

En la Ilustración 18 se muestra el esquema de interconexiones teórico, estableciendo los protocolos más importantes que realizan tanto la comunicación de señalización, como la correspondiente a los datos, y las interfaces relevantes.

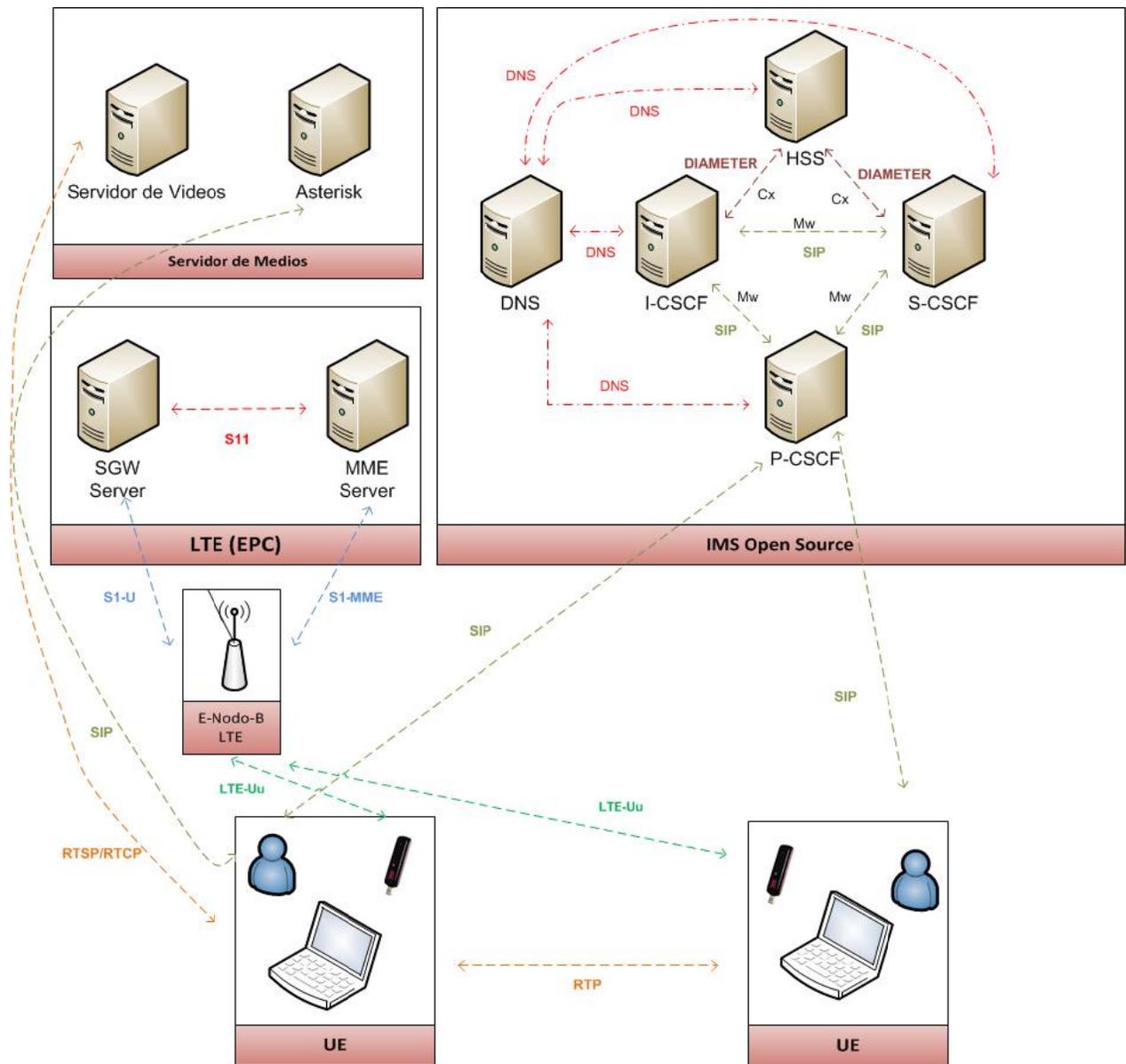


ILUSTRACIÓN 18: INTERCONEXIÓN TEÓRICA LTE-IMS

## 3.2 IMPLEMENTACIÓN DE LOS SERVICIOS

La implementación de los servicios aquí considerados requiere el levantamiento de los servidores enunciados en la sección anterior, junto a la configuración de los elementos de red de las arquitecturas de LTE y LAN.

A continuación, se describe la puesta en marcha de los elementos que permiten el funcionamiento de los servicios a usar en las pruebas de concepto.

### 3.2.1 NÚCLEO IMS Y CLIENTES

Para el levantamiento de este servidor, se debe recurrir al inicio de sus componentes: los tres servidores CSCF (S, I y P), la base de datos de usuarios HSS, y el servidor de nombres de dominio DNS. Al ser el único proyecto IMS de código abierto, se recurre al proyecto IMS del

Fraunhofer Institute for Open Communication Systems (FOKUS). Dicho trabajo contiene las funciones básicas de un núcleo de paquetes IMS para la provisión de un servicio de voz sobre IP.

En la instalación recomendada por FOKUS, se incluyen los paquetes BIND de Linux con el objetivo de la instalación del DNS.

En cuanto al cliente IMS, se recurre al proyecto de Inexbee, un softphone llamado Mercurio IMS Client. Dicho programa se encuentra en tres versiones: oro, plata, y bronce. De las tres, es la versión bronce la que se utiliza en las pruebas de concepto debido a que es la única versión gratuita. Entre las características destacables de este programa se encuentran:

- Transporte UDP y TCP
- Registro IMS de manera segura con Digest MD5, AKA-v1 and AKA-v2
- Llamadas de voz entrante/saliente
- Llamadas de video entrante/saliente
- Mensajería instantánea de gran tamaño haciendo uso de MSRP (RFC 4975)
- Soporte multi-codec: G711, GSM, iLBC, SPEEX, DVI4, AMR, H.263, H.264
- Compatible con Windows 7

Alternativamente, existe un proyecto de código abierto del Instituto FOKUS llamado myMONSTER (Multimedia Open InterNet Services and Telecommunication EnviRonment) [42] de similares características e incluso es posible su uso en S.O Linux. Sin embargo, se decide el uso de Mercurio pues presenta mejores prestaciones de *codecs* y una fácil configuración para el registro de un cliente.

El proceso de encendido de cada una de las entidades de IMS se detalla en el Anexo B: Guía de Implementación de los servicios. Una vez realizado, se logra el registro y habilitación para hacer llamadas VoIP haciendo uso de esta alternativa. Así, el esquema de la red resultante se muestra en la Ilustración 19.

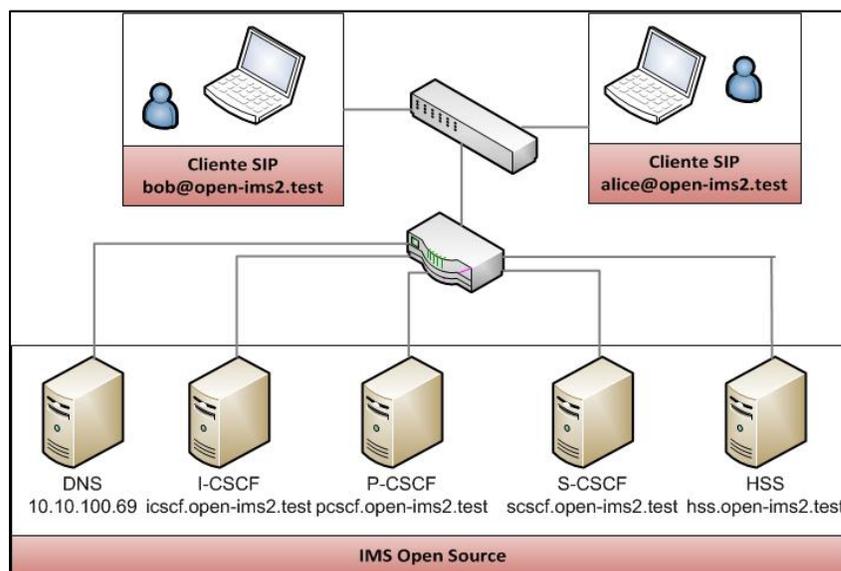


ILUSTRACIÓN 19: DIAGRAMA DE RED DE IMS Y CLIENTE SIP

Para la integración de este sistema a una red de área local (LAN), debe asignarse la IP correspondiente a cada uno de estos elementos. Además, se considera la adición de un switch a modo de separación práctica entre el núcleo de la red, donde están las entidades IMS, y el acceso a la red por parte de los clientes.

La red de área local posee el segmento 10.10.100.0/24 por lo tanto a IMS se le asigna manualmente la IP 10.10.100.69. Dicha IP es compartida por los cinco componentes, ya que debido a la escala reducida de su uso (pues se establecen comunicaciones entre dos clientes conectados en la misma red), y que no se requiere un estudio detallado de los protocolos participantes en la configuración. Sin embargo, su identificación queda establecida por los puertos que se usan. En la siguiente tabla se muestra la configuración de red para llevar a cabo la implementación del servicio de VoIP vía IMS en una red de área local.

**TABLA 9: IMPLEMENTACIÓN DE IMS Y CLIENTE EN LAN**

| <b>Entidad</b>    | <b>Dirección IP</b> | <b>Puerto</b> | <b>Nombre de dominio</b> |
|-------------------|---------------------|---------------|--------------------------|
| Cliente IMS Bob   | 10.10.100.100       | -             | ue.open-ims2.test        |
| Cliente IMS Alice | 10.10.100.101       | -             | ue.open-ims2.test        |
| IMS HSS           | 10.10.100.69        | 8080          | hss.open-ims2.test       |
| IMS P-CSCF        | 10.10.100.69        | 4060          | pcscf.open-ims2.test     |
| IMS I-CSCF        | 10.10.100.69        | 5060          | icscf.open-ims2.test     |
| IMS S-CSCF        | 10.10.100.69        | 6060          | scscf.open-ims2.test     |
| DNS               | 10.10.100.69        | -             | ns.open-ims2.test        |

Cabe destacar que la configuración IP de IMS, una vez realizada la instalación, corresponde a la IP de loopback (local) 127.0.0.1. Es decir, es posible realizar el registro de clientes y las llamadas entre ellos siempre y cuando se realice dentro del mismo computador. Para cambiar la IP por defecto se encuentran los pasos a seguir en el Anexo B: Guía de Implementación de los servicios, siguiendo dichos pasos, se procede a otorgarle la IP mencionada en la tabla anterior a modo de que el IMS sea alcanzable por IP para los clientes conectados en la red de área local. Esto mismo sucede con el nombre de dominio, de la configuración original es open-ims.test y para este trabajo se cambia a open-ims2.test con el único objetivo de probar la ejecución correcta de los pasos para cambiar la IP y el nombre de dominio que se encuentran en los anexos.

Los clientes Alice y Bob son los que trae por defecto la instalación del IMS OpenSource. No es necesaria la configuración de clientes personalizados ya que se requiere sólo de la conversación entre dos de los clientes IMS, que pueden ser los mismos recién presentados. La recomendación de FOKUS es establecer la llamada desde Alice hacia Bob.

Finalmente, la red de interconexión entre IMS y los clientes en área local se muestra en la Ilustración 20, con las IP asignadas.

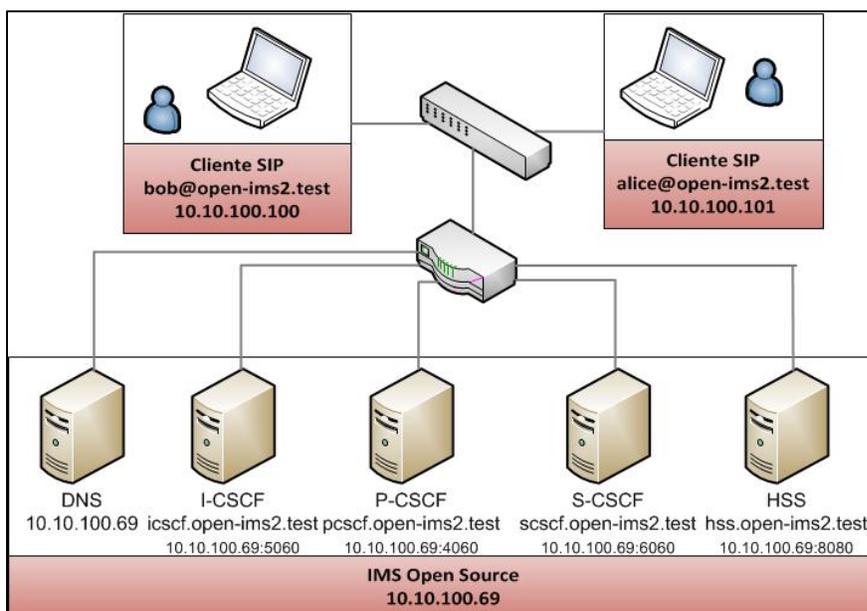


ILUSTRACIÓN 20: CONFIGURACIÓN IP DE IMS Y CLIENTES EN RED LAN

Ahora bien, para el caso de la conexión de IMS a la red de LTE, es necesario conocer la dirección Ethernet de la red del núcleo LTE (EPC). La configuración del núcleo por parte de ZTE establece la necesidad de conexión al switch mostrado en la Ilustración 11. A dicho switch le corresponde el segmento de red 10.2.100.0/24, sin DHCP. Es por estas consideraciones que para la puesta en marcha de IMS en LTE basta con realizar un nuevo cambio de IP a las entidades antes mencionadas, sin ser necesario el cambio respectivo de dominio. Además, los clientes ahora pasan a ser parte de la red de acceso de LTE.

La red de acceso de los clientes tiene el segmento 70.70.2.0/30. La IP es asignada por el servidor SGW de manera automática, cambiando a su vez la compuerta de enlace predeterminada (DGW) para cada usuario también de manera dinámica (es decir, dos clientes LTE no tienen una misma compuerta de enlace, a diferencia de una red Ethernet tradicional en que todos los hosts comparten la misma predeterminada). En la Tabla 10 se muestran las configuraciones para la red de área local del núcleo de LTE (EPC).

TABLA 10: IMPLEMENTACIÓN DE IMS Y CLIENTES EN LTE

| Entidad           | Dirección IP | Puerto | Compuerta por defecto (DGW) | Nombre de dominio    |
|-------------------|--------------|--------|-----------------------------|----------------------|
| Cliente IMS Bob   | 70.70.2.7    | -      | 70.70.2.2                   | ue.open-ims2.test    |
| Cliente IMS Alice | 70.70.2.8    | -      | 70.70.2.1                   | ue.open-ims2.test    |
| IMS HSS           | 10.2.100.69  | 8080   | 10.2.100.11                 | hss.open-ims2.test   |
| IMS P-CSCF        | 10.2.100.69  | 4060   | 10.2.100.11                 | pcscf.open-ims2.test |
| IMS I-CSCF        | 10.2.100.69  | 5060   | 10.2.100.11                 | icscf.open-ims2.test |
| IMS S-CSCF        | 10.2.100.69  | 6060   | 10.2.100.11                 | scscf.open-ims2.test |
| DNS               | 10.2.100.69  | -      | 10.2.100.11                 | ns.open-ims2.test    |

Finalmente, las conexiones de red necesarias para la integración entre IMS y LTE con las consideraciones realizadas se muestran en la Ilustración 21.

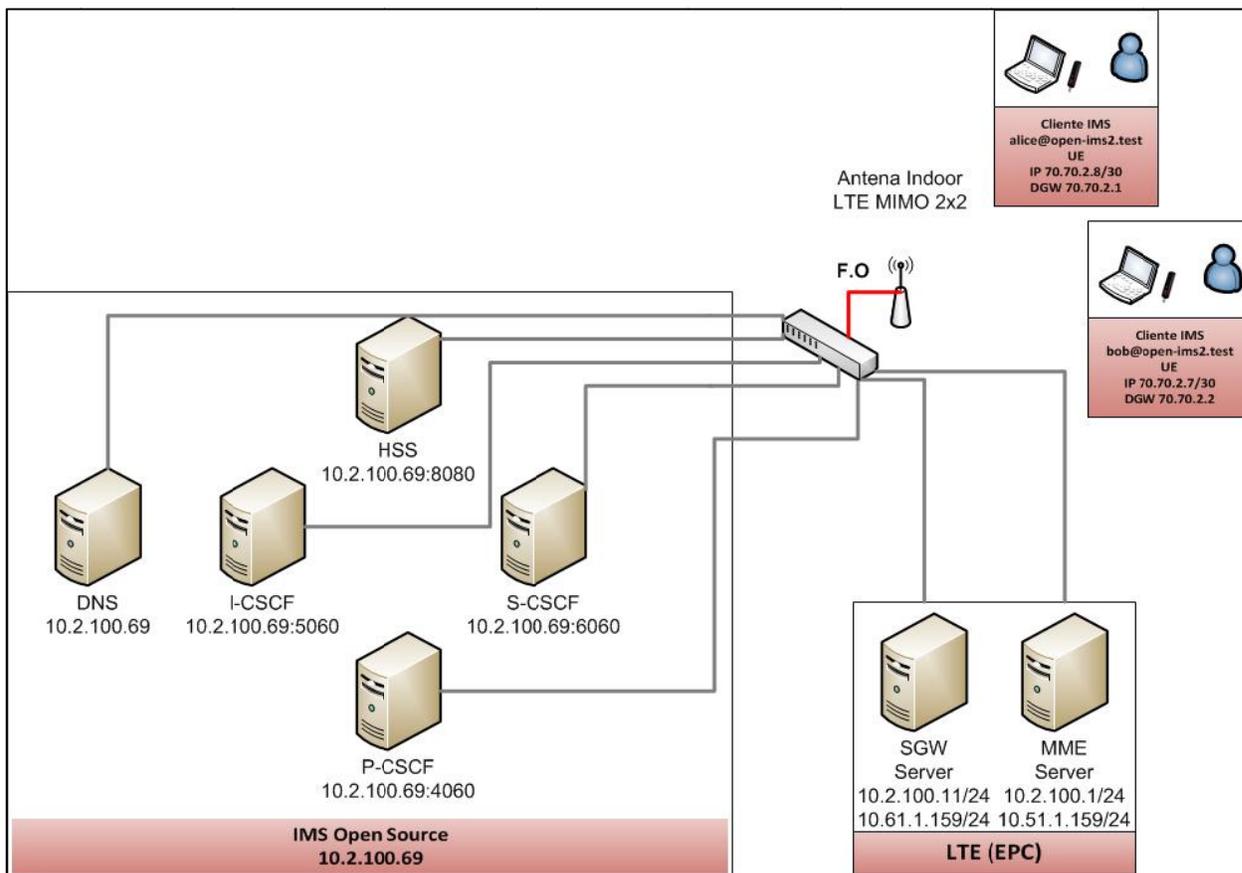


ILUSTRACIÓN 21: CONFIGURACIÓN IP DE IMS Y CLIENTES EN RED LTE

### 3.2.2 SERVIDOR ASTERISK Y CLIENTES

Para el levantamiento de la central telefónica IP Asterisk, en la versión de Elastix, basta encender la máquina en que corre. Dicha máquina detecta automáticamente la configuración de la red, en caso de DHCP; de lo contrario, debe ser asignada manualmente según lo mostrado en el Anexo B: Guía de Implementación de los servicios. Una vez hecho esto, Asterisk está habilitado para recibir peticiones de registro de los anexos previamente configurados en su base de datos.

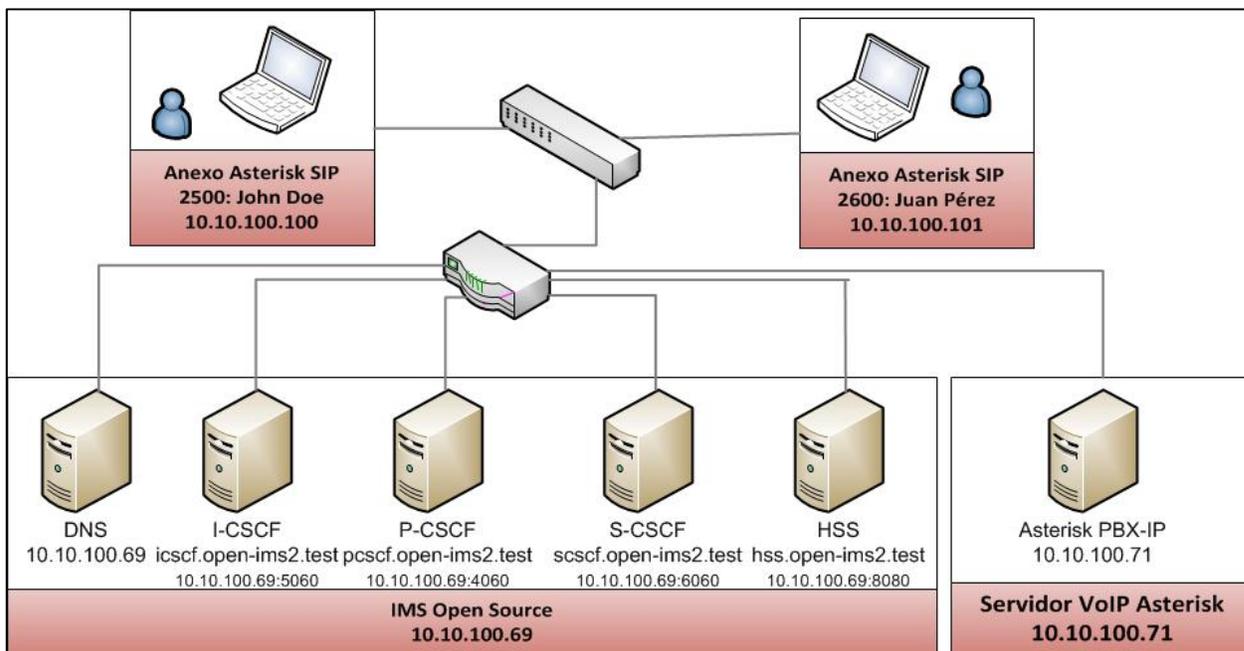
Así, su integración a las redes LAN y LTE son de manera directa tan sólo bastando asignar la IP. Ahora bien, para que los clientes puedan acceder a sus servicios, se cuenta con el softphone X-Lite (versión 3.0). Éste es un programa que cuenta con el protocolo SIP 3GPP para el manejo de sesiones con servidores VoIP y además presenta las siguientes características: tiene distintos codecs de voz (G711 u-law, a-law, GSM), documentación y soporte, y funciona en Windows y Linux.

Las máquinas deben poseer las mismas IP asignadas en el caso de la integración de IMS con LAN, e IMS con LTE, y los clientes se configuran según los anexos asignados. En la instalación mostrada en el anexo, se ha dispuesto la configuración de dos anexos: 2500 (John Doe) y 2600 (Juan Pérez). En la Tabla 11, se muestra un resumen de la información IP de Asterisk y los clientes asignados.

**TABLA 11: IMPLEMENTACIÓN DE ASTERISK Y CLIENTES EN LAN**

| Entidad              | Dirección IP  | Anexo |
|----------------------|---------------|-------|
| Anexo SIP John Doe   | 10.10.100.100 | 2500  |
| Anexo SIP Juan Pérez | 10.10.100.101 | 2600  |
| Asterisk Elastix     | 10.10.100.71  | -     |

Con estas cofiguraciones, basta agregar entonces el servidor Asterisk a las ilustraciones mostradas en el caso de IMS para obtener la nueva versión de la red LAN.



**ILUSTRACIÓN 22: ASTERISK Y CLIENTES EN RED LAN/IMS**

Para su integración con LTE, Asterisk debe poseer una dirección IP válida en el segmento de red del núcleo LTE. Se asigna la dirección 10.2.100.71.

**TABLA 12: IMPLEMENTACIÓN DE ASTERISK Y CLIENTES EN RED LTE**

| Entidad              | Dirección IP | Anexo | Compuerta por defecto (DGW) |
|----------------------|--------------|-------|-----------------------------|
| Anexo SIP John Doe   | 70.70.2.7    | 2500  | 70.70.2.2                   |
| Anexo SIP Juan Pérez | 70.70.2.8    | 2600  | 70.70.2.1                   |
| Asterisk Elastix     | 10.2.100.71  | -     | 10.2.100.11                 |

Finalmente, la red LTE considerando Asterisk se muestra en la Ilustración 23.



Complementando la red LAN con el servidor de videos, el diagrama final se establece en la Ilustración 24

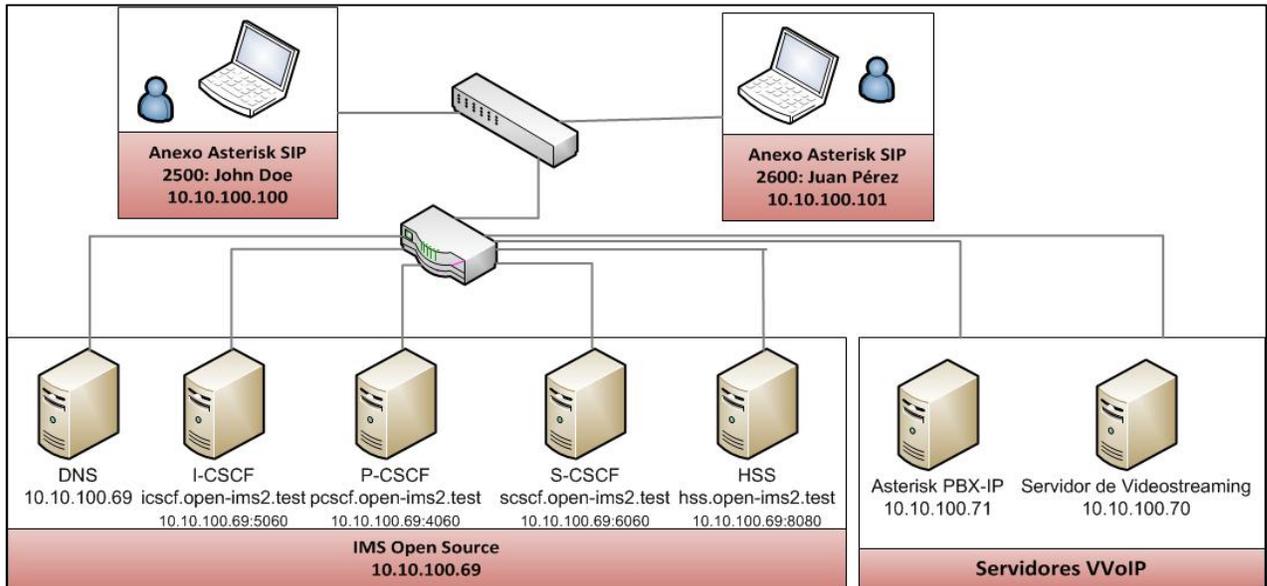


ILUSTRACIÓN 24: VIDEOSTREAMING Y CLIENTE EN RED LAN/IMS

Cabe destacar que para la provisión de video, las peticiones se realizan directamente entre el cliente y el servidor, sin pasar por un elemento control de sesiones como IMS. Sin embargo como el objetivo de este trabajo es obtener mediciones de calidad una vez establecida la comunicación, no es necesario incluir este ítem.

Las asignaciones IP para la puesta en marcha de videostreaming sobre LTE se muestran en la Tabla 14.

TABLA 14: SERVIDOR DE VIDEOSTREAMING Y CLIENTE EN RED LTE/IMS

| Entidad                    | Dirección IP |
|----------------------------|--------------|
| Servidor de VideoStreaming | 10.2.100.70  |
| Cliente de VideoStreaming  | 70.70.2.7    |

El diagrama resultante para el ofrecimiento de servicios de video y voz sobre IP (VVoIP) en la red LTE se muestra en la Ilustración 25:

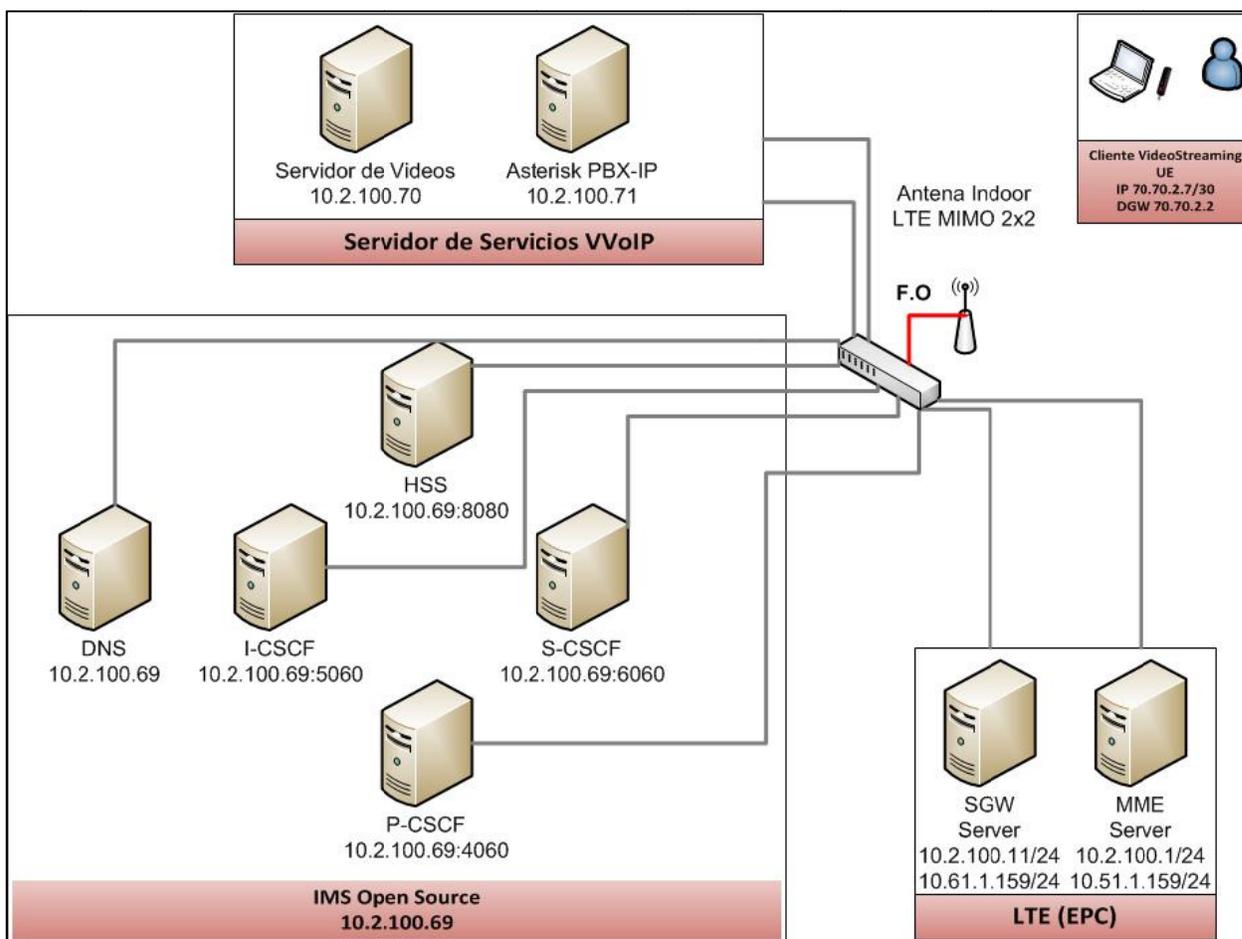


ILUSTRACIÓN 25: SERVIDOR DE VIDEOSTREAMING Y CLIENTE EN RED LTE/IMS

### 3.2.4 SKYPE Y YOUTUBE

Para la puesta en marcha de ambos servicios se requiere de una conexión a internet de banda ancha. Al ser ambos Over The Top (OTT), sólo requieren la instalación de ciertos programas en el computador del usuario sin la necesidad de establecer el servicio vía proveedor de internet (ISP).

De esta manera, su puesta en marcha se resume a la configuración de una cuenta en *Skype*, la descarga e instalación del programa y de la conexión a internet apropiada. En cuanto a *Youtube*, se requiere también la instalación de Adobe Flash Player, el cual es el reproductor embebido que utiliza.

Así, se observa en la Ilustración 26 y la Ilustración 27 las configuraciones finales necesarias en la red LAN y LTE para la implementación de todos los servicios.

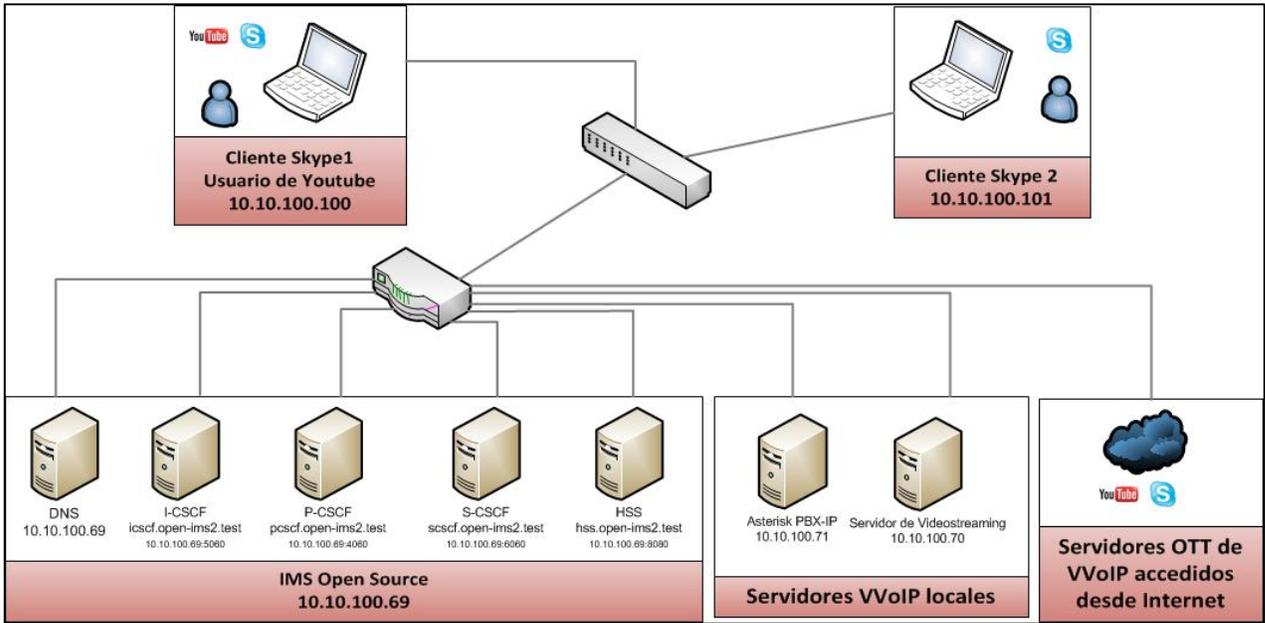


ILUSTRACIÓN 26: SERVICIOS OTT Y CLIENTES INTEGRADOS EN RED LAN/IMS

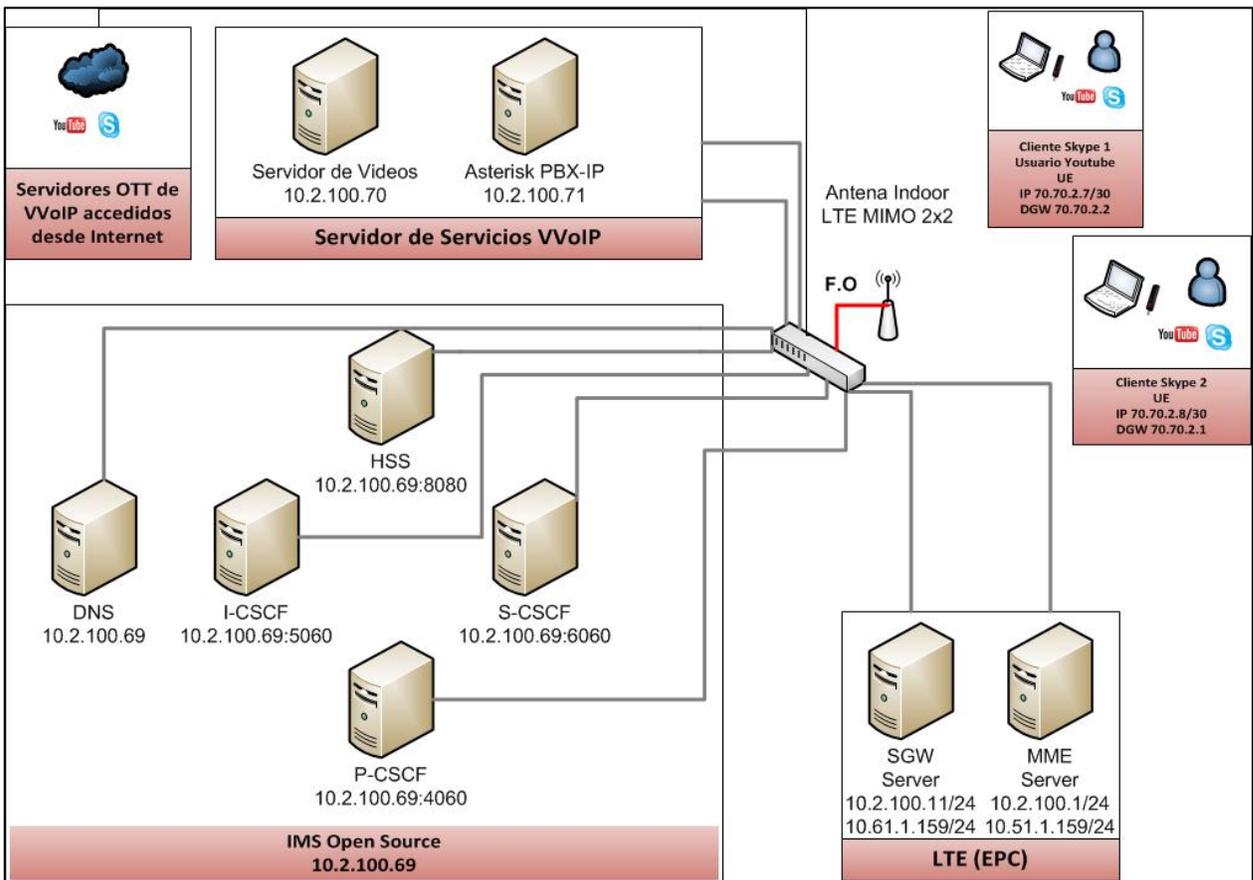


ILUSTRACIÓN 27: SERVICIOS OTT Y CLIENTES INTEGRADOS A RED LTE IMS

### 3.3 IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS

En las pruebas de concepto se debe poder medir tanto la calidad de servicio QoS, como la obtención de los parámetros de eficiencia de una red: latencia (*latency* o *delay*), tasa de descarga de datos (*throughput*), variación de latencia (*jitter*) y pérdida de paquetes (*packet loss*).

Para lograr las mediciones de calidad de experiencia (QoE), se utilizan dos tipos de herramientas: en línea (*online*) y fuera de línea (*offline*). Las primeras, establecen una captura del tráfico en la red de una conversación (VoIP) o de una emisión de video (videostreaming) vía interfaz IP; las segundas, realiza las mediciones de los parámetros de calidad estableciendo comparaciones mediante algoritmos con los archivos obtenidos mediante grabaciones de las llamadas o de los videos.

Las mediciones de calidad deben ser obtenidas en diversas condiciones de congestión de red controlando el enlace del cliente donde se realizan las mediciones y capturas de manera de variar los parámetros de red (retardo, variación de retardo, pérdida de paquetes y tasa de transmisión de datos) y obtener medidas de QoE por cada condición.

Se presentan a continuación las herramientas utilizadas en el contexto de este trabajo de título, destacando que se presentan a modo de alternativas y su posterior inclusión depende de cada uno de los objetivos particulares a conseguirse con cada prueba de concepto.

#### 3.3.1 HERRAMIENTA PARA EMULAR EL EMPEORAMIENTO DE LAS CONDICIONES DE RED: NEWT

Existen muchas herramientas disponibles en la web para el control de la congestión en un enlace de red. Por ejemplo está la aplicación Traffic Control de Linux que permite emular condiciones de red vía línea de comandos a través de una irrupción en un determinado enlace agregando un computador con dos interfaces de red que sirva como un enrutador transparente a los clientes. Así como también se pueden nombrar a Netdisturb [23] y DummyNet [24].

Todas estas herramientas tienen este mismo propósito. Sin embargo, de cara a la implementación en la red LTE de la FCFM, se debe considerar la restricción que esto añade: la imposibilidad de agregar elementos de red al interior de la lógica operativa tanto de la red de acceso como de la red del núcleo. Esto significa que no se puede realizar control de congestión en la red de acceso ni en el núcleo, dejando como única alternativa viable al control de los parámetros de red desde el mismo cliente.

Con este objetivo, se establece el uso del programa de Microsoft *Network Emulator for Windows Toolkit* (NEWT) [25]. Esta herramienta permite la adición del elemento de control en la interfaz de red a ser usada para la comunicación del cliente con los servidores de VVoIP (voz y video sobre IP) y con el usuario con quien realice la conversación.

La implementación nada más requiere de la instalación del programa en S.O. Windows 7 y de los permisos de Administrador. Una vez ejecutado, establece una búsqueda de las interfaces de red existentes en la máquina.

Para establecer una nueva condición de red, se deben agregar un “Filtro” y un “Enlace” en el canal que resultará adulterado. Dentro de las alternativas de control, el Filtro solicita el tipo de red a controlar: IPv4 o IPv6, el protocolo específico (o todos), los puertos y las interfaces a congestionar. Una vez establecido el filtro, debe agregarse un Enlace. EN este último, se determina el valor del parámetro de red a ser adulterado. Entre los parámetros ajustables se encuentran:

- Ancho de banda
- Latencia
- Pérdidas de Paquete
- Errores
- Inyección de tráfico

Una vez seleccionadas las condiciones basta con pulsar el botón “Run” y el programa establecerá las nuevas condiciones de red.

A modo de observación, como los valores de estos parámetros presentan un carácter dinámico, en que si, por ejemplo, se varía sólo el ancho de banda, también se variaría la tasa de pérdidas de paquetes, aún cuando en el programa no esté configurada dicha opción. Esto es inevitable con esta herramienta.

En la Ilustración 28, se muestra un ejemplo de configuración de NEWT.

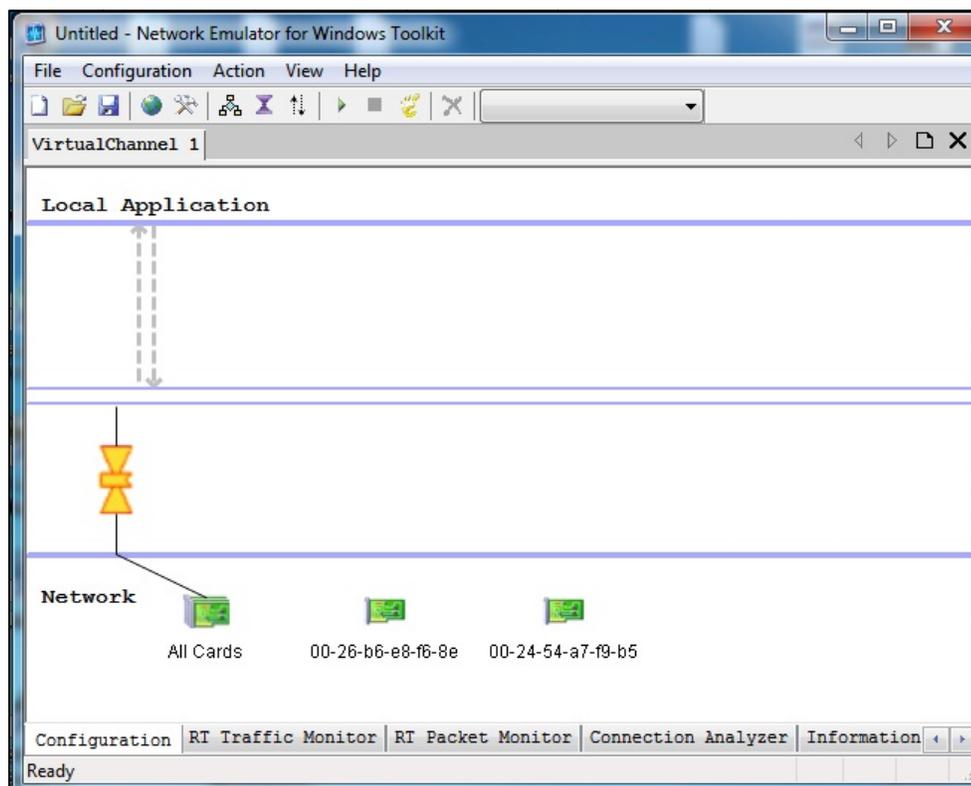


ILUSTRACIÓN 28: EJEMPLO DE USO DE NEWT

### 3.3.2 HERRAMIENTAS PARA OBTENCIÓN DE PARÁMETROS DE LAS REDES (QOS)

#### 3.3.2.1 IPERF [26]

IPerf corresponde a un programa basado en herramientas de código abierto, a través de comandos, y una mirada cliente-servidor para la obtención de parámetros de red en el enlace que los une. Estas pruebas requieren como entrada la dirección IP del cliente y el servidor; el puerto del cliente; el protocolo de transporte usado para el envío de tráfico (TCP o UDP); los tamaños de buffer, paquetes y ancho de banda de la conexión en el caso de una prueba UDP y el tamaño de ventana y buffer en la prueba TCP.

Se puede incluso inyectar tráfico a la red ingresando como parámetro la distribución estadística del tráfico para, por ejemplo, ver como varía ésta sus parámetros ante la congestión. Como salidas del programa se entregan el estado de tasa de transmisión de datos, la variación de latencia y el porcentaje de pérdidas de datagramas IP, en el caso de una prueba UDP; y sólo la tasa de transmisión de datos y pérdida de paquetes en la prueba TCP.

Alternativamente, existe una implementación paralela de este programa con una interfaz gráfica llamada JPERF, la cual genera los comandos de configuración automáticamente tan sólo entregando la configuración deseada de la prueba. A parte de esto, también cambia la manera de presentar los datos ya que si bien IPERF los arroja desde la línea de comandos, JPERF entrega un gráfico en tiempo real de la tasa de transmisión de datos y variación de latencia.

Dependiendo del enlace en que se miden los parámetros de red: extremo-extremo (entre clientes en la red de acceso) o cliente-servidor (es decir, entre el acceso y el núcleo de la red), deben ser consideradas las IP a entregarse. En ambos casos se debe ejecutar el programa tanto en el cliente como en el servidor de la prueba.

Así, como ejemplo, si en la red LAN establecida en las secciones anteriores se desea obtener la variación del retardo entre el cliente y el servidor de videos, tan sólo basta con ingresar a JPERF en el cliente y marcar la prueba UDP con un ancho de banda típico de una red de estar características (100 Mbps) e indicar la IP de ambos extremos: la IP del cliente 10.10.100.100 y la IP del servidor de videos 10.10.100.70, como se muestra en la Ilustración 29. En el servidor también debe ejecutarse JPerf pero basta con hacer click en “Run IPERF” para que automáticamente el programa esté atento al tráfico enviado desde el cliente. Una guía más completa se puede encontrar en el ANEXO C.

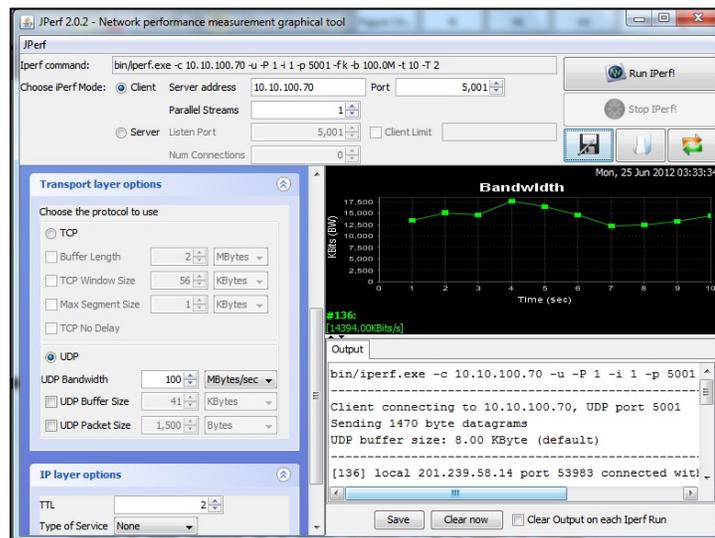


ILUSTRACIÓN 29: EJEMPLO DE USO DE JPERF EN RED LAN

Para el caso de LTE el ejercicio es similar bastando la asignación de las IP correspondiente a la red e acceso y núcleo respectivamente como cliente-servidor.

### 3.3.2.2 ROUND TRIP TIME (RTT)

Para medir el retardo y/o latencia, basta con realizar una prueba PING desde la línea de comandos del sistema operativo entre los puntos que se quiere realizar la medición. Esta aplicación del protocolo ICMP realiza un *echo request* hacia la IP de destino empezando a registrar la latencia una vez recibe el primer *acknowledge (ack)*. Con la única salvedad de que RTT es el tiempo de ida y vuelta que demora la solicitud en ser contestada.

Tanto para el uso de IPERF/JPERF como el de PING se debe tener el cuidado de que la red esté habilitada para el envío de tráfico de manera *Peer to Peer*. Existen Firewalls y operadores de red que deshabilitan esta opción, al igual que el caso de PING, ante posibles vulnerabilidades de seguridad y ataques de DDoS o *PING de la muerte*.

## 3.3.3 HERRAMIENTAS PARA OBTENCIÓN DE CALIDAD DE EXPERIENCIA (QOE)

### 3.3.3.1 EN LÍNEA

#### 3.3.3.1.1 VQMANAGER [27]

Para la medición del parámetro de nota media de opinión (MOS) de manera en línea se considera el programa comercial de ManageEngine llamado VQManager, el cual es una herramienta para el monitoreo online 24/7 en redes VoIP. Monitorea cualquier equipamiento VoIP que utilice protocolos SIP, H.323, Cisco SCCP (Skinny) y/o RTP/RTCP de manera no intrusiva.

Su implementación requiere de una máquina con Windows o Linux y de permisos de administrador para poder captar las interfaces de red que posee. La configuración de esta herramienta es vía web y su instalación puede ser como un programa tradicional, o como un servicio del sistema operativo.

El uso en el contexto de este trabajo únicamente es para la medición de MOS aún cuando puede medir también retardos, variación de retardos, factor R, pérdida de paquetes y la tasa de datos transmitidos durante la llamada. Su instalación se realiza en las máquinas de los clientes que están ejecutando las llamadas de VoIP, ya sea mediante IMS o Asterisk.

Para proceder a realizar la captura se ingresa a la interfaz web del programa mediante una solicitud a la dirección: "localhost: 8647" desde un navegador. Es decir, se debe recurrir al puerto en que fue instalado el servidor web. Para poder ingresar, se debe conocer el usuario y la contraseña. Una vez ingresado al servidor, se procede a establecer la interfaz de red a capturar. El programa entrega una lista con las interfaces encontradas según dirección MAC e IP por lo que se debe conocer previamente estos datos. Una vez seleccionada la interfaz, se solicita la configuración para el monitoreo. Se debe seleccionar la captura en todos los puertos del cliente y vía protocolos SIP y RTP/UDP.

La Ilustración 30 muestra un ejemplo de como se despliegan los resultados desde la página web en una llamada VoIP.

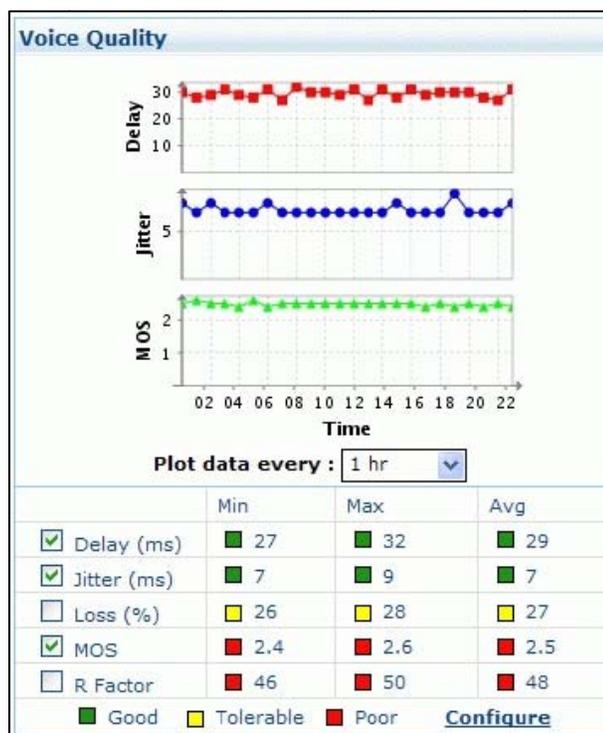


ILUSTRACIÓN 30: EJEMPLO DE MONITOREO DE VOIP CON VQMANAGER

Los pasos de instalación y configuración para realizar las capturas con esta herramienta se detallan en el Anexo C.

### 3.3.3.1.2 VIDEO QUALITY MONITOR [28]

Una herramienta similar para la medición online de VideoStreaming es Video Quality Monitor. Este programa es un producto comercial de Acceptv, empresa que forma parte del Video Quality Experts Group (VQEG).

Produce evaluaciones de calidad percibida expresada en MOS (Mean Opinion Score) de 1 (lo más bajo) y 100 (la mejor calidad percibida) expresadas alternativamente en rangos: entre 1-20 es *mala* calidad; entre 20-40 es calidad *pobre*; entre 40-60 es *aceptable*; entre 60-80 es *buena* calidad y entre 80-100 es *excelente*. Estas mediciones están dedicadas a los *codecs* MPEG -2 y MPEG-4/AVC (H.264). La métrica utilizada por esta herramienta está optimizada para tener una alta correlación con juicios de personas recolectados a través de pruebas de calidad subjetiva en condiciones normalizadas de acuerdo a las recomendaciones de la ITU BT.500 e ITU BT.710.

Al ser un producto comercial, se usa una versión de pruebas que se extiende por un período de 2 semanas.

La instalación de esta herramienta requiere de:

- Filtros Elecard
  - Elecard NW Source Plus
  - Elecard MPEG Demultiplexer
  - Elecard MPEG Push Demultiplexer

- En caso de instalación en Windows 7, deshabilitar *Media Foundation*
- Instalación de *ffdshow* (el archivo de instalación está incorporado en el programa)
- Permisos de administrador

La instalación y configuración del programa para las mediciones a realizar en este trabajo se detallan en el Anexo C.

Para su implementación de manera en línea se debe especificar los parámetros enunciados a continuación:

- Protocolo de emisión del video
- Protocolo de emisión del audio
- Configuraciones IP de la emisión:
  - IP multicast de la emisión
  - IP del servidor de video
  - Puerto utilizado para la emisión
  - IP de la interfaz del cliente en que corre el programa

Una vez especificadas estas condiciones, el programa procede a capturar desde la red el tráfico en busca de la emisión. Una vez detectada, se puede empezar a capturar los cuadros (*Frames*) de la emisión y, en paralelo, se obtienen los parámetros de MOS en línea. En la Ilustración 31 se muestra un ejemplo del programa capturando un video .avi.

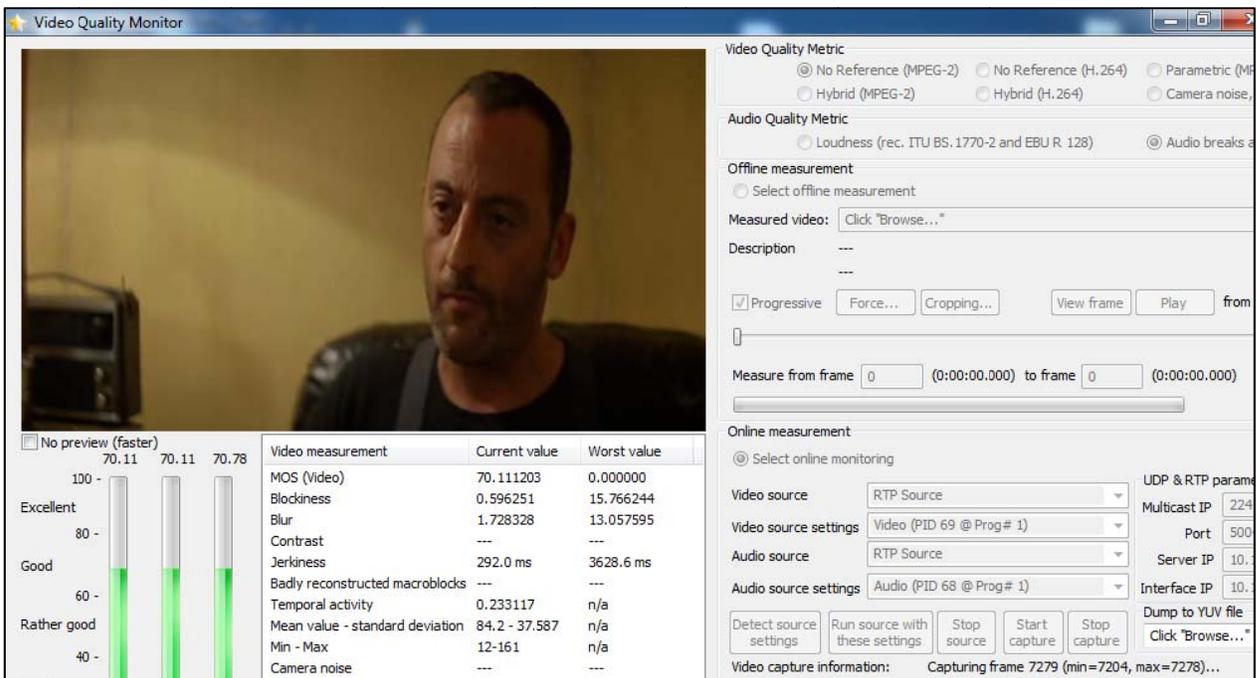


ILUSTRACIÓN 31: EJEMPLO DE CAPTURA Y MEDICIÓN ONLINE DE MOS CON VQM

### 3.3.3.2 FUERA DE LÍNEA

#### 3.3.3.2.1 ALGORITMO PESQ

PESQ (Perceptual Evaluation of Speech Quality) es usado para la evaluación objetiva de calidad de señales de audio mediante técnicas de supresión de ruido. La versión a ser utilizada corresponde a una implementación en MATLAB del algoritmo realizada por Philipos C. Loizou, profesor de la Universidad de Texas, Dallas [29].

Esta herramienta requiere como entradas:

- Archivo original a ser transmitido, en formato WAV
- Archivo obtenido mediante grabación en el receptor, en formato WAV
- Frecuencia de muestreo (8000-16000 Hz)

Como única salida, el programa entrega un valor en la escala de MOS 1-5.

Por lo tanto, esta herramienta sirve para la entrega de MOS de manera fuera de línea únicamente para audio. Así, para su uso, se debe establecer una llamada VoIP y desde el micrófono de uno de los usuarios se debe introducir una emisión de sonido desde un archivo WAV para ser grabada al otro extremo de la comunicación, también en un archivo WAV. Este procedimiento puede verse en la Ilustración 32.

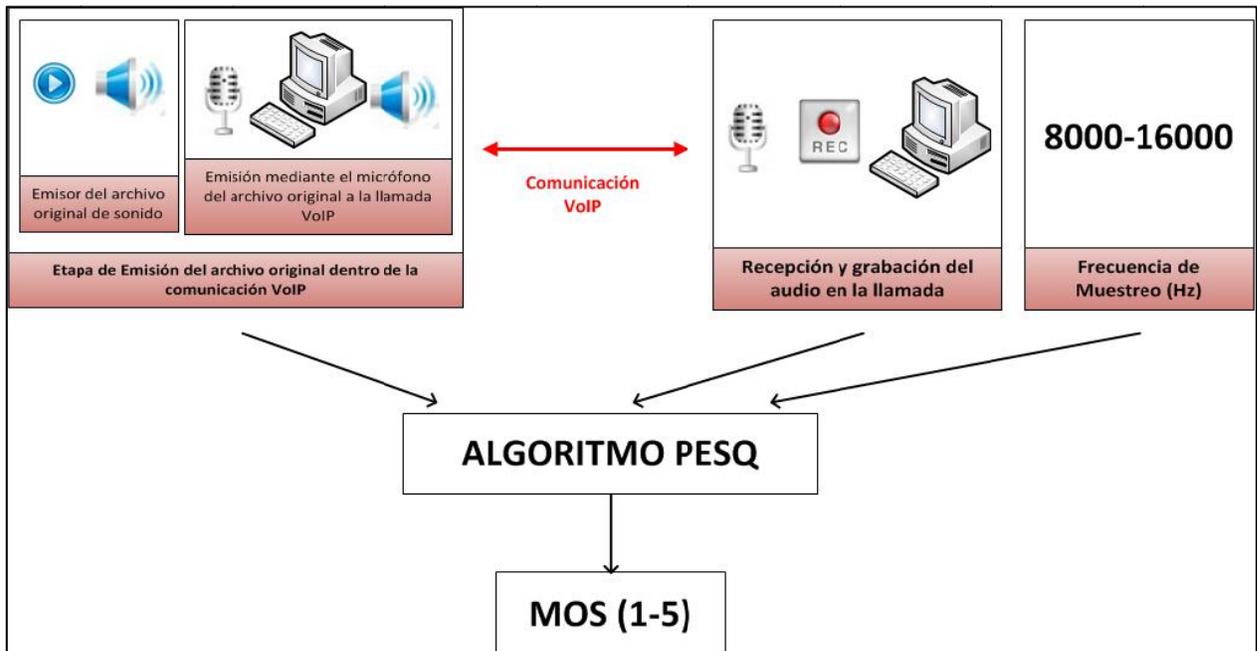


ILUSTRACIÓN 32: PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE MOS OFFLINE CON PESQ

El requisito fundamental del algoritmo es que ambos archivos de sonido deben poseer la misma extensión en tiempo y en tamaño.

### 3.3.3.2.2 MSU VIDEO QUALITY MEASUREMENT TOOL (MSU VQMT) [18]

La herramienta MSU VQMT es un programa para la medición de calidad objetiva de videos. Permite el uso de diferentes métricas de comparación (PSNR, SSIM, y VQM, entre otras propias para medir discordancias de señal como blockiness y jerkiness) para la comparación objetiva de *codecs* de video, condiciones de transmisión y filtros.

A diferencia de las otras herramientas, MSU VQMT no proporciona MOS, pero sí entrega un indicador llamado VQM que incorpora la correlación con la percepción humana de los videos y, al igual que el MOS de Video Quality Monitor, entrega un valor de 1 a 100 de acuerdo a la calidad del video a evaluar en comparación con el video original.

Su implementación requiere nada más que su instalación en un computador con S.O. Windows, y su uso requiere del ingreso de los archivos de video original y el video a evaluar. El requisito fundamental de este programa es que los archivos deben tener audio y estar contenidos en formato AVI.

El procedimiento de uso se observa en la Ilustración 33.

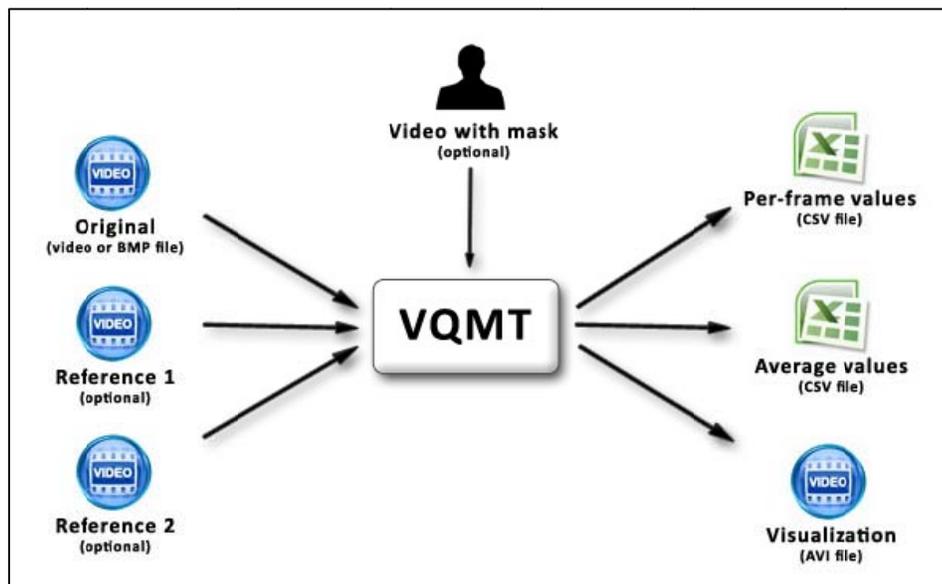


ILUSTRACIÓN 33: PROCEDIMIENTO DE USO DE MSU VQMT [18]

### 3.3.3.2.3 VIDEO QUALITY MONITOR [28]

Como característica adicional de este programa ya mencionado en la sección de las herramientas en línea, es que es posible realizar pruebas de calidad de archivos de video de manera local en modo No-Referencia (es decir, sin realizar la comparación con un archivo original) entregando también MOS.

La configuración de esta característica se detalla en el Anexo C.

## 3.4 PRUEBAS DE CONCEPTO

En esta sección se establecen los objetivos particulares de cada una de las pruebas a diseñar, junto a las consideraciones de red, herramientas de medición y servicios a implementar.

Las pruebas de concepto a ser establecidas deben considerar dos escenarios de congestión de red: red óptima y congestionada.

### 3.4.1 CONDICIONES DE RED

Las mediciones de calidad de experiencia de cada servicio son vulnerables a muchos factores: calidad de las aplicaciones, nivel de congestión de las redes, comportamiento de cada *codec*, nivel de experiencia del usuario, etc.

Con la mirada de un operador de redes móviles, se establece que el elemento más importante a la hora de evaluar la percepción de los usuarios de la red según el servicio que utilice el cliente es precisamente el nivel de congestión de la red. Por esta razón se establecen dos condiciones: óptima y congestionada. La primera es semejante a las condiciones en que se evaluarán los parámetros de red (QoS) sin la inyección de tráfico en la red; la segunda establece niveles de congestión vía la modificación de los parámetros de red.

#### 3.4.1.1 ÓPTIMAS

Las mediciones de calidad de experiencia (QoE) y de servicio de la red (QoS) son calculadas en esta condición. Se debe vigilar la no adición de tráfico a la red, y se deben establecer las llamadas VoIP entre dos clientes únicamente; y sólo una petición de videostreaming debe ser establecida. Es decir, no se demandará una excesiva capacidad. Esto, genera un alto impacto en la calidad percibida de los servicios vía red en el usuario ya que, al no usar excesivamente los recursos disponibles, no se llenan las colas de los routers lo que se traduce en mínima pérdida de paquetes, ni se añaden latencias excesivas por el tiempo de espera en los buffers, ni se limita la tasa de transmisión de datos desde el núcleo de la red puesto que se maneja a pocos clientes. Además, la variación de retardo de la red también será mínima pues no existe mayor manejo de tráfico y se hace uso de la red por un período corto de tiempo.

#### 3.4.1.2 CONGESTIONADAS

Se mide QoE de los servicios obteniendo cada resultado variando un parámetro de red a la vez. Las condiciones se fijan con el programa NEWT, según lo que se indica en la Tabla 15, siendo controlados: retardo, ancho de banda y pérdida de paquetes.

TABLA 15: CONDICIONES DE RED CONGESTIONADA

| Servicio   | Calidad de Servicio de Red       | Parámetros |     |     |            |
|------------|----------------------------------|------------|-----|-----|------------|
|            |                                  |            |     |     |            |
| VoIP/Video | Nivel de Pérdida de Paquetes (%) | 4          | 8   | 12  | 0          |
| VoIP/Video | Nivel de Latencia (mS)           | 50         | 100 | 150 | 0          |
| Video      | Nivel de ancho de banda (kbps)   | 250        | 500 | 750 | Sin Límite |
| VoIP       | Nivel de ancho de banda (kbps)   | 50         | 75  | 100 | Sin Límite |

Se destaca la diferencia entre el nivel de ancho de banda para el servicio de video y para el de VoIP. En el caso de una emisión de video de un archivo de calidad estándar (SD) se requiere un ancho de banda de 1 Mbps (valor entregado por el programa VLC Media Player), razón por la cual se estima conveniente para la prueba los niveles de 250, 500 y 750 kbps. En el caso de VoIP, depende del *codec* utilizado; sin embargo, una buena aproximación es considerar un uso promedio de 50-60 kbps (valor entregado por el programa VQManager).

### 3.4.2 PRUEBAS RELACIONADAS A LOS PARÁMETROS DE RED (QoS)

El objetivo de esta primera prueba es determinar los parámetros de red propios de cada arquitectura en que se proveen los servicios a evaluar. La importancia de esto radica en que se logran desprender las ventajas y desventajas de cada arquitectura de red de cara a la posibilidad de ofrecer los servicios aquí estudiados.

La importancia específica y la manera en que afecta a un determinado servicio se muestra a continuación.

#### 3.4.2.1 RETARDOS

Los retardos en una red IP son causa de las demoras en el tiempo de transmisión y procesamiento de la información además del tiempo de ejecución y procesamiento de las aplicaciones que usan los usuarios.

En servicios de tiempo real, los retardos impactan en el tiempo en que un usuario debe esperar para establecer la conexión y, una vez establecida, en las demoras temporales de la comunicación misma.

#### 3.4.2.2 ANCHO DE BANDA

El uso del ancho de banda por parte de cada uno de los servicios considerados en este trabajo de memoria es dispar, siendo el de videostreaming el de mayor consumo. El throughput, por otra parte, es un indicador (en bps) del máximo ancho de banda soportado por un canal para la transmisión de datos. De esta manera, el throughput de la red se convierte en un factor de importancia en las mediciones a realizar ya que si se satura el canal con tráfico no se podría garantizar el correcto funcionamiento de los servicios aquí analizados ya que se generaría un 100% de pérdidas de paquetes.

En una red móvil, esto es aún más importante pues los recursos son compartidos entre los usuarios de una celda en específico y aún si la red tiene un throughput elevado puede saturarse con tráfico proveniente de dichos usuarios, siendo aún más necesario contar con que la voz sea respetada.

En el presente documento se realizan mediciones de throughput en las condiciones óptimas de las redes para saber la capacidad máxima de cada una. Sin embargo, a la hora de realizar las mediciones de QoE en las condiciones congestionadas pasa a ser una variable indicadora del estado de la red.

#### 3.4.2.3 VARIACIÓN DE RETARDO, JITTER O PACKET DELAY VARIATION (PDV)

El Jitter, o variación del retraso temporal en la recepción de la información (delay), implica la pérdida de paquetes por la falta de sincronismo en la recepción. Se descarta la información receptionada fuera de un rango de tiempo determinado y se receptionan paquetes del final de la cola en otro orden, razón por la cual los paquetes perdidos son descartados.

Así, para servicios en que la recepción de la información debe ser a tiempo real, el *jitter* pasa a ser uno de los factores más importantes a considerar en la red. En este tipo de servicios, una de

las soluciones más típicas es considerar un *buffer* en la recepción de manera de dar una ventana más amplia al tiempo de recepción y poder ordenar los paquetes que no han llegado en el orden normal. La única desventaja es que agrega un retardo adicional al inicio y durante la operación del servicio (por ejemplo, *Youtube*) mientras se cumpla que la rapidez de reproducción del video sea menor a la tasa en que los datos están siendo descargados [30].

Otra de las soluciones es asignar prioridad a determinado tráfico (QoS) con el objetivo de asegurar la provisión del servicio a un determinado cliente. Este trabajo de memoria contiene ambas soluciones: el buffer en el caso de Youtube viene implementado por defecto, y la calidad de servicio en una red LTE es de igual manera establecida previamente.

#### 3.4.2.4 PÉRDIDA DE PAQUETES

La pérdida de paquetes puede ser causada por numerosos factores entre los cuales está el desvanecimiento por multi trayectorias (caso móvil) y la congestión del canal de comunicación, así como también las colas completas en los *buffers* de los nodos de red. Es un punto sensible en servicios en tiempo real pues, cuando es originado por problemas de red genera pérdida de desempeño y *jitter* los cuales tienen un alto impacto en la percepción de la calidad del servicio.

Se considera que niveles de pérdida de paquetes de entre un 5 y un 10% del total del flujo de datos enviados llega a ser perceptible.

Cuando existen condiciones de red de *cuello de botella*, se deben descartar paquetes. Para esto, los protocolos de red como TCP tienen un control de congestión conocido como *slow start*, en que se evita que el emisor de la información reenvíe aquellos paquetes que no fueron recepcionados para no colapsar la red sino hasta un cierto período. Sin embargo, la decisión de que paquetes descartar se toma en el *encolamiento* (o *queiung*); el peor de los escenarios para un servicio en tiempo real es que se descarte el paquete cuando la cola esté llena. Para este tipo de servicio, los mecanismos de QoS ayudan a tomar la decisión de que servicios priorizar.

#### 3.4.3 PRUEBAS RELACIONADAS A LA CALIDAD DE EXPERIENCIA (QOE)

Se muestran a continuación las consideraciones que se deben tener para las pruebas de concepto final por servicio dependiendo del indicador a estimar.

##### 3.4.3.1 PRUEBAS DE CONCEPTO PARA VOIP

El objetivo particular de esta prueba es la obtención del indicador MOS ante los dos escenarios de congestión descritos y según las redes en que se mida (LTE y LAN). Se debe realizar para las tres alternativas de ofrecer VoIP presentadas en este trabajo: IMS, Asterisk y Skype.

El resultado final es una tabla por alternativa y por red de MOS contratado con las condiciones de congestión (retardo, pérdida de paquetes y ancho de banda), para finalmente obtenerse un gráfico en que se pueda apreciar la forma de variación de dicho parámetro.

Además, es posible realizar comparaciones de las herramientas con las que se mida MOS de acuerdo al nivel de correlación entre sus resultados.

El resultado esperado es la reducción de MOS de acuerdo al empeoramiento en las condiciones de red esencialmente brusco con respecto al parámetro de pérdida de paquetes y variación de retardo.

#### 3.4.3.2 PRUEBAS DE CONCEPTO PARA VIDEOSTREAMING

Estas pruebas deben reflejar la variación en la calidad de percepción de una emisión de video en la red con respecto al nivel de congestión, al igual que en las pruebas para VoIP. Para esto, se debe medir MOS. En caso alternativo, se considera la adición de pruebas que calculen indicadores objetivos que se correlacionen con el MOS como son PSNR y VQM.

Las opciones establecidas en este trabajo para el ofrecimiento del servicio corresponden a: emisión de videos vía VLC Media Player, y *Youtube*.

## 4 CAPÍTULO 4 RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir del diseño e implementación de la metodología propuesta en este trabajo. Se considera la siguiente división:

1. Resultados sobre las plataformas de red LAN y LTE implementadas: análisis de la implementación final de cada una de las entidades y servidores principales.
2. Resultados sobre la provisión de los servicios: análisis de las capacidades de cada servicio ofrecido de cara a su medición.
3. Resumen de las herramientas finales implementadas.
4. Las pruebas de concepto finales recomendadas: resultado final de la implementación de cada una.
5. Mediciones obtenidas en cada prueba de concepto a modo de validación de la metodología.
6. Fines docentes del trabajo de título
7. Documentación entregada: manuales para la instalación y configuración tanto de las redes, servidores e interconexiones entre ellos como de las herramientas de control de congestión y medición.

### 4.1 RESULTADOS SOBRE LAS PLATAFORMAS DE RED LAN Y LTE IMPLEMENTADAS

La necesidad de la instalación de una red LAN es explicada por la necesidad de establecer una prueba prototipo en que se pueda ver el correcto funcionamiento de las herramientas de medición y los elementos proveedores de servicio.

La red LAN finalmente implementada se encuentra en al 5to Piso del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la FCFM, y cuenta con un enrutador que se conecta al conmutador principal de la FCFM proveyendo Internet a todas las máquinas conectadas vía cable en el laboratorio.

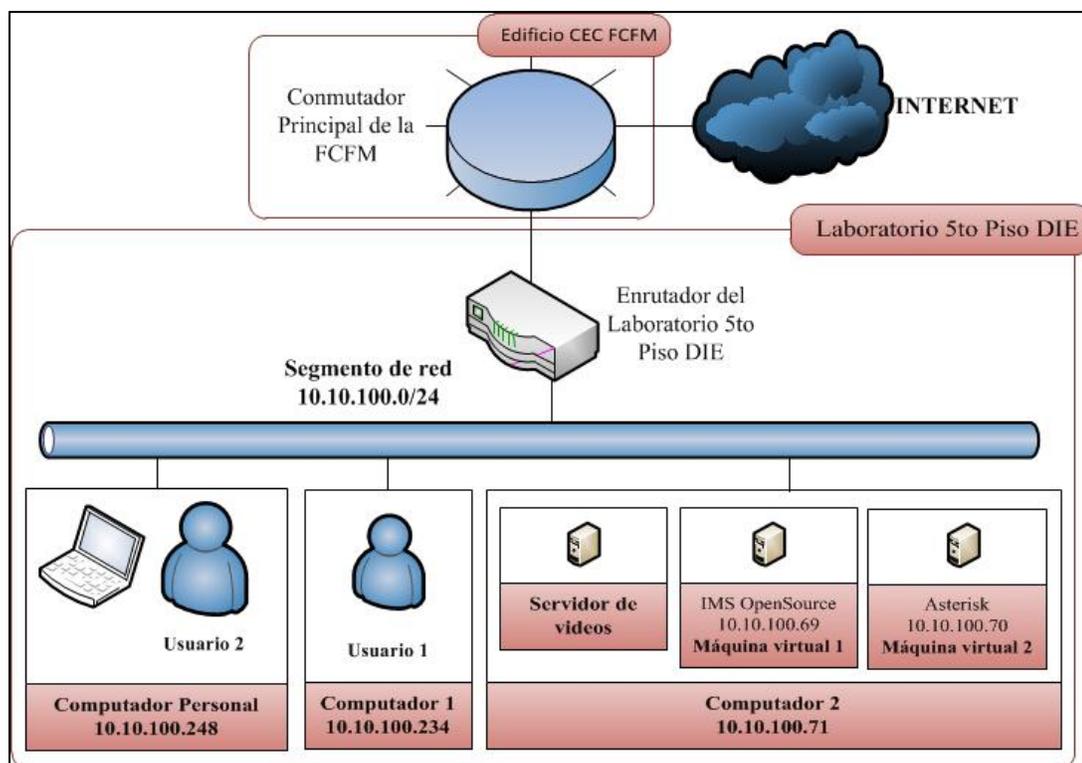
El segmento de red de área local es el 10.10.100.0/24 permitiendo la conexión de hasta 256 computadores, con la puerta de enlace predeterminada 10.10.100.1. Los DNS son entregados por el encargado de la red del DIE.

Las máquinas utilizadas como servidores y clientes corresponden a 3 computadores alojados en dicha red (2 computadores de escritorio y un laptop). Además de esto, se instaló de manera virtual los servidores de VoIP Asterisk e IMS en máquinas virtuales distintas, alojadas dentro de uno de los computadores de escritorio del laboratorio. En dicho computador (computador 2) se instala el servidor de videos. Se puede ver en la Tabla 16 las direcciones IP asignadas a las máquinas tanto físicas como virtuales, y en la Ilustración 34 un diagrama con la red LAN final.

Las máquinas virtuales fueron instaladas con el programa VirtualBox 4.1.6 [31] y sus configuraciones se encuentran detalladas en el Anexo B. Para lograr acceder a las máquinas virtuales desde cualquier computador de la red, sus interfaces de red deben estar configuradas en modo “*Puente*” lo que permite tener una dirección IP propia dentro de la red.

**TABLA 16: MÁQUINAS EN LA RED LAN**

| Máquina             | Dirección IP  | Entidad            |
|---------------------|---------------|--------------------|
| Computador 1        | 10.10.100.234 | Usuario 1          |
| Computador 2        | 10.10.100.71  | Servidor de videos |
| Computador Personal | 10.10.100.248 | Usuario 2          |
| Máquina Virtual 1   | 10.10.100.69  | IMS OS             |
| Máquina Virtual 2   | 10.10.100.70  | Asterisk           |



**ILUSTRACIÓN 34: RED LAN REAL IMPLEMENTADA**

El uso tanto de IMS como de Asterisk en máquinas virtuales fue realizado con el objetivo de suplir la falta de computadores del laboratorio y también para su posterior traslado a la red LTE, bastando tan sólo con clonar las máquinas virtuales para poderlas utilizar en dicha red.

Los computadores 1 y personal fueron usados sólo para: hacer uso de los servicios y realizar las mediciones correspondientes, sin tener una utilidad en la configuración de la red.

En cuanto a la instalación de estos equipos en la red LTE, la configuración presenta grandes diferencias. Se presenta a continuación un resumen de las consideraciones desprendidas del capítulo 3: Metodología.

- Primero, los usuarios no se encuentran en el mismo segmento de red que los equipos del núcleo de la red.
- El conmutador del núcleo EPC de LTE tiene asignado el segmento de red 10.2.10.0/24, permitiendo la posible conexión de 256 equipos servidores.
- No existe un servidor DHCP en el EPC, permitiendo asignar manualmente las direcciones IP.

- Para la posibilidad de visibilidad IP desde el acceso LTE, los servidores deben pertenecer a la puerta de enlace 10.2.100.11, la cual es administrada por el *Serving Gateway* del EPC (SGW).
- Los usuarios se conectan a la red LTE a través de un módem USB con una tarjeta SIM en su interior. El SGW otorga, una vez leída la petición de registro y procesada de acuerdo a la base de datos de LTE, la IP de la red de acceso al usuario.
- La red de acceso presenta un segmento Ethernet dedicado a cada usuario unívocamente. Este segmento es 70.70.2.0/30 y varía tanto la puerta de enlace predeterminada de cada usuario como su dirección IP.

El Laboratorio de LTE de ZTE y la FCFM (Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas) se encuentra en el 2do Piso del Edificio de Electrotecnologías del DIE, lo cual obligó al uso de nuevos computadores para implementar las entidades de red necesarias.

De esta manera, se instalaron las componentes para la puesta en marcha de los servicios y las herramientas en la red LTE asignando una dirección IP de manera manual según se muestra en la Tabla 17.

Cabe mencionar que las pruebas fueron realizadas en un ambiente *indoor*, según lo mostrado en la Ilustración 35, pero la red LTE de pruebas de la empresa ZTE considera también los sitios *outdoor* 1 y 2 ubicados en los techos de los edificios DIE y CEC respectivamente. Las pruebas de concepto y mediciones resultantes pueden ser replicadas en ambos sitios bastando tan sólo con moverse físicamente hacia dichas celdas cuidando mantener un buen nivel de señal.

Además, el computador 2, que es el que contiene todos los servidores agregados a la red LTE, está incluido en el segmento de red propia del SGW, con la finalidad de que la solicitud por servicio desde los clientes sea transmitida por la red LTE.

La interconexión resultante entre el Laboratorio de LTE con el IMS OpenSource fue sólo funcional, es decir, la red LTE (tanto su núcleo como el acceso) desconoce la presencia a nivel lógico del IMS y viceversa. Esto pues se requiere de muchas HH (horas-hombre) para su implementación, lo cual para efectos de este trabajo no presenta ningún problema ya que el objetivo de la puesta en marcha del núcleo de paquetes IMS es el establecimiento final de la conversación entre los usuarios, lo cual sí fue logrado.

Sin embargo, se recomienda su implementación en el caso de estudios futuros que impliquen el manejo de las políticas de control y parámetros de QoS pues estas políticas deben ser compartidos y asimilados por todos los participantes del enrutamiento de los datos del servicio.

**TABLA 17: MÁQUINAS EN LA RED LTE**

| <b>Máquina</b>      | <b>Dirección IP</b> | <b>Puerta de enlace Predeterminada</b> | <b>Entidad</b>     | <b>Red</b> |
|---------------------|---------------------|--|--------------------|------------|
| Computador 1        | 70.70.2.7           | 70.70.2.1                              | Usuario 1          | Acceso     |
| Computador Personal | 70.70.2.8           | 70.70.2.2                              | Usuario 2          | Acceso     |
| Computador 2        | 10.2.100.71         | 10.2.100.11                            | Servidor de videos | Núcleo     |
| Máquina Virtual 1   | 10.2.100.69         | 10.2.100.11                            | IMS OS             | Núcleo     |
| Máquina Virtual 2   | 10.2.100.70         | 10.2.100.11                            | Asterisk           | Núcleo     |

En este caso, los computadores 1 y 2 fueron las máquinas del Laboratorio de Telecomunicaciones del 2do Piso del edificio de Electrotecnologías. Las máquinas virtuales corresponden a clones de

las máquinas virtuales instaladas en la red LAN y fueron puestas en marcha desde el computador 2, con permanente conexión a la red LTE vía cable Ethernet, tan sólo se requirió reiniciar la dirección MAC y realizar un procedimiento de cambio de IP (en el caso de IMS, ver Anexo B).

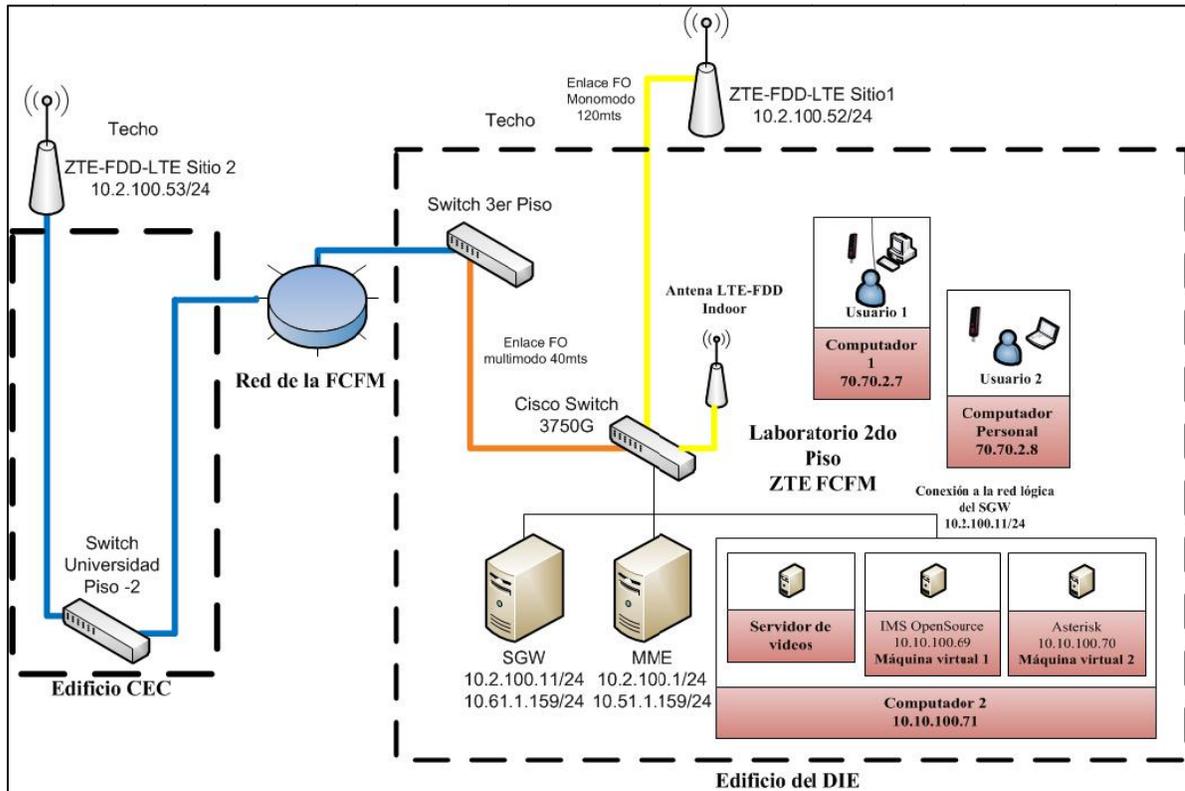


ILUSTRACIÓN 35: RED LTE REAL IMPLEMENTADA

## 4.2 RESULTADOS SOBRE LA PROVISIÓN DE LOS SERVICIOS

Los servicios finales implementados en la red LAN fueron:

- Servicio de VoIP
  - Mediante servidor IMS OpenSource
  - Mediante Servidor Asterisk
- Servicio de VideoStreaming
  - Con VLC Media Player
- Servicio OTT de Voz: *Skype*
- Servicio OTT de Video: *Youtube*

El factor crítico en el caso de los servicios OTT correspondió a la conexión a Internet de la FCFM. La velocidad de transmisión de datos por Internet aumenta abruptamente en el horario en que no hay clases. Por esta razón, se optó por realizar las pruebas de medición a contar de las 19:00 hrs.

En el caso de uso de VoIP mediante IMS, los *softphones* usados para acceder al servicio fueron mediante Mercurio IMS Cliente en su versión *Bronze*. El *codec* utilizado fue G.711 A-law y se usaron los micrófonos y altavoces incorporados en los computadores del laboratorio.

En cuanto a la alternativa de Asterisk, se usó el *softphone* X-Lite 3.0 con el mismo *codec* que en el caso de IMS. Se descartaron alternativas que debiesen ser instaladas en sistemas operativos distintos a MAC OS o Windows pues el módem USB de LTE presenta dicha restricción.

En ambas opciones se logró el registro exitoso de los clientes SIP tanto en la red LAN, a través de las interfaces de red Ethernet, como en la red LTE, a través del módem USB. Además, se logró el inicio de la sesión de llamadas, junto con los servicios agregados de mensajería instantánea y videoconferencia, a pesar de no ser objetivos de las pruebas de concepto.

La emisión de videos se realizó de manera *Multicast* a la dirección IP 224.1.1.1 desde el puerto 5004 del servidor, vía protocolo RTP. Esto permite la gran ventaja de que cualquier cliente dentro de una misma red puede conectarse al servicio y ver la emisión. El video emitido fue un extracto de 1 minuto de la película “*Leon The Professional*” en formato .avi con codificación de video MPEG-2. Su reproducción en la red requirió de un promedio de 900 kbps de velocidad de transmisión de datos, lo cual fue visualizado con el mismo software VLC Media Player (Ver Anexos). Para su correcta transmisión, dicho programa requirió la realización de una transcodificación local a un nuevo *codec* de video y audio: MPEG2+MPGA (TS).

Para los servicios OTT, no se requirió más que la conexión de la red a Internet. Así, se logró implementar los servicios de *Skype* y *Youtube*. La manera de medir la calidad se establece en la prueba de concepto correspondiente.

En el caso de LTE, se hace hincapié en la necesidad de que la red sea configurada para permitir comunicación *Peer-to-Peer* entre los clientes ya que, de lo contrario, los servidores montados de manera funcional en el núcleo EPC no serán capaces de enrutar el tráfico de los servicios entre los usuarios, aún cuando sí serán capaces de recibir y enviar información de señalización de manera cliente-servidor. En caso contrario, se podrá registrar a los servidores (en el caso de VoIP, vía SIP) y se podrá establecer una llamada entre los usuarios pero, a la hora de que el receptor de dicha llamada conteste, no habrá tráfico produciéndose sólo silencio. La habilitación correcta de *peer-to-peer* se puede chequear vía PING siempre y cuando éste no esté prohibido (por un tema de posibles de ataque de seguridad, por ejemplo).

Los servicios que se logró implementar en la red LTE son:

- Servicio de VoIP
  - Mediante servidor IMS OpenSource
  - Mediante Servidor Asterisk
- Servicio de VideoStreaming
  - Con VLC Media Player

A diferencia de la red LAN, no se logró la implementación de los servicios de *Skype* y *Youtube* sobre LTE. Esto, a causa de la no conexión del laboratorio a Internet a la fecha de término de este trabajo.

### 4.3 RESUMEN DE HERRAMIENTAS FINALES ELEGIDAS

Se presenta a continuación un resumen con las herramientas utilizadas en cada una de las pruebas de concepto:

- Para medir MOS en VoIP
  - VQManager
  - Algoritmo PESQ vía Matlab
- Para medir QoE en video
  - VQMonitor: MOS
  - MSU Video Quality Measurement Tool: PSNR y VQM
- Para controlar el tráfico de la red
  - Network Emulator For Windows Tool (NEWT)
- Para Medir Throughput, Packet Loss y Jitter
  - Iperf/JPerf
- Para medir RTT
  - PING (echo request)
- Para correr Servicios de VoIP desde el core de la red
  - IMS OpenSource (Fokus) en VM
  - Asterisk (Elastix) en VM
- Para correr el servicio de VoIP en los clientes (Softphones)
  - Mercurio IMS Client
  - X-Lite
- Para servicio VoIP OTT:
  - Skype
- Para correr el servicio de VideoStreaming
  - VLC (tanto en cliente como servidor)
- Para servicio de video OTT:
  - Youtube
- Para capturar video desde la pantalla de un computador
  - Camstudio Recorder (Para prueba con Youtube)
  - VLC Media Player (Para VideoStreaming y Youtube)
- Para capturar audio desde el computador
  - Pamela Recorder para llamadas Skype
  - X-Lite en llamadas con Asterisk

### 4.4 RESULTADO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS PRUEBAS DE CONCEPTO RECOMENDADAS

Se indica a continuación el listado resumen de las pruebas de concepto sugeridas para la obtención de QoS/QoE en servicios montados sobre redes LAN/IMS y LTE/IMS. Se señala además el resultado de la implementación de cada una de éstas.

#### 4.4.1 PRUEBA DE CONCEPTO 1: MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE QoS DE LA RED

##### 4.4.1.1 MEDICIÓN DE JITTER, PÉRDIDA DE PAQUETES Y TASA DE TRANSMISIÓN DE DATOS

Se logró efectivamente medir los tres parámetros en el enlace que une a las máquinas *cliente* y *servidor* en la prueba mediante JPERF. Se midió sin añadir tráfico extra a la red; es decir, sin condiciones de congestión. En ambas redes se estudiaron los enlaces entre un cliente (red de acceso) y un servidor (red de núcleo).

En el caso de la red LTE, esta prueba debió realizarse con un ancho de banda mayor al sugerido (200 Mbps) para obtener la medición real.

##### 4.4.1.2 MEDICIÓN DE LATENCIA

Efectivamente, a través de PING entre clientes de ambas redes, fue posible obtener el valor de este parámetro.

#### 4.4.2 PRUEBA DE CONCEPTO 2: MEDICIÓN DE MOS EN SERVICIOS VOIP

##### 4.4.2.1 CASO 1: VOIP VÍA IMS OPENSOURCE

###### 4.4.2.1.1 MEDICIÓN EN LÍNEA: VQMANAGER

El programa VQManager probó tener utilidad para esta prueba al lograr captar las peticiones de inicio de llamada entre los clientes SIP y estimar parámetros de QoE (MOS y Factor R) de manera en línea. Además, se logró establecer el ancho de banda ocupado por la llamada en funcionamiento (alrededor de 60 kbps).

La prueba fue llevada a cabo de manera correcta para cada una de las condiciones de congestión estudiadas.

###### 4.4.2.1.2 MEDICIÓN FUERA DE LÍNEA: ALGORITMO PESQ

Esta prueba fue más compleja de implementar ya que se debió añadir, a través del micrófono del *emisor* de esta prueba, sonidos provenientes de un archivo de música (formato *wav* y duración 1 minuto). En el extremo receptor, se debió grabar la llamada mientras duraba el archivo de sonido (también en formato *wav* y con la herramienta de grabación de sonidos de Windows).

Además, la prueba con el algoritmo PESQ, solicita que ambos archivos a ser procesados (el original enviado y el grabado en el receptor) deban poseer el mismo intervalo de tiempo. Esto generó la necesidad de agregar una herramienta de *software* para la edición de archivos de sonido llamada *Cool Edit*.

A pesar de estas dificultades, se logró obtener mediciones de MOS para cada uno de los niveles de congestión impuestos.

##### 4.4.2.2 CASO 2: VOIP VÍA ASTERISK

#### 4.4.2.2.1 MEDICIÓN EN LÍNEA: *VQMANAGER*

Al igual que en el caso de la prueba con IMS, se logró capturar la llamada de manera en línea y la medición de MOS correctamente.

#### 4.4.2.2.2 MEDICIÓN FUERA DE LÍNEA: ALGORITMO PESQ

Similar al caso de IMS. Pero, se generó la ventaja de la grabación de la llamada en el extremo receptor fuera posible a través del *softphone* mismo (X-Lite) lo cual evita añadir el ruido del micrófono del extremo receptor.

#### 4.4.2.3 CASO 3: VOIP VÍA SERVICIO OTT *SKYPE*

##### 4.4.2.3.1 ALTERNATIVA ÚNICA: ALGORITMO PESQ

Este es el caso donde se vio más útil el algoritmo PESQ. Esto ya que VQManager no logra estimar parámetros de QoE de una llamada realizada entre dos clientes Skype. Se contó en este caso con una herramienta dedicada a la grabación de llamadas entre usuarios Skype (*Pamela Recorder for Skype*) la cual resultó muy útil pues fue posible comenzar la grabación al iniciarse la llamada y también configurar el intervalo de grabación, lo que añadió mayor automatización al proceso evitando incluso la posterior edición del archivo grabado.

### 4.4.3 PRUEBA DE CONCEPTO 3: MEDICIÓN DE MOS EN SERVICIOS DE VIDEO

#### 4.4.3.1 CASO 1: VIDEOSTREAMING MULTICAST VÍA VLC MEDIA PLAYER

##### 4.4.3.1.1 MEDICIÓN EN LÍNEA CON *VIDEO QUALITY MONITOR*

Análogamente al caso de MOS en línea para VoIP mediante VQManager, se logró la medición de MOS a través de la captura de la emisión del video de manera local con *Video Quality Monitor*. Por efectos de tiempo, el video emitido debió ser un extracto de un minuto del video señalado en el capítulo de metodología.

*Video Quality Monitor* entregó los valores de MOS instantáneamente a medida que se reproduce el video, mostrando la gráfica final una vez terminada la reproducción además de indicadores de contenido de video propiamente tal (*blockiness, jerkiness, blur*) los cuales no forman parte del estudio de este trabajo.

No se logró la obtención de los parámetros de MOS del audio de la emisión, posiblemente por efectos de la transcodificación.

##### 4.4.3.1.2 MEDICIÓN FUERA DE LÍNEA CON *VIDEO QUALITY MONITOR*

Esta herramienta cuenta con una segunda opción: medición *offline* de la calidad percibida. Para esto, se debió grabar el video desde el cliente *videostreaming* con el mismo VLC Media Player en un archivo *avi* para cada una de las condiciones de congestión estudiadas. Una vez hecho esto, se ingresan al programa una a una para su procesamiento y entrega de los mismos indicadores y gráficas del caso *online*.

#### 4.4.3.2 CASO 2: SERVICIO OTT DE VIDEO *YOUTUBE*

#### 4.4.3.2.1 MEDICIÓN ÚNICA: FUERA DE LÍNEA CON *VIDEO QUALITY MONITOR*

Youtube, al ser un servicio que corre sobre TCP, presenta *buffers* de almacenamiento temporal del video de manera de garantizar la calidad del video. De esta manera, si bien no se pierde calidad en contenido, sí se pierde percepción de calidad debido al tiempo de llenado de los *buffers*. Este hecho fue plasmado en las pruebas a través de la grabación del video solicitado vía dirección *http* haciendo uso de VLC Media Player. Así, los videos grabados contienen las respectivas demoras.

Se grabó un video de duración 1 minuto por cada condición de congestión y fue ingresado posteriormente al programa *Video Quality Monitor* para la obtención correcta de MOS.

#### 4.4.4 PRUEBA DE CONCEPTO 4: MEDICIÓN DE VQM Y PSNR EN SERVICIOS DE VIDEO CON MSU VIDEO QUALITY MEASUREMENT TOOL

##### 4.4.4.1 CASO 1: VIDEOSTREAMING MULTICAST VÍA VLC MEDIA PLAYER

La herramienta MSU VQMT funcionó de manera diferente a Video Quality Monitor. Esto, pues se debió ingresar el video original que fue emitido y el video grabado en el receptor. De esta manera, se obtuvieron los valores promedios de VQM y PSNR para cada video grabado (Según el nivel de congestión de la red).

##### 4.4.4.2 CASO 2: SERVICIO OTT DE VIDEO *YOUTUBE*

Debido a la no existencia de audio en las grabaciones de los videos, el software MSU VQMT no pudo ser levantado para la medición de VQM ni PSNR.

#### 4.4.5 PRUEBA DE CONCEPTO 5: MEDICIONES DE QoS/QoE EN SERVICIOS VVoIP OTT EN RED LTE/IMS

Esta prueba de concepto integró todos los elementos de las pruebas de conceptos anteriores aplicados a una red LAN, probándose cada una de ellas en la red LTE/IMS. Se logró la correcta implementación de manera *online* y *offline* gracias a la compatibilidad de las herramientas de medición con el módem USB de ZTE. Además, se verificó la pérdida de calidad perceptual a medida que se empeoraron las condiciones de la red (vía NEWT).

Sin embargo, no se logró medir MOS en servicios OTT sobre LTE debido únicamente a la no conexión del laboratorio LTE a una IP pública de la Universidad con salida a Internet. A pesar de esto, la metodología, una vez conectado el laboratorio a internet, debiera resultar de manera similar al comportamiento observado en el caso de la red LAN. Se destaca la gradualidad de cada una de estas pruebas buscando el objetivo final de este trabajo de memoria, el cual es lograr la medición de QoE en servicios over the top en la red LTE/IMS.

### 4.5 MEDICIONES OBTENIDAS DE LAS PRUEBAS DE CONCEPTO

En este apartado se muestran las mediciones obtenidas para verificar el correcto funcionamiento de las pruebas de concepto. Las mediciones de QoS se realizan sólo en la condición óptima, en cambio en QoE se realizan dos: un indicador de QoE en condición óptima, y el mismo indicador en una condición congestionada. De la Tabla 15, se toma solo un estado de congestión de los recomendados.

#### 4.5.1 MEDICIONES DE QoS

Se presentan a continuación los valores resultantes de los indicadores de calidad de servicio en las redes LAN y LTE.

##### 4.5.1.1 EN LA RED LAN

###### 4.5.1.1.1 RESULTADOS DE THROUGHPUT EN CONDICIONES ÓPTIMAS

TABLA 18: THROUGHPUT MEDIDO EN LAN

| Prueba        | Resultados obtenidos (en Mbps) |        |          |
|---------------|--------------------------------|--------|----------|
|               | Mínimo                         | Máximo | Promedio |
| UDP Up-Link   | 85,7                           | 93,4   | 92,13    |
| UDP Down-Link | 98,3                           | 101    | 99,4     |
| TCP Up-Link   | 79,21                          | 88,1   | 82,65    |
| TCP Down-Link | 82,4                           | 91,5   | 88,41    |

###### 4.5.1.1.2 RESULTADOS DE LATENCIA EN LA RED LAN EN CONDICIONES ÓPTIMAS

TABLA 19: LATENCIA EN RED LAN

| Prueba             | Resultados obtenidos (en ms) |        |          |
|--------------------|------------------------------|--------|----------|
|                    | Mínimo                       | Máximo | Promedio |
| Ping de 32 Bytes   | 0                            | 3      | 2        |
| Ping de 1000 Bytes | 0                            | 5      | 3        |
| Ping de 1500 Bytes | 1                            | 11     | 6        |

###### 4.5.1.1.3 RESULTADOS DE JITTER EN LA RED LAN EN CONDICIONES ÓPTIMAS

TABLA 20: JITTER EN LA RED LAN

| Prueba             | Resultados obtenidos (en ms) |
|--------------------|------------------------------|
| Ping de 32 Bytes   | 0                            |
| Ping de 1000 Bytes | 1                            |
| Ping de 1500 Bytes | 3                            |

###### 4.5.1.1.4 RESULTADOS DE PACKET LOSS EN LA RED LAN EN CONDICIONES ÓPTIMAS

TABLA 21: PÉRDIDA DE PAQUETES EN LAN

| Prueba        | Resultados obtenidos (en %) |
|---------------|-----------------------------|
| UDP Up-Link   | 1,00E-06                    |
| UDP Down-Link | 1,00E-06                    |
| TCP Up-Link   | 0                           |
| TCP Down-Link | 0                           |

#### 4.5.1.2 EN LA RED LTE

Se muestran los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en la red LTE/IMS, indicándose los valores esperados en la especificación 3GPP R8: 3GPP TS 36.323 (Packet Data Convergence Protocol (PDCP) specification) [32].

##### 4.5.1.2.1 RESULTADOS DE THROUGHPUT EN LA RED LTE EN CONDICIONES ÓPTIMAS

A continuación se muestran los resultados de la medición de throughput tanto para transporte UDP como TCP en la descarga (downlink) y subida (uplink) de archivos en la red de acceso de la arquitectura LTE.

TABLA 22: THROUGHPUT EN RED LTE

| Prueba        | Resultado esperado<br>(en Mbps) |          | Resultados obtenidos (en Mbps) |        |          |
|---------------|---------------------------------|----------|--------------------------------|--------|----------|
|               | Máximo                          | Promedio | Mínimo                         | Máximo | Promedio |
| UDP Up-Link   | > 50                            | > 45     | 43,3                           | 50,8   | 49,3     |
| UDP Down-Link | > 100                           | > 95     | 101,6                          | 103,9  | 102,6    |
| TCP Up-Link   | > 50                            | > 45     | 48,3                           | 50,4   | 49,3     |
| TCP Down-Link | > 100                           | > 95     | 37,6                           | 105,7  | 92,1     |

##### 4.5.1.2.2 RESULTADOS DE LATENCIA EN LA RED LTE EN CONDICIONES ÓPTIMAS

En la Tabla 23 se muestran los resultados de la prueba de latencia en el plano de usuario de la red LTE.

TABLA 23: LATENCIA EN RED LTE

| Prueba             | Resultado esperado (en<br>ms) | Resultados obtenidos (en ms) |        |          |
|--------------------|-------------------------------|------------------------------|--------|----------|
|                    | Promedio                      | Mínimo                       | Máximo | Promedio |
| Ping de 32 Bytes   | < 15                          | 10                           | 30     | 12       |
| Ping de 1000 Bytes | < 15                          | 13                           | 24     | 17       |
| Ping de 1500 Bytes | < 15                          | 15                           | 25     | 19       |

##### 4.5.1.2.3 RESULTADOS DE JITTER EN LA RED LTE EN CONDICIONES ÓPTIMAS

Basados en la prueba de concepto 1, se indican los resultados de *jitter* en la red LTE.

**TABLA 24: JITTER EN LTE**

| <b>Prueba</b>      | <b>Resultados obtenidos (en ms)</b> |
|--------------------|-------------------------------------|
| Ping de 32 Bytes   | 1                                   |
| Ping de 1000 Bytes | 1                                   |
| Ping de 1500 Bytes | 3                                   |

4.5.1.2.4 RESULTADOS DE PACKET LOSS EN LA RED LTE EN CONDICIONES ÓPTIMAS

**TABLA 25: PÉRDIDA DE PAQUETES EN LTE**

| <b>Prueba</b> | <b>Resultados obtenidos (en %)</b> |
|---------------|------------------------------------|
| UDP Up-Link   | 0,03                               |
| UDP Down-Link | 0,01                               |
| TCP Up-Link   | 0                                  |
| TCP Down-Link | 0                                  |

4.5.2 MEDICIONES DE QOE

Las mediciones de QoE en ambas redes se establecen en la condición óptima y en situación congestionada. Esta última selecciona sólo uno de los estados de congestión recomendados en la Tabla 15, ya que no se pretende realizar un estudio de comportamiento de QoE sino verificar el correcto empobrecimiento de la calidad percibida al usuario, mediante variación de congestión en la red. Además, los valores escogidos en la Tabla 26 tan sólo representan los valores establecidos en el control de la interfaz con NEWT; para realizar un mejor estudio a estas condiciones se deben sumar los valores medidos de estos parámetros en condiciones óptimas.

**TABLA 26: CONDICIONES DE CONGESTIÓN ESCOGIDAS**

| <b>Latencia (ms)</b> | <b>Packet Loss (%)</b> | <b>Ancho de banda VoIP (kbps)</b> | <b>Ancho de banda Video (kbps)</b> |
|----------------------|------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 50                   | 8                      | 50                                | 750                                |

4.5.2.1 MEDICIONES DE MOS EN VOIP EN RED LAN

Se muestran a continuación los resultados del indicador de calidad de experiencia MOS para el caso de los servicios voz sobre IP en la red LAN.

4.5.2.1.1 CON VQMANAGER

Se establecen las mediciones en línea de MOS gracias a VQManager (ver Tabla 27). Sin embargo, no fue posible medir QoE en Skype con este método.

**TABLA 27: MOS EN VOIP EN RED LAN CON VQMANAGER**

| <b>MOS en VoIP</b>                | <b>vía IMS</b> | <b>vía Asterisk</b> | <b>vía Skype</b> |
|-----------------------------------|----------------|---------------------|------------------|
| <b>Condiciones Óptimas</b>        | 4,4            | 4,3                 | X                |
| <b>Condiciones congestionadas</b> | 3,6            | 3,4                 | X                |

4.5.2.1.2 CON ALGORITMO PESQ

Debido a que este algoritmo no espía tráfico en la red, es posible obtener los valores de MOS en el caso VoIP según lo mostrado en la Tabla 28.

**TABLA 28: MOS EN VOIP EN RED LAN CON ALGORITMO PESQ**

| <b>MOS en VoIP</b>                | <b>vía IMS</b> | <b>vía Asterisk</b> | <b>vía Skype</b> |
|-----------------------------------|----------------|---------------------|------------------|
| <b>Condiciones Óptimas</b>        | 4,1            | 4,1                 | 4                |
| <b>Condiciones Congestionadas</b> | 3,3            | 3,1                 | 3,4              |

4.5.2.2 MEDICIONES DE MOS EN VOIP EN RED LTE

4.5.2.2.1 CON VQMANAGER

Al igual que en la red LAN, no es posible obtener mediciones de MOS en Skype con esta herramienta.

**TABLA 29: MOS EN VOIP EN RED LTE CON VQMANAGER**

| <b>MOS en VoIP</b>                | <b>vía IMS</b> | <b>vía Asterisk</b> | <b>vía Skype</b> |
|-----------------------------------|----------------|---------------------|------------------|
| <b>Condiciones Óptimas</b>        | 4,4            | 4,4                 | X                |
| <b>Condiciones Congestionadas</b> | 4              | 3,9                 | X                |

4.5.2.2.2 CON ALGORITMO PESQ

A pesar de no obtenerse de una manera tan directa como en el caso anterior, sí se logra obtener mediciones de MOS vía IMS y Asterisk. No se logra, encambio, la medición en Skype debido a la no conexión a internet del laboratorio de LTE.

**TABLA 30: MOS EN VOIP EN RED LTE CON ALGORITMO PESQ**

| <b>MOS en VoIP</b>                | <b>vía IMS</b> | <b>vía Asterisk</b> | <b>vía Skype</b> |
|-----------------------------------|----------------|---------------------|------------------|
| <b>Condiciones Óptimas</b>        | 4,25           | 4,17                | X                |
| <b>Condiciones Congestionadas</b> | 3,83           | 3,72                | X                |

#### 4.5.2.3 MEDICIONES DE MOS EN VIDEOSTREAMING EN RED LAN

El servicio de VideoStreaming se realizó de manera Multicast através del protocolo RTP con el programa VLC Media Player. Las mediciones se establecen nuevamente en las dos condiciones de red.

##### 4.5.2.3.1 MOS EN LÍNEA CON VIDEO QUALITY MONITOR

Se logra capturar en la red el tráfico de videostreaming sin la necesidad de que un cliente esté conectado. La escala usada por este programa para el MOS es de 1-100.

**TABLA 31: MOS EN LÍNEA DE VIDEO EN VIDEOSTREAMING EN RED LAN CON VQM**

| <b>MOS en Video<br/>(1-100)</b>   | <b>VideoStreaming con<br/>VLC</b> |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Condiciones Óptimas</b>        | 76,3                              |
| <b>Condiciones Congestionadas</b> | 62,2                              |

##### 4.5.2.3.2 MOS FUERA DE LÍNEA CON CON VIDEO QUALITY MONITOR

Únicamente de manera fuera de línea es posible obtener valores de MOS en Youtube.

**TABLA 32: MOS FUERA DE LÍNEA EN VIDEOSTREAMING CON VQM EN RED LAN**

| <b>MOS en Video</b>               | <b>VideoStreaming con VLC</b> | <b>Youtube</b> |
|-----------------------------------|-------------------------------|----------------|
| <b>Condiciones Óptimas</b>        | 74,65                         | 77,24          |
| <b>Condiciones Congestionadas</b> | 60,18                         | 55,78          |

#### 4.5.2.4 MEDICIONES DE MOS EN VIDEOSTREAMING EN RED LTE

Se entregan en este apartado los valores del indicador MOS para el caso de *videostreaming*, específicamente en la red LTE.

##### 4.5.2.4.1 MOS EN LÍNEA CON VIDEO QUALITY MONITOR

**TABLA 33: MOS EN LÍNEA DE VIDEO STREAMING EN RED LTE CON VQM**

| <b>MOS en Video</b>               | <b>VideoStreaming con VLC</b> | <b>Youtube</b> |
|-----------------------------------|-------------------------------|----------------|
| <b>Condiciones Óptimas</b>        | 82,1                          | X              |
| <b>Condiciones Congestionadas</b> | 66                            | X              |

4.5.2.4.2 MOS FUERA DE LÍNEA CON CON VIDEO QUALITY MONITOR

**TABLA 34: MOS FUERA DE LÍNEA EN VIDEOSTREAMING CON VQM EN RED LTE**

| <b>MOS en Video</b>               | <b>VideoStreaming con VLC</b> | <b>Youtube</b> |
|-----------------------------------|-------------------------------|----------------|
| <b>Condiciones Óptimas</b>        | 79,23                         | x              |
| <b>Condiciones Congestionadas</b> | 67,5                          | x              |

4.5.2.5 MEDICIONES DE VQM Y PSNR EN VIDEOSTREAMING EN RED LAN

Se añade a las mediciones anteriores, los valores de VQM y PSNR realizadas con el programa MSU Video Quality Monitor, las cuales son realizadas fuera de línea.

**TABLA 35: VQM/PSNR EN VIDEOSTREAMING EN RED LAN**

| <b>VQM/PSNR en Video</b>          | <b>VideoStreaming con VLC</b> | <b>Youtube</b> |
|-----------------------------------|-------------------------------|----------------|
| <b>Condiciones Óptimas</b>        | 2,41/56,6                     | 1,98/63        |
| <b>Condiciones Congestionadas</b> | 3,15/30,1                     | 2,87/34        |

4.5.2.6 MEDICIONES DE VQM Y PSNR EN VIDEOSTREAMING EN RED LTE

Debido a la no existencia de conexión a internet, es imposible obtener el valor de estos parámetros en el caso de Youtube en la red LTE.

**TABLA 36: VQM/PSNR EN VIDEOSTREAMING EN RED LTE**

| <b>VQM/PSNR en Video</b>          | <b>VideoStreaming con VLC</b> | <b>Youtube</b> |
|-----------------------------------|-------------------------------|----------------|
| <b>Condiciones Óptimas</b>        | 1,6/65,3                      | x              |
| <b>Condiciones Congestionadas</b> | 2,2/45,53                     | x              |

## 4.6 FINES DOCENTES DEL TRABAJO DE TÍTULO

Las pruebas de concepto aquí presentadas entregan una metodología para medir calidad de experiencia de servicios de voz y video sobre IP. Las mediciones son realizadas con herramientas de *software* que realizan estimaciones aproximadas de los parámetros de QoE más conocidos, como el MOS, sin la necesidad de realizar encuestas a personas que utilicen estos servicios. Dicha metodología consideró el diseño y la implementación de las redes, servicios y herramientas de medición para lograr la interconexión con tecnologías de acceso LTE. Gracias a esto, es posible separar los objetivos docentes logrados.

- Implementación de un núcleo de red de paquetes IMS
- Estudio de los protocolos de señalización y de tráfico asociados a la provisión de un servicio VoIP a través de una plataforma de conmutación de paquetes *full IP* IMS: SIP, DIAMETER, SDP y RTP
- Agregación de clientes a las bases de dato de una plataforma IMS y una central telefónica privada IP Asterisk.
- Configuración de una red LAN y la configuración IP de equipos en el núcleo de una red móvil LTE.
- Ventajas del protocolo UDP sobre TCP para la provisión de servicios en tiempo real
- Inicio de sesiones de *Videostreaming Multicast*
- Configuración de un servidor de videos dedicado
- Análisis del impacto de problemas en la red sobre la calidad de un determinado servicio.
- Estudio de las configuraciones de políticas de control y QoS de una red LTE para el mejoramiento de la calidad de experiencia.
- Uso de transcodificación para *videostreaming*

Además, cada una de las pruebas de concepto acá estudiadas tienen una componente docente involucrada, señalándose los pasos para cada una de las configuraciones y puestas en marcha y realizándose el estudio del impacto de los niveles de congestión de una red en la provisión de QoE en un servicio VVoIP.

## 4.7 DOCUMENTACIÓN ENTREGADA

La documentación resultante de cada uno de los pasos necesarios para la implementación final de la plataforma de medición entrega las guías para la continuación de este trabajo. De tal manera que próximos memoristas sean capaces de rearmar este trabajo desde cero. Dicha documentación se encuentra disponible en los Anexos B y C en el siguiente orden:

### ANEXO B: GUÍA DE IMPLEMENTACIÓN DE LOS SERVICIOS

- B-1. Guía de instalación de IMS OpenSource en una Máquina Virtual con Debian
- B-2. Guía de instalación de Asterisk Elastix en una máquina virtual
- B-3. Guía de Configuración de VLC Media Player para VideoStreaming

### ANEXO C: GUÍA PARA LAS PRUEBAS DE CONCEPTO

- C-1. Condiciones de Medición
- C-2. Prueba de Concepto 1: Medición de parámetros de QoS de la red
- C-3. Prueba de Concepto 2: Medición de MOS en servicios VoIP

C-4. Prueba de Concepto 3: Medición de MOS en Servicios de Video

C-5. Prueba de Concepto 4: Medición de VQM y PSNR en servicios de Video con MSU  
Video Quality Measurement Tool

## 5 CAPÍTULO 5 DISCUSIÓN

### 5.1 ACERCA DE LOS SERVICIOS IMPLEMENTADOS

Los servicios estudiados en este trabajo de memoria, si bien no son servicios públicos, ya que no ofrecen salida hacia la PSTN (caso VoIP) o hacia un ISP que entregue cobertura nacional (caso VideoStreaming), sí corresponden a una implementación funcional que emula las características de un servicio de voz, como el de telefonía, y de video, como lo es por ejemplo: IPTV. En este marco, es posible evaluar la metodología aquí presentada, cuya implementación es contrastada con su uso en servicios propiamente tal (*over-the-top*).

Las aplicaciones de VoIP usadas en este trabajo contienen una mirada hacia la provisión de servicios telefónicos de manera alternativa a su implementación tradicional en una red móvil en que se utiliza la red PSTN para su puesta en marcha. Esto pues a través del IMS OpenSource interconectado con la central telefónica IP, LTE puede dar salida hacia la PSTN desde una red paquetizada vía IP. Se implementó así pues la red LTE no posee conmutación de circuitos ni está pensada para proveer servicios telefónicos de manera nativa.

Con respecto a *videostreaming*, su implementación fue realizada con el enfoque de un ISP que desee implementar un servicio de provisionamiento de video vía IP desde su núcleo de red, y que además busque proveerlo a un entorno móvil. Los servicios así planteados han sido correctamente montados y utilizados para las pruebas de concepto. Sin embargo, se debió adecuar los programas usados como clientes VoIP y videostreaming debido a la no compatibilidad del modem USB de LTE con sistemas operativos Linux.

El uso más importante de los servicios de voz y video en cuanto a la medición de QoE, es el de Skype y Youtube. Ambos son esgrimidos como muestra del comportamiento de un servicio *over-the-top* de voz y video que están presentes desde internet, es decir, desde una red paquetizada sin QoS. Así, se adecuaron las pruebas de concepto previamente concebidas en una red LAN, dejándose como último punto de estudio debido a las dificultades inherentes a un servicio de este tipo y a la previa verificación del uso de las herramientas de medición en un ambiente controlado.

### 5.2 ACERCA DE LAS REDES IMPLEMENTADAS

Se logró una interconexión funcional entre un núcleo de paquetes IMS y un núcleo de paquetes EPC de la red LTE. Esto pues la red LTE, al ser una prueba de desempeño de una red comercial, presenta la complejidad de la compartición de las políticas de control de recursos, bases de datos y entidades de cobro que deben ser configuradas para trabajar de manera síncrona con el IMS al cual se quiere interconectar. Gracias a que el objetivo de este trabajo de título es la medición del servicio ya puesto en marcha, no es necesario realizar una conexión completa entre ambas entidades, pasando a ser una interconexión funcional.

Tanto en la red LAN como en LTE cada uno de los servidores logró entregar y recibir las peticiones de servicio por parte de los clientes. Sin embargo, en el caso de LTE, se debió habilitar Peer-to-Peer en la red, pues tanto IMS como Asterisk una vez que entregan la señalización de las

llamadas, son liberados de la responsabilidad de transportar el tráfico entre los clientes, el cual es realizado de manera peer-to-peer.

### 5.2.1 ACERCA DE LA IMPLEMENTACIÓN ENTRE IMS Y LTE

Se pone de manifiesto en esta memoria las ventajas que entrega IMS a una red LTE para la provisión de servicios multimedia sobre un núcleo de paquetes. En este caso se pudo trabajar con Voz sobre IP en LTE (VoLTE) lo cual puede ser implementado comercialmente por un operador móvil o incluso por un ISP, sin embargo en el trabajo de título de Sebastián Rivas “*Diseño e Implementación de Next Generation TV sobre LTE/IMS*” [33] se logra establecer un servicio de IPTV con agregados funcionales de mensajería instantánea y solicitud de videos vía *http* sobre una red LTE gracias a IMS.

## 5.3 ACERCA DE LAS HERRAMIENTAS

### 5.3.1 HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN

VQManager logra medir MOS en una llamada VoIP al capturar tráfico SIP en la red. Una vez que la llamada comienza, el programa la detecta y comienza la medición al capturar también el tráfico RTP de la llamada. Queda de manifiesto su importancia en las pruebas de concepto para los casos de IMS y Asterisk, logrando en ambos casos la obtención de los valores de MOS. Dichos valores efectivamente resultaron disminuir al evaluar MOS en una llamada con condiciones de congestión. Fue compatible con la red LTE y LAN.

El algoritmo PESQ tiene un comportamiento intrusivo, ya que se debe grabar las conversaciones en el lado del cliente (emisor y receptor) para su posterior procesamiento y entrega de MOS. Si bien sus mediciones fueron consecuentes con las obtenidas con las herramientas comerciales como VQManager, se debió usar herramientas de edición de audio (Cool Edit) para hacer coincidir los tiempos entre los archivos en ambos extremos.

Video Quality Monitor en sus versiones fuera de línea y en línea ha sido correctamente aplicado para la medición de MOS en *videostreaming*. Sin embargo, un punto a discutir acerca de este software es que no captura el tráfico que recibe el cliente mismo, sino que este actúa como si fuera un cliente desde cualquier punto de la red. Esto genera una incorrecta apreciación del MOS en el cliente mismo, pero a su vez arroja la ventaja de la medición de MOS sin la necesidad de ser intrusivo en la provisión del servicio al cliente. Es más, con este programa se pueden obtener todos los *frames* capturados indicando el peor y el mejor *frame* obtenido (en cuanto a calidad de contenido) además del monitoreo de todos los índices (MOS, Jerkiness, Blur, etc) vía una interfaz web de forma permanente.

MSU Video Quality Measurement Tool mostró ser útil para establecer mediciones de PSNR y VQM en videos capturados desde el cliente en *videostreaming* y Youtube (ambos grabados con VLC Media Player). Sin embargo, los videos grabados deben poseer audio, lo que agrega una complejidad extra y una fuente de error no despreciable.

#### 5.3.1.1 ACERCA DE LOS INSTRUMENTOS COMERCIALES

Los instrumentos comerciales usados en esta memoria comprenden programas de computador compatibles con el sistema operativo Windows 7: VQManager de ManageEngine; Video Quality Monitor, de AcceptTV y MSU VQMT. Al ser comerciales, todos ellos pudieron

ser usados únicamente por un período de prueba de entre dos semanas y un mes, después del cual redujeron sus prestaciones (por ejemplo, de poder monitorear 100 llamadas, baja dicha cantidad a 2) o bien quedaron inutilizables, requiriéndose comprarlo para continuar su uso.

Los dos primeros tienen como objetivo el monitoreo en línea vía parámetros de calidad, lo cual es realizado espionando la red en busca de los protocolos de voz-video que son capaces de evaluar; en cambio MSU VQMT funciona fuera de línea, debiendo ingresarse los archivos originales y capturados para su evaluación. Claramente, las herramientas de monitoreo pierden su utilidad frente a los servicios *over the top* pues estos tienen seguridad implementada, la cual no permite hacer una captura del tráfico. Es decir, se prefirió usar para este tipo de servicios la herramienta comercial MSU VQMT y la herramienta no comercial PESQ.

A pesar de esto, las herramientas comerciales VQManager y Video Quality Monitor prueban su efectividad al establecer las mediciones de MOS en audio y video incorporando en su funcionamiento la correlación respectiva con: el MOS que pudiera medirse a través de una encuesta a un grupo de usuarios de los servicios medidos, y con los valores de congestión de los enlaces: pérdida de paquetes, *jitter*, latencia y ancho de banda, siendo estos últimos también monitoreados. Esto es una clara ventaja por sobre algoritmos como PESQ y los implementados por MSU VQMT (como VQM y PSNR), que establecen mediciones objetivas vía comparación de archivos, aún cuando VQM incorpora la función de sensibilidad humana (ver Capítulo 2).

### 5.3.2 HERRAMIENTA DE CONTROL DE LA INTERFAZ DE RED

Network Emulator for Windows Toolkit (NEWT) logra de manera aproximada establecer una emulación del nivel de congestión en una interfaz de red. Se comparó el establecimiento del throughput en 500 kbps del enlace a internet y se realizó una medición de la velocidad de internet en el mismo computador mostrando descargas de hasta 380 kbps. A pesar de esto, su uso fue correctamente empleado ya que el objetivo de su uso en este trabajo no es el estudio del impacto de la congestión en las mediciones, sino que sólo se busca lograr imprimir la diferencia entre un MOS medido en buenas condiciones de red, versus un MOS medido en condiciones congestionadas emuladas con NEWT.

Para efectivamente lograr controlar la congestión en un enlace desde la red IP existen herramientas más avanzadas que logran esto de mejor manera como por ejemplo:

- NetDisturb
- Traffic Control
- DummyNet

Todas estas herramientas requieren de dos tarjetas de red para enrutar el tráfico de salida y entrada a un enlace específico. Las dos últimas funcionan únicamente en ambiente Linux y la primera en Windows.

## 5.4 ACERCA DE LAS PRUEBAS DE CONCEPTO

Cada una de las pruebas de concepto tiene un enfoque práctico para la medición de los indicadores de QoS y QoE. En este sentido, se presentan alternativas para lograr cada una de las mediciones objetivo con el fin de establecer una mejor compatibilidad para trabajos futuros y otras redes o servicios que se quieran medir.

Las pruebas de concepto lograron establecer las mediciones de calidad percibida las cuales se correlacionan perfectamente entre sí. Sin embargo, faltó una validación de estas pruebas con clientes presenciales, lo cual entregaría una mejor apreciación del correcto funcionamiento de estas pruebas.

## 5.5 ACERCA DE LAS MEDICIONES E INDICADORES USADOS

El MOS obtenido en VoIP en una red LTE tanto en condiciones óptimas como la condición congestionada, fue levemente mejor a su símil en la red LAN. Esto es debido a la existencia de gestión de Calidad de Servicio en LTE otorgando prioridad al tráfico de voz y video. Lo que a su vez demuestra la correcta correlación entre lo esperado y lo obtenido.

Las herramientas de MOS online y offline entregan resultados comparables en su comportamiento, sin embargo se debe optar por la segunda opción a la hora de medir este indicador en Skype, pues al ser un servicio con protocolos propios y encriptación de contenido, pierde toda alternativa de medición a través de una captura de tráfico en la red.

En cuanto a los indicadores de video, a pesar de que PSNR es un indicador objetivo de calidad de video, sí se correlaciona de buena manera con la calidad percibida en cuanto a que una pérdida de calidad de contenido debida a, por ejemplo, pérdidas de paquetes en la red, reflejará una consecuente pérdida en la calidad de experiencia del servicio.

El MOS de video se ha logrado de manera correcta tanto de manera online como offline, e incluso se correlaciona su comportamiento lo que posibilita a la herramienta offline ser una aproximación apreciable al MOS real de Youtube. Lo mismo sucede con VQM.

## 5.6 ACERCA DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

La metodología propuesta logra realizar la medición final del parámetro subjetivo más conocido para voz sobre IP: MOS, y para video: VMOS; haciendo uso de software y condiciones de red controladas, obteniendo una idea preliminar de cómo las condiciones de red afectan a la percepción final del usuario. Sin embargo, se recomienda como futuros trabajos de memoria analizar la efectiva correlación entre las condiciones de red (QoS), las condiciones de calidad de la aplicación (application QoS) y el MOS: cuál parámetro de red afecta más a la calidad percibida del usuario, bajo qué condiciones de uso de la aplicación (en el caso de video: *búfers*) y en qué servicio en específico. Incluso contrastar los casos límite de mala calidad.

## 5.7 ACERCA DE LOS CASOS DE DESINCRONIZACIÓN

Un aspecto importante en la percepción de un video vía streaming, aparte de la calidad del contenido en sí, es la sincronía audio-video. Los casos más típicos de desincronización son 3: desincronización constante (el audio estará atrasado o adelantado el mismo tiempo a lo largo de todo el vídeo), desincronización progresiva (cuando el tiempo entre audio y vídeo va aumentando a medida que avanza el vídeo) y desincronización total (una mezcla de los otros dos, o sea que el audio está en efecto desfasado en tiempo con el vídeo, pero a su vez ese desfase varía a lo largo de la película) [34]. Cada uno de estos casos es determinable vía mera observación de la reproducción actual. Ahora bien, en una reproducción en tiempo real como el caso de un

streaming, donde el contenido multimedia es paquetizado y enviado a la red, la sincronización audio-video depende fuertemente de las propiedades de la red y su nivel de congestión.

## 6 CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES

Se logró diseñar e implementar una metodología tanto para la medición de las condiciones de red (QoS) como para la calidad percibida por el usuario final de los servicios (QoE) en una red LTE/IMS. Esto gracias a que se pudo implementar los servicios, las redes y las herramientas de medición y congestión. La metodología servirá tanto para estudios futuros que tengan como base la obtención de parámetros de calidad desde el punto de vista del usuario en función del estado de la red, como para laboratorios docentes que busquen el estudio práctico de estos índices.

Se puso en marcha servicios de Voz sobre IP y VideoStreaming haciendo uso de elementos de red (como Asterisk y servidores de video) y aplicaciones OTT (como Skype y Youtube) en una red LAN, sin embargo su implementación fue parcial en el caso de LTE no pudiendo contar con acceso a internet.

Se implementó una plataforma IMS OpenSource para el establecimiento de sesiones multimedia e interconectó a dos tipos de redes: una red LAN a usar como prototipo de pruebas, y al core de una red móvil LTE.

Se consiguió diseñar una serie de pruebas de concepto que permiten medir el estado de una red y, en particular, la calidad percibida por un usuario de los servicios conectados a través de la misma.

Se generaron 2 escenarios de red: óptima y congestionada. Tanto para la red LAN prototipo como para la red LTE. Si bien las condiciones congestionadas emplearon un control parcial sólo del acceso a la red a través de la interfaz y no un control de la congestión, su uso en las pruebas de concepto tuvo el mismo impacto ya que se logró verificar las diferencias medidas en los parámetros de calidad de experiencia.

Gracias a que la metodología integra la puesta en marcha a modo de prototipo en una red LAN, lo que verifica su correcto funcionamiento previo a su implementación en LTE, y posteriormente realiza las mediciones en distintos escenarios de congestión, se logra validar las pruebas de medición de QoE en LTE vía comparación de comportamientos. Esto, ya que las mediciones obtenidas son concordantes con lo observado en cada prueba desde la posición del usuario de cada servicio.

Además, se obtienen las mediciones de QoE en servicios VVoIP implementados de manera local gracias a la implementación gradual de cada una de las pruebas de concepto aquí enunciadas. Esto mismo pudo ser comprobado en los servicios OTT medidos como etapa final de las pruebas de concepto, es decir, una vez que las pruebas funcionaron en la red LAN en ambas condiciones de congestión. Cabe destacar que en el caso de OTT sólo se pudo lograr la medición para red LAN. Además, para los mismos servicios OTT, la metodología empleada debió ser la alternativa fuera de línea.

Con respecto a la sincronización entre el audio y el video en un servicio multimedia, si bien en este trabajo de título no se abordó esta temática, las herramientas que aquí se nombraron, pueden dar pie a elaborar una metodología para la observación de la sincronía audio-video. Por ejemplo, una posible manera de afrontar el problema de medir el sincronismo es capturando el video que

recibe el usuario en un archivo de video, realizar una separación del audio y el video (por ejemplo con el software VirtualDubMod [35]) tanto del video original como del video capturado, y aplicar el algoritmo PESQ a los audios para medir su nivel de sincronismo, y aplicar el software MSU Video Quality Measurement Tool para comparar ambos videos y obtener el MSU. Así, este tema puede desarrollarse en futuros trabajos de memoria e incluso ver cómo afecta los parámetros de la red al sincronismo audio-video.

Todas las pruebas de concepto planteadas logran generar guías que sirven como material de estudio para cursos en el DIE tanto de capacitación a los operadores móviles actuales, como para cursos de pre y post-grado. Este material de estudio con objetivos docentes puede ser complementado con el trabajo del memorista John Oliva “*Diseño e Implementación de un curso y laboratorio de servicios sobre acceso LTE y Packet Core IMS*” [8].

Finalmente, se pudo generar documentación acerca de la instalación de cada uno de los servicios y herramientas a ser utilizadas en las pruebas de concepto de modo que futuros memoristas logren retomar y continuar este trabajo.

Gracias a esta metodología se sugieren, entre otros, los siguientes trabajos futuros:

1. Estudio del impacto en QoE del manejo de políticas de QoS en redes LTE/IMS.

Se propone obtener los indicadores de calidad acá mencionados y ver la manera en que estos varían de acuerdo a las políticas de Calidad de Servicio de las redes LTE/IMS para corroborar de manera práctica que estas redes sean capaces de ofrecer servicios multimedia con una buena percepción por parte del usuario final.

2. Implementación de una interconexión entre una red LTE a la red de telefonía pública (PSTN) a través de un IMS OpenSource y una central telefónica IP.

De la implementación de este trabajo de memoria, se detalló la posible interconexión hacia la PSTN desde usuarios LTE usando IMS y una central telefónica (Asterisk). Esta propuesta de trabajo involucra la necesidad de interconectar IMS con la central telefónica de manera que un usuario IMS conectado a través de una red LTE tenga acceso a llamadas telefónicas tradicionales. Esto puede lograrse a través de un servidor de re-direcciones que traduzca el nombre de usuario en señalización SIP a un anexo telefónico.

3. Implementación de APIs para la puesta en marcha de variados servicios multimedia en una red LTE a través de IMS y la medición de la calidad de experiencia obtenida.

Esta propuesta tiene como objetivo emular un operador de telefonía móvil que quiera probar servicios y aplicaciones en una plataforma LTE/IMS, con la respectiva medición de calidad de experiencia de cada uno.

4. Estudio del impacto de la movilidad en una red LTE en la calidad percibida de los servicios montados sobre ésta.

Haciendo uso de los indicadores de calidad, se pueden contrastar sus valores con respecto a la movilidad del usuario: posición relativa a la antena, intensidad de señal, rapidez de movimiento

del usuario, con el objetivo de mejorar la eficiencia de la cobertura de un e-nodo-B y hacer ajustes a la gestión de políticas de control teniendo en cuenta la percepción del usuario.

5. Estudio del sincronismo audio-video en un servicio de videostreaming ofrecido sobre una red móvil LTE.

Con las herramientas aquí presentadas, como por ejemplo MSU Video Quality Measurement Tool, y otras como Virtualdubmod, es posible realizar grabaciones de un videostream en una red móvil LTE y separar el audio y el video tanto en dicha grabación como en el archivo original. De esta manera, se obtienen dos archivos de audio y dos archivos de video los cuales se comparan vía PSNR y PESQ para obtener el nivel de sincronismo entre ellos.

## 7 CAPÍTULO 7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **Subsecretaría de Telecomunicaciones (SUBTEL)**. Licitación 4G: Se definen frecuencias para Entel, Movistar y Claro. Santiago, 30 de Julio 2012.
- [2] **Subocki, Sagi; Levine, Anatoli; Ford, Carl**. LTE-The future of IMS. Radvision. 2010.
- [3] **Davidson, Jonathan; Peters, James; Bhatia, Manoj**. Voice over IP Fundamentals. Cisco Press. 2006
- [4] **Cisco**. Understanding Jitter in Packet Voice Networks. Cisco Press. Document ID: 18902
- [5] **Servicios OTT**. <http://www.pace.com/global/our-thinking/over-the-top-services-ott>. Fecha de consulta: 10 de Enero de 2012.
- [6] **Ali-Yahiya Tara**. Understanding LTE and its Performance. Springer, 2011.
- [7] **Vergados, D**. The IP revolution and potential gains for ISP/mobile/fixed telephony operators in the liberalization of telecommunications. [Paper]. 2002.
- [8] **Oliva, John**. Diseño e Implementación de un curso y laboratorio de servicios sobre acceso LTE y Packet Core IMS - Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista. 2012.
- [9] **Peñaloza, Sebastián** Diseño e Implementación de un Proveedor de Servicios Genérico con Arquitectura IMS - Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista. 2008.
- [10] **3GPP Release 12**. <http://www.3gpp.org/Release-12>. Fecha de Consulta: 18 de Agosto de 2012.
- [11] **García-Martín, Camarillo**. The 3G IP Multimedia Subsystem (IMS): Merging the Internet and the Cellular worlds. Wiley, 2006.
- [12] **IMS OpenSource** <http://www.openimscore.org/>. Fecha de Consulta: 10 de Agosto de 2011.
- [13] **ITU-T E.800 Recommendation**. “Definitions of terms related to quality of service”. International Telecommunication Union. Septiembre 2008.
- [14] **ITU-T E.860 Recommendation**. “Framework of a Service Level Agreement (SLA)”. International Telecommunication Union, Junio 2002.
- [15] **Feng, Huang**. “A selective approach to bandwidth overbooking”. Brigham Young University.
- [16] **Sandoval Jorge**. Calidad de Experiencia en el servicio de Banda Ancha Móvil – Tesis para optar al grado de de Magíster en Ingeniería de Redes de Comunicaciones. 2011.

- [17] **ITU-T P.800 Recommendation.**” Methods for subjective determination of transmission quality”, Agosto 1996.
- [18] **MSU Video Quality Measurement Tool.** <http://compression.ru/video/index.htm>. Fecha de Consulta: 3 de Noviembre de 2011.
- [19] **ITU-T Recommendation P.862 (02/2001)**, Perceptual Evaluation of Speech Quality assessment of narrowband telephone networks and speech codecs (PESQ).
- [20] **Skype.** <http://www.skype.com>. Fecha de Consulta: 5 de Noviembre de 2011.
- [21] **Youtube.** <http://www.youtube.com>. Fecha de Consulta: 6 de Noviembre de 2011.
- [22] **Módem USB ZTE.** <http://www.mobile4wifilte.co.uk/zte-mf820.html>. Fecha de Consulta: 15 de Enero de 2012.
- [23] **NetDisturb.** <http://www.zti-telecom.com/EN/NetDisturb.html>. Fecha de Consulta: 20 de Enero de 2012.
- [24] **Dummynet.** <http://info.iet.unipi.it/~luigi/dummynet/>. Fecha de Consulta: 20 de Enero de 2012.
- [25] **NEWT.** <http://blog.mrpol.nl/2010/01/14/network-emulator-toolkit/>. Fecha de Consulta: 26 de Enero de 2012.
- [26] **IPERF.** <http://www.mayoxide.com/iperf/> . Fecha de Consulta: 20 de Enero de 2012.
- [27] **VQManager.** <http://www.manageengine.com/products/vqmanager/>. Fecha de Consulta: 21 de Enero de 2012.
- [28] **Video Quality Monitor.** [http://www.acceptv.com/page/products\\_vqm](http://www.acceptv.com/page/products_vqm). Fecha de Consulta: 21 de Enero de 2012.
- [29] **Lingfen Sun , Emmanuel** New Methods for Voice Quality Evaluation for IP Networks [Book]. University of Plymouth. Department of Communication and Electronic Engineering. 2003
- [30] **Haddad Majed, Altman Eitan.** A Survey on Youtube Streaming Service [Paper]. INRIA, Université d’Avignon. France.
- [31] **VirtualBox.** <https://www.virtualbox.org/>. Fecha de Consulta: 6 de Agosto de 2011.
- [32] **3GPP R8: 3GPP TS 36.323 (PDCP specification).** <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36323.htm>. Fecha de Consulta: 16 de Enero de 2012.
- [33] **Rivas, Sebastián.** Diseño e Implementación de Next Generation TV sobre una plataforma LTE/IMS - Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista. 2012.

- [34] Sincronización de audio y video en archivos AVI. <http://www.mundodivx.com/edicionsimple/sincronizaravi.php>. Fecha de Consulta: 9 de Marzo de 2012.
- [35] **Virtualdubmod**. <http://virtualdubmod.sourceforge.net/>. Fecha de Consulta: 9 de Marzo de 2012.
- [36] **Shariff Ben**. Elastix without tears. PDF Version. 2008.
- [37] **Elastix**. <http://www.elastix.org/index.php/en/downloads/main-distro.html>. Fecha de Consulta: 9 de Noviembre de 2011.
- [38] **ITU-T E.800 Recommendation**. Definitions of terms related to quality of service. International Telecommunication Union, Telecommunication Standardization Sector. Septiembre 2008.
- [39] **ITU-T G.1030 Recommendation**. Quality of service and performance – Generic and user related aspects. Estimating end-to-end performance in IP networks for data applications. International Telecommunication Union, Telecommunication Standardization Sector. Noviembre 2005.
- [40] **ITU-T E.419 Recommendation**. Business oriented key performance indicators for management of networks and services. International Telecommunication Union, Telecommunication Standardization Sector. Febrero 2006.
- [41] **Mercuro IMS Client**. <http://imsclient.blogspot.com/>. Fecha de Consulta: 10 de Diciembre de 2011.
- [42] **myMONSTER Client**. <http://www.monster-the-client.org/>. Fecha de Consulta: 10 de Diciembre de 2011.

## 8 ANEXOS

### 8.1 ANEXO A: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS ARQUITECTURAS USADAS

#### 8.1.1 A-1. PROTOCOLOS PRINCIPALES DE IMS Y ASTERISK

##### 8.1.1.1 SIP [9]

Session Initiation Protocol (SIP o Protocolo de Inicio de Sesiones) es un protocolo desarrollado por el grupo de trabajo MMUSIC del IETF (Internet Engineering Tasking Force) con la intención de ser el estándar para la iniciación, modificación y finalización de sesiones interactivas de usuario donde intervienen elementos multimedia como el video, voz, mensajería instantánea, juegos en línea y realidad virtual.

La sintaxis de sus operaciones se asemeja a las de HTTP y SMTP, los protocolos utilizados en los servicios de páginas Web y de distribución de e-mails respectivamente. Esta similitud es natural ya que SIP fue diseñado para que la telefonía se vuelva un servicio más en Internet.

En noviembre del año 2000, SIP fue aceptado como el protocolo de señalización de 3GPP y elemento permanente de la arquitectura IMS (IP Multimedia Subsystem). SIP es uno de los protocolos de señalización para voz sobre IP, otro es H.323 y IAX actualmente IAX2.

El protocolo SIP permite el establecimiento de sesiones multimedia entre dos o más usuarios. Para hacerlo se vale del intercambio de mensajes entre las partes que quieren comunicarse.

##### 8.1.1.1.1 AGENTES DE USUARIO

Los usuarios, que pueden ser seres humanos o aplicaciones de software, utilizan para establecer sesiones lo que el protocolo SIP denomina "Agentes de usuario". Estos no son más que los puntos extremos del protocolo, es decir son los que emiten y consumen los mensajes del protocolo SIP. Un videoteléfono, un teléfono, un cliente de software (softphone) y cualquier otro dispositivo similar es para el protocolo SIP un agente de usuario. El protocolo SIP no se ocupa de la interfaz de estos dispositivos con el usuario final, sólo se interesa por los mensajes que estos generan y cómo se comportan al recibir determinados mensajes.

Los agentes de usuario se comportan como clientes (UAC: User Agent Clients) y como servidores (UAS: User Agent Servers). Son UAC cuando realizan una petición y son UAS cuando la reciben. Por esto los agentes de usuario deben implementar un UAC y un UAS.

Además de los agentes de usuario existen otras entidades que intervienen en el protocolo, estos son los Servidores de Registro o Registrar, los Proxy y los Redirectores. A continuación se describe su finalidad.

#### 8.1.1.1.2 SERVIDORES DE REGISTRO

El protocolo SIP permite establecer la ubicación física de un usuario determinado, esto es, en qué punto de la red está conectado. Para ello se vale del mecanismo de registro. Este mecanismo funciona como sigue:

Cada usuario tiene una dirección lógica que es invariable respecto de la ubicación física del usuario. Una dirección lógica del protocolo SIP es de la forma usuario@dominio es decir tiene la misma forma que una dirección de correo electrónico. La dirección física (denominada "dirección de contacto") es dependiente del lugar en donde el usuario está conectado (de su dirección IP). Cuando un usuario inicializa su terminal (por ejemplo conectando su teléfono o abriendo su software de telefonía SIP) el agente de usuario SIP que reside en dicho terminal envía una petición con el método REGISTER a un Servidor de Registro (Registrar en inglés), informando a qué dirección física debe asociarse la dirección lógica del usuario. El servidor de registro realiza entonces dicha asociación (denominada binding). Esta asociación tiene un período de vigencia y si no es renovada, caduca. También puede terminarse mediante un desregistro. La forma en que dicha asociación es almacenada en la red no es determinada por el protocolo SIP, pero es vital que los elementos de la red SIP accedan a dicha información

#### 8.1.1.1.3 SERVIDORES PROXY Y DE REDIRECCIÓN

Para encaminar un mensaje entre un agente de usuario cliente y un agente de usuario servidor normalmente se recurre a los servidores. Estos servidores pueden actuar de dos maneras:

1. Como Proxy, encaminando el mensaje hacia destino,
2. Como Redirector (Redirect) generando una respuesta que indica al originante la dirección del destino o de otro servidor que lo acerque al destino.

La principal diferencia es que el servidor proxy queda formando parte del camino entre el UAC y el (o los) UAS, mientras que el servidor de redirección una vez que indica al UAC cómo encaminar el mensaje ya no interviene más.

Un mismo servidor puede actuar como Redirector o como Proxy dependiendo de la situación.

#### 8.1.1.2 SDP

Session Description Protocol (SDP), es un protocolo para describir los parámetros de inicialización de los flujos multimedia. Fue publicado por el IETF en el RFC 2327, en abril de 1998.

SDP está pensado para describir sesiones de comunicación multimedia cubriendo aspectos como anuncio de sesión, invitación a sesión y negociación de parámetros. SDP no se encarga de entregar los contenidos propiamente dichos sino de entablar una negociación entre las entidades que intervienen en la sesión como tipo de contenido, formato, y todos los demás parámetros

asociados. Este conjunto de parámetros se conoce como perfil de sesión. SDP se puede ampliar para soportar nuevos tipos de medios y formatos.

Comenzó como componente del SAP (Session Announcement Protocol), pero encontró otros usos en conjunto con RTP (Real-time Transport Protocol), SIP y como formato independiente para describir sesiones multicast. SDP incluye:

- El tipo de medio de multimedia(video, audio, etc)
- El protocolo de transporte (RTP/UDP/IP, H.320, etc)
- El formato (H.261 video, MPEG video, etc)

#### 8.1.1.3 DIAMETER

Diameter es un protocolo de autenticación, autorización y de contabilidad (AAA) para redes de computadores, y una alternativa a RADIUS. Las aplicaciones de Diameter extienden la base del protocolo añadiendo nuevos comandos y atributos, como aquellos para el uso de Extensible Authentication Protocol (EAP).

### 8.1.2 A-2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LTE [6]

LTE es una solución de banda ancha móvil que ofrece un rico conjunto de características con una gran flexibilidad en términos de opciones de implementación y posibles ofertas de servicios. Algunas de las características más importantes que merecen ser destacados son los siguientes:

- OFDM de alta eficiencia espectral es la base de la capa física, se utiliza en enlace descendente con el fin de obtener una excelente robustez frente a interferencias múltiples y de alta afinidad a las técnicas avanzadas como el dominio de la frecuencia del canal dependiente de la programación y MIMO, mientras que una sola portadora Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) se utiliza en el enlace ascendente con el fin de obtener un bajo *peak-to-average Power Ratio* (PAPR), la ortogonalidad de usuario en el dominio de la frecuencia y multi-antena de la aplicación.

**TABLA 37: CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DE LTE**

| <b>Parámetro</b>            | <b>Valores</b>   |
|-----------------------------|--|
| Esquema de Acceso UL        | SC-OFDMA   |
| Esquema de Acceso DL        | OFDMA  |
| Ancho de Banda              | 1.4; 3; 5; 10; 15 y 20 MHz   |
| TTL mínimo                  | 1 ms   |
| Espacio entre Subportadoras | 15 kHz   |
| Prefijo cíclico corto       | 4.7 uS   |
| Prefijo cíclico largo       | 16.7 uS  |
| Modulación                  | QPSK, 16QAM, 64QAM   |
| Multiplexación espacial     | Capa única por UL, por UE; hasta 4 capas para DL por UE, MU-MIMO soportado por UL y DL |

- Soporte para TDD y FDD: LTE es compatible con duplexación por división de tiempo (TDD) y duplexación por división de frecuencia (FDD). TDD se ve favorecida por la mayoría de las implementaciones debido a sus ventajas: (1) la flexibilidad en la elección de las tasas de datos uplink-to-downlink, (2) la capacidad para explotar la reciprocidad de canales, (3) capacidad de implementar en el espectro no emparejado, y (4) diseño del *transceiver* es menos complejo.
- Modulación adaptable y Codificación (AMC): LTE soporta un número de esquemas de codificación de modulación y *Forward Error Correction* (FEC) y permite que el esquema sea cambiado en una base por usuario y por *frame*, en base a las condiciones del canal. AMC es un mecanismo eficaz para maximizar el rendimiento en un canal de tiempo. El algoritmo de adaptación por lo general requiere el uso de la más alta modulación y el sistema de codificación que puede ser apoyado por la relación señal-ruido y la relación de interferencia en el receptor de tal manera que cada usuario dispone de la tasa de datos posible que puedan ser apoyados en sus enlaces respectivos.
- Soporte de ancho de banda variable: E-UTRA funcionará en las asignaciones de espectro de diferentes tamaños, incluyendo 1.25, 1.6, 2.5, 5, 10, 15 y 20 MHz en el enlace ascendente y descendente. La operación en espectro pareado y despareado será soportada. Esta escala se puede hacer de forma dinámica para asistir el *roaming* de los usuarios móviles a través de redes diferentes que pueden tener diferentes asignaciones de ancho de banda.
- Tasas máximas de datos muy alta: LTE es capaz de soportar muy altas tasas de datos máximas. De hecho, el pico de velocidad de datos PHY puede ser tan alta como de bajada máxima velocidad de datos de 100 Mb / s dentro de una asignación de 20 MHz de espectro descendente (5 bps / Hz), mientras que proporciona subida máxima velocidad de datos de 50 Mb / s (2,5 bps / Hz) en una asignación de espectro de 20 MHz de enlace ascendente.

- Movilidad: E-UTRAN debe ser optimizada para la velocidad móvil de bajo 0 a 15 km / h. A mayor velocidad móvil de entre 15 y 120 km / h debe ser compatible con un alto rendimiento. La movilidad a través de la red celular se mantuvo a una velocidad de 120 a 350 km / h (o incluso hasta a 500 km / h, dependiendo de la banda de frecuencia).

**TABLA 38: COMPARACIÓN ENTRE LTE Y LTE-ADVANCED**

| <b>Parámetro</b>                 | <b>LTE</b>  | <b>LTE Advanced</b> |
|----------------------------------|---|---------------------|
| Tasa de transmisión Peak DL      | 300 Mbps  | 1 Gbps              |
| Tasa de transmisión Peak UL      | 75 Mbps   | 500 Mbps            |
| Ancho de banda de transmisión DL | 20 MHz  | 100 MHz             |
| Ancho de banda de transmisión UL | 20 MHz  | 40 MHz              |
| Movilidad                        | Optimizada para velocidades reducidas (<15 km/h), alta performance a velocidades menores que 120 km/h, y mantiene el enlace a velocidades mayores que 350 km/h. | Similar a LTE       |
| Cobertura                        | Performance completo a 5 km.  | Similar a LTE       |
| Ancho de banda escalable         | 1.4; 3; 5; 10; 15 y 20 MHz  | Hasta 20-100 MHz    |

Retransmisiones de capa de enlace: LTE soporta peticiones de retransmisión automática (ARQ) en la capa de enlace. Las conexiones ARQ habilitadas requieren que cada paquete transmitido sea reconocido por el receptor, los paquetes no reconocidos se pierden y se retransmiten. LTE también opcionalmente soporta Hybrid-ARQ, que es un híbrido eficaz entre FEC y ARQ.

Soporte de usuarios simultáneos: LTE ofrece la posibilidad de realizar la programación de recursos bidimensionales (en tiempo y frecuencia), permitiendo el soporte de múltiples usuarios en un espacio de tiempo, en cambio, la tecnología existente 3G lleva a cabo en una dimensión de programación, lo que limita el servicio a un usuario para cada ranura de tiempo. Esta capacidad de LTE resulta siempre en una mejor experiencia y también permite la proliferación de aplicaciones inalámbricas de sistemas/aplicaciones integradas.

Seguridad: LTE proporciona una seguridad mejorada a través de la implementación del módulo de la UICC de identidad del abonado (SIM) y el almacenamiento asociado de clave robusta y no

invasiva y la autenticación de claves privadas simétricas de 128 bits. LTE, además, incorpora autenticación fuerte mutua, confidencialidad de la identidad del usuario, protección de la integridad de todos los mensajes de señalización entre la UE y de la Entidad de Gestión de Movilidad (MME), y el portador opcional multi-nivel cifrado de datos.

Eficiente roaming: Debido a que LTE será el estándar 4G unificado para la mayoría de las compañías a nivel mundial 3GPP y 3GPP2, los dispositivos LTE serán fundamentalmente más fácil de configurar para roaming mundial. La advertencia es que la banda de frecuencia real utilizada por los diferentes operadores será diferente (conservando así la necesidad de dispositivos multibanda).

## **8.2 ANEXO B: GUÍA DE IMPLEMENTACIÓN DE LOS SERVICIOS**

### **8.2.1 B-1. GUÍA DE INSTALACIÓN DE IMS OPENSOURCE EN UNA MÁQUINA VIRTUAL CON DEBIAN**

Para la instalación del IMS OpenSouce se realiza una pre-instalación del S.O. Debian versión 6.0.2.1 (Squeeze) en una máquina virtual (VM) en el programa Virtual Box 4.1.6.

#### **8.2.1.1 INSTALACIÓN DE VIRTUALBOX [31]**

Se realiza la instalación del software en un ambiente Windows 7 desde un ejecutable descargado de la página oficial del proyecto VirtualBox. Una vez ejecutado basta continuar de manera natural la instalación, como sigue:

Se comienza por hacer doble click sobre el ejecutable, a continuación se muestra los diálogos normales de una instalación de programa permitiendo elegir donde instalarlo y qué componentes instalar incluso se puede instalar en español (versión usada). Como complemento, se recomienda elegir los siguientes componentes:

Soporte USB

Contiene controladores extras para que la instalación en Windows tenga total soporte para dispositivos USB al interior de la máquina virtual.

Networking

Agrega controladores de dispositivos de red para habilitar la opción de redes puenteadas (Bridged networking) con el objetivo de lograr que la interfaz de red de la máquina virtual sea accesible desde otros computadores en una misma red física.

Dependiendo de la configuración del sistema Windows es posible recibir alertas acerca de controladores no asignados. Basta ignorar y continuar con la instalación pues de otra manera es posible que VirtualBox no funcione.

El instalador crea un grupo llamado “VirtualBox” en la barra Inicio de Windows lo que permite acceder a la aplicación y acceder a su documentación directamente.

### 8.2.1.2 CREACIÓN DE UNA MÁQUINA VIRTUAL (VM) EN VIRTUALBOX

Una vez instalado y al ejecutarlo por primera vez, se abre la ventana "VirtualBox Manager" (Ver Ilustración 36). El panel de mano izquierda contiene las máquinas virtuales ya creadas. La fila de botones superior al panel permite la creación de máquinas virtuales y trabajar con máquinas ya creadas. A mano derecha, se despliegan las propiedades de la máquina virtual. Como ejemplo, en la Ilustración 37 se muestra como debiera lucir VirtualBox con máquinas virtuales creadas y funcionando.



ILUSTRACIÓN 36: VIRTUALBOX MANAGER

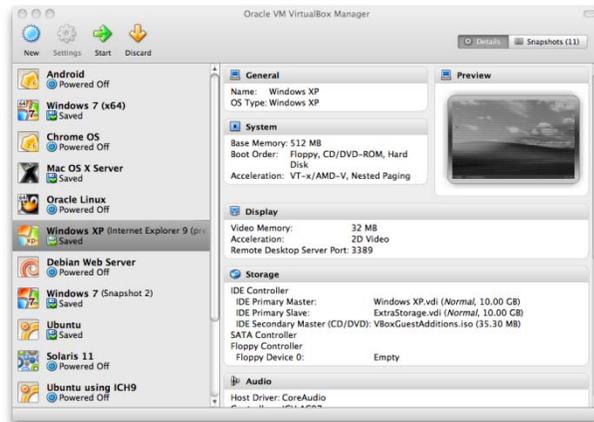


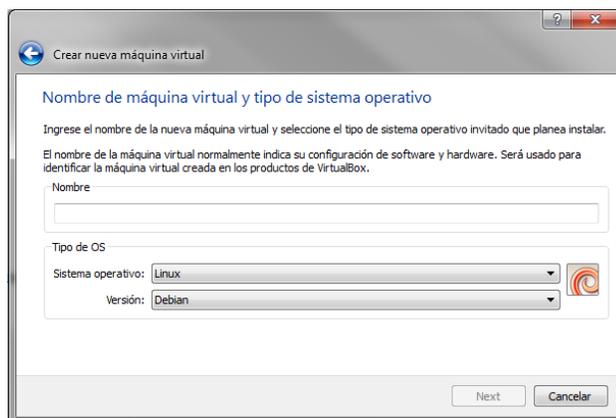
ILUSTRACIÓN 37: VIRTUALBOX FUNCIONANDO

Así, una vez instalado VirtualBox en Windows 7, se procede a crear una máquina virtual para instalar Debian 6.0 en ella.

### 8.2.1.3 CREACIÓN DE UNA MÁQUINA VIRTUAL DEBIAN 6.0 A PARTIR DE UN DISCO IMAGEN

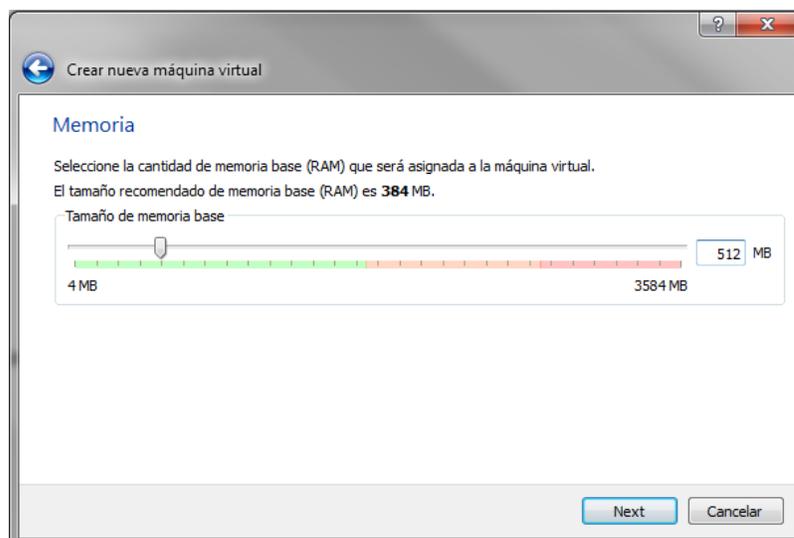
Primero, se debe descargar la imagen .iso de Debian. Basta con acceder a <http://www.debian.org/CD/http-ftp/> donde se puede escoger la versión, el tipo (CD o DVD) y la vía de descarga. Para este trabajo se usa la imagen "debian-6.0.2.1-i386-DVD-1"

Una vez descargada, se puede ingresar a VirtualBox para crear una nueva máquina virtual. Para esto, se hace click en “Nueva” y a continuación se abre un diálogo donde se solicita un nombre para la máquina y el tipo de S.O. (ver Ilustración 38).



**ILUSTRACIÓN 38: CREACIÓN DE UNA MÁQUINA VIRTUAL**

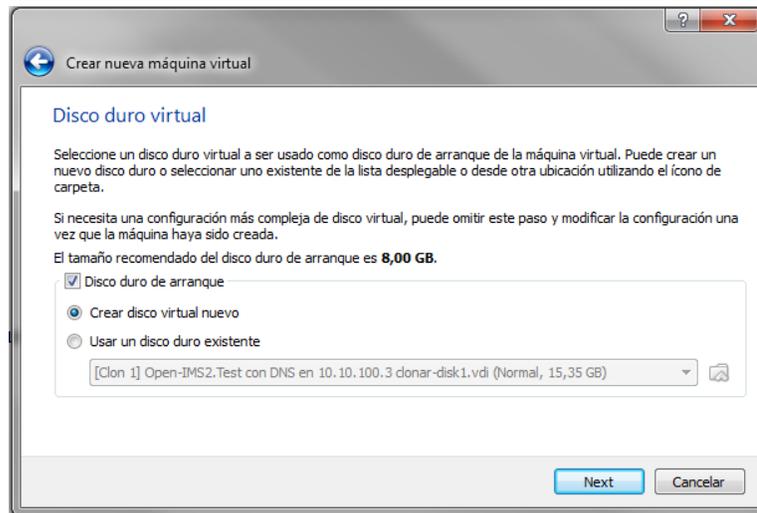
En seguida, se requiere la cantidad de memoria a asignar a la máquina. Para Debian 6.0 se recomienda usar 512 MB.



**ILUSTRACIÓN 39: ELECCIÓN DE MEMORIA BASE DE LA NUEVA MÁQUINA**

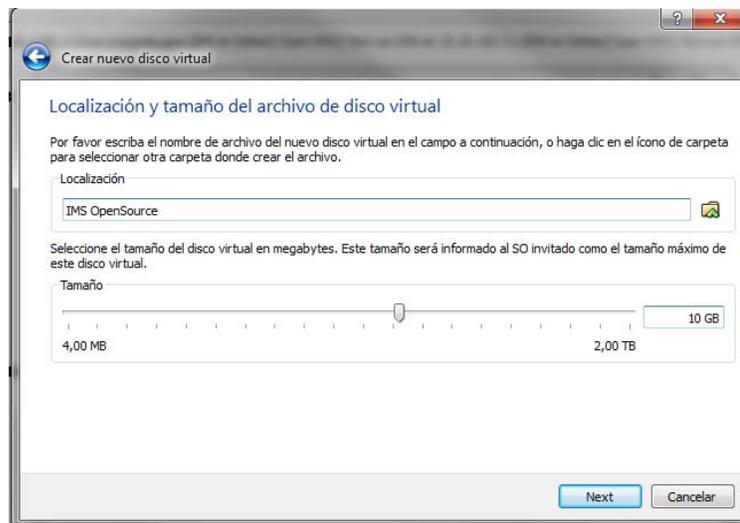
A continuación, se debe crear el disco duro virtual. Se debe crear un nuevo disco de arranque en un disco virtual nuevo. Este paso da inicio al asistente de creación de Disco Virtual, donde se solicitarán:

- Tipo de Archivo de Disco Duro Virtual: .vdi
- Detalles de Almacenamiento: Reservado Fijo



**ILUSTRACIÓN 40: ELECCIÓN DEL DISCO DURO DE LA NUEVA MÁQUINA**

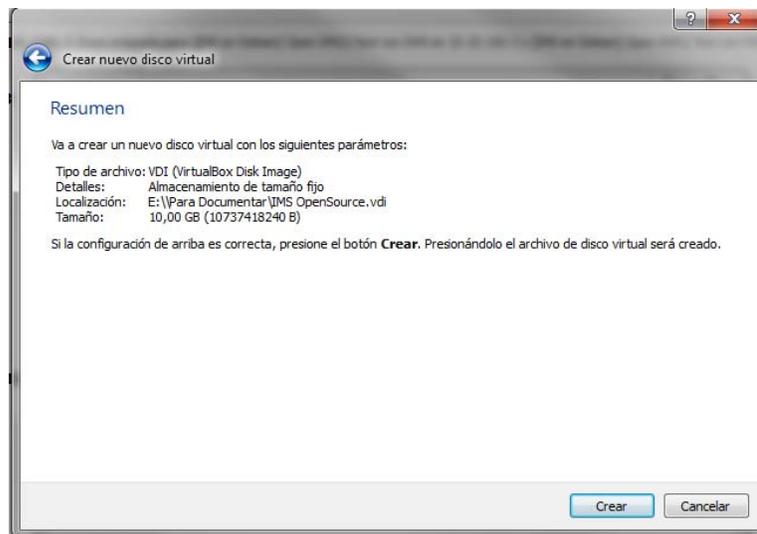
Para finalizar esta etapa, se solicita la ubicación donde se alojará el archivo de la máquina virtual y el tamaño físico que ocupará en el disco duro del computador.



**ILUSTRACIÓN 41: ELECCIÓN DEL TAMAÑO DE DISCO DURO DE LA NUEVA MÁQUINA**

Se recomienda instalar 10 Gb para esta máquina virtual.

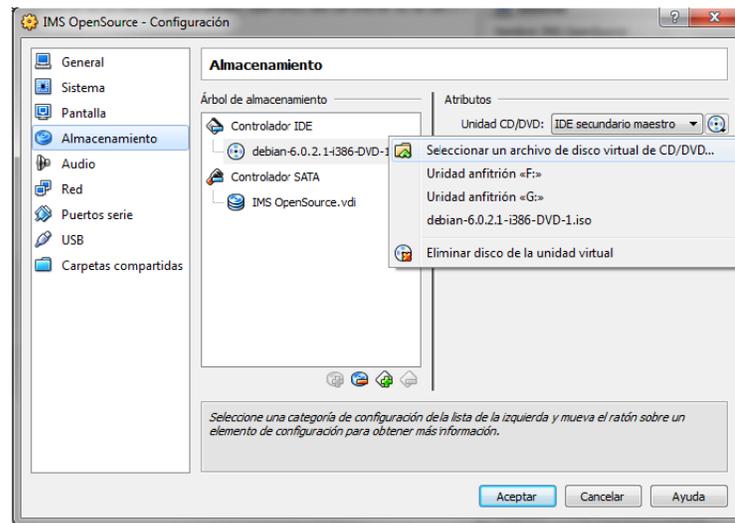
Con esta última configuración se da paso a la creación de la máquina virtual, proceso que dura aproximadamente 5 minutos dependiendo del tamaño otorgado a la máquina



**ILUSTRACIÓN 42: MÁQUINA VIRTUAL CREADA**

#### 8.2.1.3.1 INSTALACIÓN DE DEBIAN 6.0 SQUEEZE EN MÁQUINA VIRTUAL

Antes de iniciar la máquina se debe seleccionar el arranque de la máquina virtual desde la imagen del S.O ya descargada. Para esto, se hace click derecho a la máquina sin iniciar para seleccionar en “Almacenamiento” el controlador IDE de la imagen del disco a emplear.

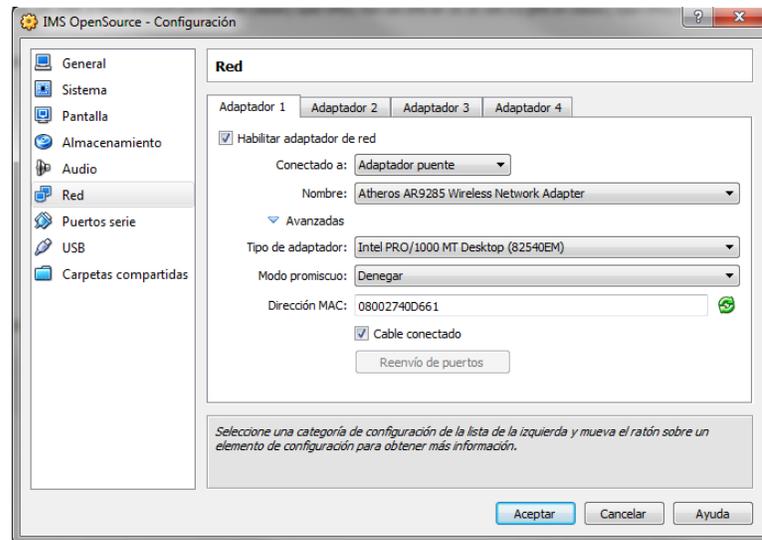


**ILUSTRACIÓN 43: SELECCIÓN DE LA IMAGEN DE DEBIAN EN LA MÁQUINA VIRTUAL**

Además, en la sección “Red”, para que el IMS OpenSource a ser instalado sea visible desde la red LAN en que se encuentra el computador en que corre, se debe configurar un Adaptador de red de manera Bridge (Puente), es decir, se debe hacer un puente entre la interfaz de la máquina virtual con la interfaz de red física del computador. Para esto, como se ve en la Ilustración 44, se debe presentar la siguiente configuración, habilitando el adaptador de red:

- Conectado a: Adaptador de puente
- Nombre: Debe seleccionar la interfaz de red física del computador (Wi-Fi; Lan, u otra)

- Cable Conectado: Sí

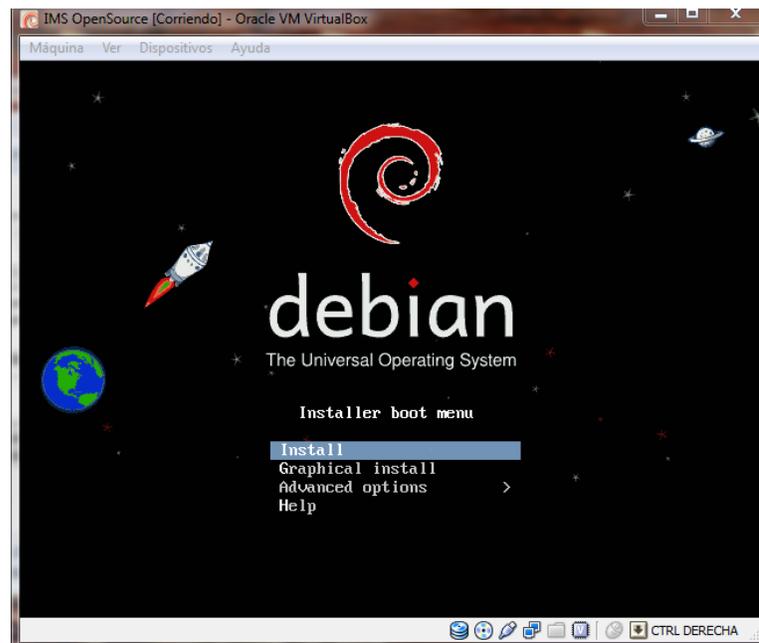


**ILUSTRACIÓN 44: SELECCIÓN DE ATRIBUTOS DE LA CONEXIÓN DE RED DE LA MÁQUINA**

Una vez hechos estos ajustes, se puede dar inicio a la máquina virtual, la cual arranca desde la imagen seleccionada.

#### 8.2.1.4 INSTALACIÓN DE DEBIAN 6.0 EN MÁQUINA VIRTUAL

Una vez iniciada la máquina virtual, arrancando desde la imagen de Debian, aparece el siguiente cuadro:



**ILUSTRACIÓN 45: DIÁLOGO INICIAL DE INSTALACIÓN DE DEBIAN 6.0**

Para esta guía, se selecciona la opción gráfica y se continúan los siguientes pasos. En el siguiente orden:

- Selección de Idioma: Español
- Ubicación: Chile
- Mapa de Teclado: Latinoamericano

A continuación, se solicita la configuración de la red. Se solicita:

- Nombre de la máquina: ims
- Nombre de Dominio: No necesario
- Clave de Superusuario: Crítico pues IMS será instalado como Superusuario (ims)
- Nombre completo para el nuevo usuario: IMS
- Contraseña para el nuevo Superusuario: ims
- Configuración de Reloj: Santiago de Chile

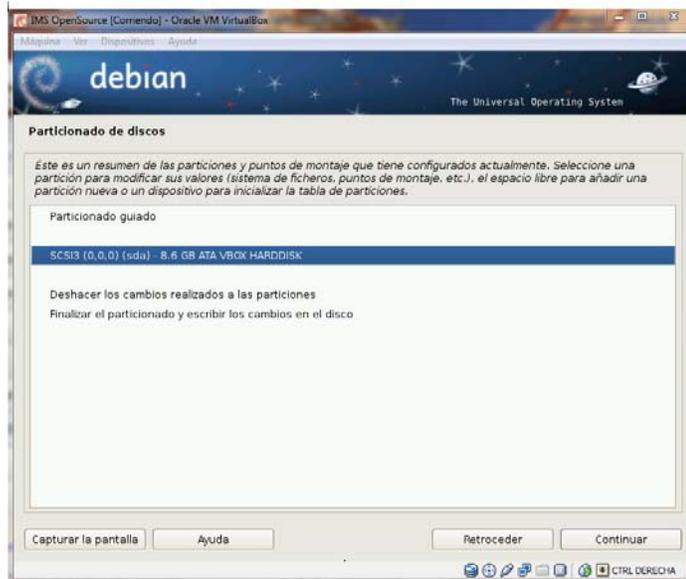


**ILUSTRACIÓN 46: SELECCIÓN DEL NOMBRE DE LA MÁQUINA DEBIAN**

Uno de los pasos finales es el particionado de disco. Este paso es muy importante pues el directorio donde se descargan los componentes del IMS OpenSource tiene un espacio muy pequeño en la partición de discos por defecto.

#### 8.2.1.4.1.1 PARTICIONADO DE DISCOS MANUAL

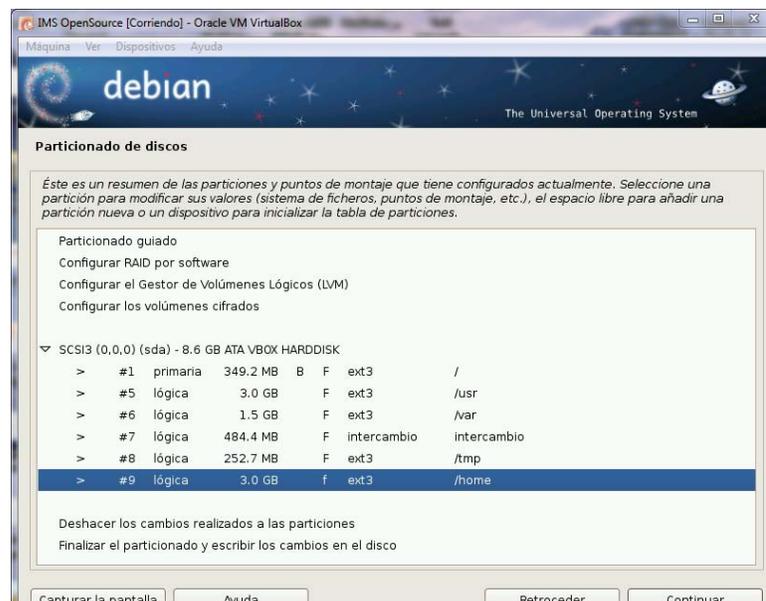
Se inicia creando particiones desde la partición original del disco duro. Para esto se hace doble click en la partición original.



**ILUSTRACIÓN 47: PARTICIONADO DE DISCOS MANUAL**

Una vez realizado, se abre una nueva ventana para crear una nueva tabla de particiones y se selecciona la opción “Particionado de forma automática”, para ahorrar tiempo y no tener que hacerlo manualmente.

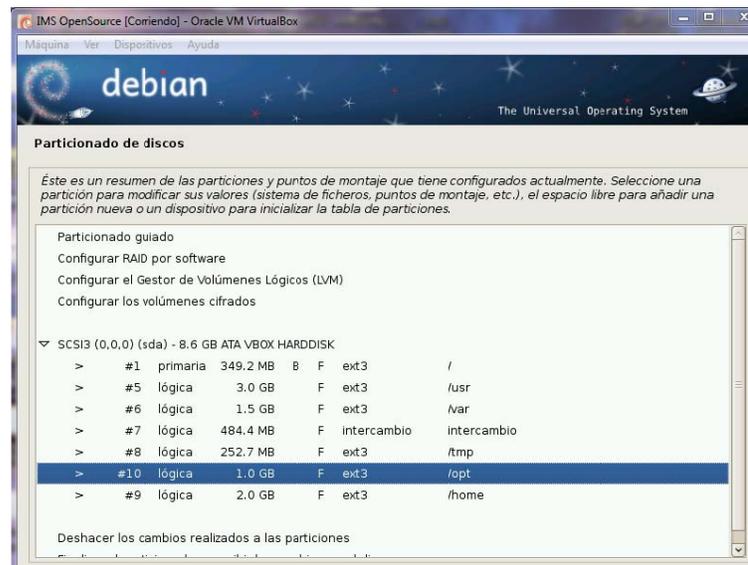
En el siguiente cuadro se selecciona la opción “Separar las particiones /home, /usr, /var, y /temp” lo que arroja como resultado la siguiente partición del disco:



**ILUSTRACIÓN 48: CONFIGURACIÓN DE LA PARTICIÓN**

Sin embargo, la carpeta de Debian a la cual se debe especificar un tamaño mayor que el que viene por defecto es “/opt”. Para esto, se borra la partición “/home” (haciendo doble click en la partición y después seleccionando Borrar Partición) en pos de asignarle un tamaño menor (2 GB) y permitirle a /opt tener 1GB para los archivos a instalar de IMS.

Así, la antigua partición de 3 GB para el fichero /home queda como espacio sin formatear, para crear las nuevas particiones (/home de tamaño menor y /opt), ambas particiones lógicas y al final del disco). La configuración final se muestra en la Ilustración 49.



**ILUSTRACIÓN 49: CONFIGURACIÓN FINAL DE LA PARTICIÓN**

Para finalizar, basta con hacer click en la opción “Finalizar particionado y escribir los cambios en el disco”.

### Configuración del gestor de paquetes

La opción es libre pero se recomienda no instalar nuevos paquetes salvo los que vienen en el primer DVD/CD, para la instalación de IMS se requieren algunos específicos que se descargan posteriormente. Por lo mismo, tampoco es necesario usar una réplica en la red.

Posteriormente, la instalación pasa a la etapa de instalar los programas, proceso que toma gran parte del tiempo total de instalación.

### Selección de Programas

Se recomienda instalar los programas estándar más el entorno de escritorio gráfico, pero para mayor seguridad se pueden instalar: Servidor DNS y Base de Datos MySQL.

#### 8.2.1.5 INSTALACIÓN DE IMS OPENSOURCE Y CONFIGURACIÓN DE CLIENTES

##### 8.2.1.5.1 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA BASE

El sistema presenta los siguientes requerimientos básicos para su instalación local en un único PC:

- Distribución de Linux con kernel 2.6 instalada y operativa

- 100 Mb aproximados de espacio en disco duro
- PC donde corre Linux es suficiente.
- Tarjeta de audio
- Micrófono
- Tarjeta de red y conexión a Internet

#### 8.2.1.5.2 INSTALACIÓN DE COMPONENTES

En primer lugar las librerías y/o programas requeridos para el funcionamiento del sistema son los siguientes:

- gcc
- ant
- libxml2
- libxml2-dev
- libcurl4 gnutls-dev
- mysql-server-5.0
- libmysqlclientoff
- libmysqlclient-dev
- ipsec-tools
- openssl
- bind9
- subversion
- bison
- flex
- wireshark
- java 1.5 o superior (JDK)

Los elementos señalados del punto 1 al punto 7 pueden ser instalados mediante el Gestor de Paquetes Synaptic, aplicación incluida en la distribución de Debian 6.0. Si Debian fue instalado utilizando imágenes de los discos disponibles en Internet, se requerirá introducir alguno de estos discos. Si la instalación fue del tipo “net-install”, las librerías serán descargadas de Internet.

Para instalar el elemento restante, Java Development Kit 1.5 (o superior), es necesario descargar en forma manual el archivo binario desde la página web correspondiente. Primero se debe verificar si ya se encuentra instalada esta versión, en caso contrario habrá que proceder con la descarga. Para ello se introduce el siguiente comando en el terminal (como usuario root):

➤ `java -version`

Aparecerá un mensaje indicando la versión instalada de java. Si la versión es menor a 1.5 se procede con la descarga de la versión adecuada desde la línea de comandos:

➤ `sudo apt-get install openjdk-6-jre`

Con este comando se instalará la versión libre de Java Development Kit 1.6.0

Posteriormente se debe editar el archivo **.bashrc** de la carpeta `/root/` agregando las siguientes líneas al final:

- export PATH=/opt/java-1.6.0-openjdk/bin/:\$PATH
- JAVA\_HOME="/opt/java-1.6.0-openjdk"
- export JAVA\_HOME

Al ejecutar el comando indicado en un principio se podrá verificar la nueva versión instalada.

#### 8.2.1.5.3 OBTENCIÓN DEL CÓDIGO FUENTE DE LOS CSCFS

Una vez que todo el software necesario para el funcionamiento del sistema ha sido instalado se procede a descargar el código fuente. Para obtener el código fuente actualizado de las implementaciones de los CFCs, denominado en conjunto “ser\_ims” se utiliza la aplicación “subversion”. Esta permite acceder a repositorios mantenidos bajo el proyecto BERLIOS, donde se almacenan las últimas versiones de todos los archivos del proyecto Open IMS Core. Subversion permite a la vez hacer modificaciones a archivos del proyecto y en general sirve para administrar las actualizaciones y cambios en un proyecto de software open source.

En el terminal se procede creando el directorio a utilizar por defecto:

- cd /opt/
- mkdir OpenIMSCore
- cd OpenIMSCore
- mkdir ser\_ims

Luego se obtienen los archivos asociados a la implementación de los CSCFs mediante el siguiente comando (recordar que se requiere conexión a Internet, el comando se ejecuta dentro del directorio /OpenIMSCore/):

- svn checkout http://svn.berlios.de/svnroot/repos/openimscore/ser\_ims/trunk ser\_ims

Comienza la descarga de archivos hacia el directorio /opt/OpenIMSCore/ser\_ims/. Una vez que la descarga finaliza se despliega un mensaje del tipo “Revision obtenida ZZZ” (donde ZZZ es el número de la revisión más actual).

En este trabajo de memoria se trabajó con la versión 1136.

#### 9.7.5 Obtención del código fuente del HSS

El proceso para la descarga del código fuente de la implementación del HSS (denominada FHoSS) es similar al anterior:

Se crea directorio a utilizar por defecto dentro de /opt/OpenIMSCore/:

- mkdir FHoSS

Se obtienen los archivos asociados al FHoSS (el comando se ejecuta dentro del directorio /OpenIMSCore/):

- svn checkout http://svn.berlios.de/svnroot/repos/openimscore/FHoSS/trunk FHoSS

Comienza la descarga de archivos hacia el directorio `/opt/OpenIMSCore/FHoSS/` y como para el caso de los CSCFs al finalizar la descarga se despliega el mensaje “Revision obtenida *ZZZ*” (donde *ZZZ* es el número de la revisión más actual).

En este trabajo de memoria se trabajó con la versión 1136.

#### 8.2.1.5.4 COMPILACIÓN DE SER\_IMS Y FHOSS

Para compilar los archivos que componen la implementación denominada `ser_ims` se ejecutan los siguientes comandos:

- `cd ser_ims`
- `make install-libs all`
- `cd ..`

Posteriormente se procede con el FHoSS. En este caso se utiliza la aplicación denominada “ant” que requiere de ciertos cambios en la configuración de Linux:

- Editar el archivo **profile** ubicado en la carpeta `/etc/` agregando las siguientes líneas al final:
  - `JAVA_HOME="/opt/java-1.6.0-openjdk/"`
  - `PATH=$PATH:$JAVA_HOME/bin`
  - `export PATH JAVA_HOME`
- Posteriormente editar el archivo **.bashrc** de la carpeta `/root/` agregando las mismas líneas.

Una vez que los cambios anteriores han sido efectuados ejecutar en el terminal los siguientes comandos para compilar el FHoSS:

- `cd FHoSS`
- `ant compile`
- `ant deploy`
- `cd ..`

Si se presenta algún error durante la compilación es posible que falte instalar alguna de las componentes señaladas al inicio de esta guía. En esta etapa de la instalación se tuvo que agregar las aplicaciones “bison” y “flex” debido a que había comandos asociados en la compilación que no podían ser ejecutados (de ahí a que aparezcan dentro de la lista de componentes requeridas). Además de la librería `libcurl14gnutls-dev` cuya ausencia impedía la compilación correcta. Hasta este punto se encuentran instaladas y compiladas todas las componentes del sistema local. Sin embargo, aún deben efectuarse ciertas configuraciones para que el sistema este listo para ser iniciado y puedan hacerse las pruebas de comunicación.

#### 8.2.1.5.5 COPIA DE ARCHIVOS Y CARGA DE BASE DE DATOS

Para facilitar la ejecución de las entidades se estima conveniente copiar ciertos archivos al directorio `OpenIMSCore`. Para ello se procede en el terminal como sigue:

- `cd /opt/OpenIMSCore/`
- `cp ser_ims/cfg/*.cfg .`

- cp ser\_ims/cfg/\*.xml .
- cp ser\_ims/cfg/\*.sh .

Los archivos .sh corresponden a scripts ejecutables que contienen los comandos para iniciar los módulos de SER (Sip Express Router). Para su correcta ejecución se deben editar los archivos **pcscf.sh**, **icscf.sh** y **scscf.sh** especificando en la línea donde se ejecuta el comando killser toda la ruta. Por ejemplo en pcscf.sh en vez de decir:

- killser pcscf

debe decir:

- /opt/OpenIMSCore/ser\_ims/cfg/killser pcscf

Para los otros archivos debe realizarse el mismo cambio manteniendo el nombre de la entidad. Por otra parte debe ser cargada la base de datos de MySQL con los archivos apropiados que trae el sistema. Para esto se ejecutan los siguientes comandos desde el directorio OpenIMSCore:

- cd /opt/OpenIMSCore/
- mysql -u root -p -h localhost < ser\_ims/cfg/icscf.sql
- mysql -u root -p -h localhost < FHoSS/scripts/hss\_db.sql
- mysql -u root -p -h localhost < FHoSS/scripts/userdata.sql

Una vez que se ejecuta la carga de la base de datos se pedirá el password asociado a MySQL. Este último debe ser dejado en blanco.

#### 8.2.1.5.6 CONFIGURACIÓN LOCAL

Se debe configurar los archivos de bind (DNS) acorde a los nombres de dominio que por default se utilizan para el sistema básico y local (open-ims.test con dirección de red 127.0.0.1 o "localhost"). Para ello basta con seguir las siguientes instrucciones:

Primero debe copiarse el archivo **open-ims.dnszone** hacia la carpeta que se utilizará para cargar la configuración de DNS requerida (en este caso se escoge /var/cache/bind/):

- cd /opt/OpenIMSCore/ser\_ims/cfg/
- cp open-ims.dnszone /var/cache/bind/

Luego se debe editar el archivo **named.conf** ubicado en el directorio /etc/bind/. El objetivo es incluir el dominio "open-ims.test" en el DNS proporcionado por bind. El archivo **openims.dnszone** especifica las direcciones IP y los nombres de cada entidad del sistema. Dado que esta instalación inicial es local todas las direcciones a las que se hace referencia son la de localhost (127.0.0.1). Entonces, al archivo named.conf se deberá agregar las siguientes líneas:

- zone "open-ims.test" IN {
- type master;
- file "/var/cache/bind/open-ims.dnszone";
- notify no;};

Para que estos cambios tengan efecto se debe reiniciar el servicio de DNS bind mediante el comando:

- `/etc/init.d/bind9 reload`

Finalmente para que se haga uso efectivo del servidor DNS bind y de la configuración presentada anteriormente, se debe establecer la dirección de DNS a utilizar por el equipo. Para ello se debe editar el archivo **resolv.conf** ubicado en la carpeta `/etc/`, dejando la única línea de la forma:

- `nameserver 127.0.0.1`

#### 8.2.1.5.7 INICIALIZAR EL PROVEEDOR DE SERVICIOS GENÉRICO LOCAL

Para iniciar el funcionamiento de los CSCFs (P-CSCF, I-CSCF, S-CSCF) y del FHoSS (HSS) primero deben estar corriendo la base de datos MySQL y el DNS (bind).

Para corroborar el estado de MySQL se prosigue con el comando:

- `/etc/init.d/mysql status`

Si MySQL no esta corriendo se le da inicio con el comando:

- `/etc/init.d/mysql start`

Para verificar que el DNS esta corriendo con la configuración correcta basta realizar un PING al dominio `open-ims.test`:

- `ping open-ims.test`

Si se recibe respuesta desde la IP `127.0.0.1` la configuración del DNS ha sido exitosa.

Para correr los CSCFs basta ejecutar los archivos `pcscf.sh`, `icscf.sh` y `scscf.sh` en diferentes terminales. Estos correrán en paralelo. Para ejecutarlos se abre un terminal primero y se ejecuta el P-CSCF:

- `cd /opt/OpenIMSCore/`
- `./pcscf.sh`

Luego se abre un segundo terminal y se ejecuta el I-CSCF:

- `cd /opt/OpenIMSCore/`
- `./icscf.sh`

Y así mismo con un tercer terminal para correr el S-CSCF:

- `cd /opt/OpenIMSCore/`
- `./scscf.sh`

Por último se abre un cuarto terminal donde se ejecuta el HSS con los siguientes comandos:

- `cd /opt/OpenIMSCore/FHoSS/deploy/`



- Se hace click en la versión de Linux
- Finalmente se descarga el archivo tar.gz desde <http://www.mymonster.org/download-monster-linux>
- Previo a su instalación final, se descargan los siguientes plug-ins:
  - gstreamer0.10-plugins-farsight
  - gstreamer0.10-plugins-bad
  - libgstreamer0.10-dev
- La instalación se realiza una vez descargado y descomprimido el archivo myMONSTER-TCS\_Linux32\_v0.9.25.tar.gz con el siguiente comando:

```
➤ tar xzf myMONSTER-TCS_Linux32_v0.9.25.tar.gz
```

Una vez que el programa cliente IMS se ejecuta se deberán configurar los siguientes parámetros:

- Display name: alice
- Public ID: sip:alice@open-ims.test
- Private ID: alice@open-ims.test
- Proxy IP: 127.0.0.1
- Port nº: 4060
- Realm: open-ims.test

En el caso del otro cliente de prueba, bob, se realiza la misma acción pero se ejecuta el programa cliente desde otro directorio y otro terminal en el mismo equipo con el fin de levantar dos clientes simultáneos. Una vez que ambos clientes están registrados es posible establecer la comunicación de voz o mensajería instantánea entre ellos comprobando que la instalación de todo el sistema ha sido exitosa.

#### 8.2.1.5.9 CAMBIO DE NOMBRE DE DOMINIO Y DIRECCIÓN DE RED DE IMS OPENSOURCE

Hasta este punto se ha logrado implementar un sistema que funciona exclusivamente de forma local. Sin embargo el objetivo es levantar un sistema al cual pueda accederse desde otros equipos. Para ello basta cambiar la dirección IP donde corren todos los procesos asociados a las cuatro entidades IMS y mientras esa IP sea alcanzable por otros equipos, el sistema quedará disponible para cualquier cliente SIP corriendo en ellos.

Así mismo, el nombre de dominio por defecto (open-ims.test) también puede ser modificado con el fin de otorgarle una nueva identificación. Lo anterior posibilita el análisis y estudio de escenarios en que haya más de un Proveedor Genérico con arquitectura IMS.

Para concretar estos cambios se debe utilizar el script denominado **configurator.sh**. Este archivo se encuentra ubicado en la carpeta /opt/OpenIMSCore/ser\_ims/cfg/ y permite cambiar el dominio y la IP utilizada en los archivos de configuración del sistema (cfg, xml, sql entre otros).

El script viene configurado para cambiar el nombre open-ims.test y la IP 127.0.0.1 por un nombre de dominio y una nueva dirección IP que se ingresan al ejecutarlo sobre cada archivo.

Los archivos que deben ser alterados, ya sea para cambiar cualquiera de los dos parámetros son los siguientes:

- /opt/OpenIMSCore/ser\_ims/cfg/icscf.cfg
- /opt/OpenIMSCore/ser\_ims/cfg/icscf.thig.cfg
- /opt/OpenIMSCore/ser\_ims/cfg/pcscf.cfg
- /opt/OpenIMSCore/ser\_ims/cfg/scscf.cfg

- /opt/OpenIMSCore/ser\_ims/cfg/icscf.xml
- /opt/OpenIMSCore/ser\_ims/cfg/scscf.xml
- /opt/OpenIMSCore/ser\_ims/cfg/icscf.sql
- /opt/OpenIMSCore/FHoSS/scripts/userdata.sql
- /opt/OpenIMSCore/FHoSS/scripts/hss\_db.sql
- /opt/OpenIMSCore/FHoSS/deploy/hss.properties
- /opt/OpenIMSCore/FHoSS/deploy/DiameterPeerHSS.xml

Para utilizar el script **configurator.sh** basta con ejecutarlo sobre los archivos con la siguiente sintaxis (ubicándose dentro del directorio /opt/OpenIMSCore/):

➤ ser\_ims/cfg/configurator.sh ser\_ims/cfg/icscf.cfg

Al ejecutar la instrucción anterior se preguntará por pantalla el nombre del dominio y la dirección IP nuevos. Si se desea mantener alguno de estos parámetros basta con escribirlo de igual forma.

El script deberá ser aplicado sobre todos los archivos mencionados anteriormente, indicando el directorio donde se encuentre.

**Al cambiar la dirección IP o el nombre de dominio del sistema, se deberá editar los archivos de configuración de DNS acorde a dicha alteración.**

#### 8.2.1.5.10 CONFIGURACIÓN DE UN CLIENTE SIP

Una vez modificada la configuración de red de IMS OpenSource, es posible acceder a este desde otras máquinas e incluso desde Windows. Por este motivo, y de cara al correcto desempeño de las pruebas de concepto, además de poseer mejores prestaciones, se decide la instalación y configuración del cliente IMS “Mercurio IMS Client” [41] en su versión Bronze desarrollado por Inexbee.

En esta sección se muestran los parámetros que deberán ser configurados en el programa cliente IMS Mercurio para poder conectarse al sistema. La siguiente ilustración muestra la configuración de una cuenta SIP:



ILUSTRACIÓN 51: CONFIGURACIÓN DEL CLIENTE ALICE EN MERCURO

Además, se debe configurar las condiciones de la red, especificando la dirección IP y el puerto del servidor P-CSCF.

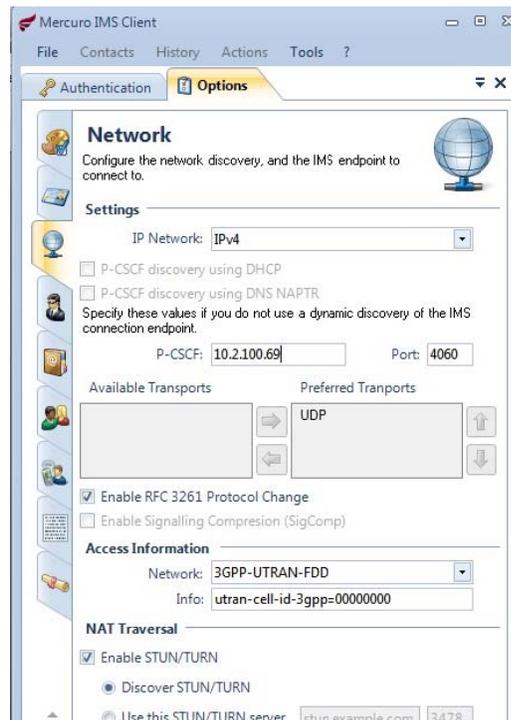


ILUSTRACIÓN 52: CONFIGURACIÓN DE RED EN MERCURO

#### 8.2.1.5.11 INTERFAZ DE ADMINISTRACIÓN VÍA WEB DEL HSS

El HSS implementado en el proyecto Open IMS Core considera una interfaz web de administración del HSS. A través de esta interfaz se pueden crear, editar o eliminar cuentas SIP, activar la función de Roaming al agregar redes Visitadas al perfil, configurar Servidores de Aplicación una vez que se tienen levantados los servicios de usuario final, entre otros. Para acceder a la interfaz web se utiliza la URL <http://hss.open-ims2.test:8080>. Dependiendo de cómo sea el nombre del dominio del sistema, variará dicha dirección. Una vez que se accede se deberá ingresar **user**: “hss” y **pass**: “hssAdmin”.

## 8.2.2 B-2. GUÍA DE INSTALACIÓN DE ASTERISK ELASTIX EN UNA MÁQUINA VIRTUAL [36]

La instalación de Elastix en este trabajo fue llevada a cabo en una máquina virtual pues no se requieren grandes prestaciones de capacidad de usuarios ni manejo de llamadas masivo. La instalación y configuración de una máquina virtual se puede revisar a fondo en la guía de instalación de IMS. Para su instalación, se requiere que la máquina tenga las siguientes capacidades:

- 800 Mhz Pentium III PC o mejor
- 312MB RAM como mínimo
- 8GB mínimo de espacio en disco duro (dependiente del uso de servicios como grabación de voz)
- Tarjeta de Red 10/100 (NIC)
- Lector de CD-ROM
- Hub/Switch de 4-8 puertos Ethernet 10/100 (Esto es dependiendo de la cantidad de extensiones que se está planificando tener).

Para el establecimiento de llamadas sólo entre dos clientes (en este caso, anexos) basta con configurar la máquina virtual con las mínimas prestaciones, es decir, con las siguientes características:

- Nombre: PBX IP Elastix
- S.O. Linux CentOS
- Memoria RAM 312 MB
- Disco Duro Virtual de 8 GB con espacio de tamaño fijo
- Formato de archivo de máquina virtual: .vdi

Una vez creada la máquina virtual se procede a descargar la imagen de la versión Elastix desde su página web [37]. En este trabajo se usó la versión de 32 bits Elastix 2.2.0 del 1 de Noviembre de 2011, cuyo tamaño es de 720 MB.

Las configuraciones de los dispositivos de la máquina virtual creada deben tener las mismas características que la de IMS OpenSource:

- Tarjeta de red Puente a la interfaz de red usada para conectarse a las redes
- El lector de CD deberá poseer la imagen descargada para su instalación

Al iniciar la máquina virtual saldrá una pantalla similar a esta:

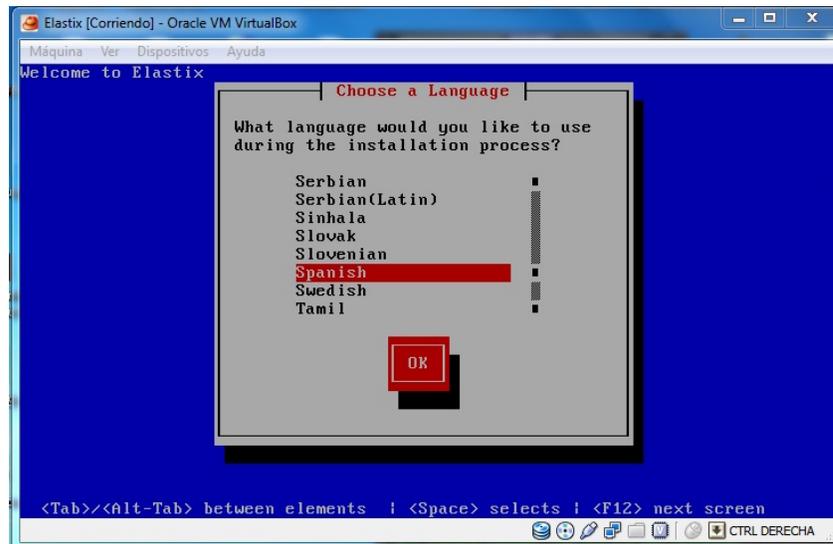


ILUSTRACIÓN 53: INICIO DE LA INSTALACIÓN DE ASTERISK ELASTIX EN UNA VM

La configuración para su instalación fue la siguiente:

- Configuración de particiones predeterminada
- Interfaz de red eth0
  - Activar al inicio
  - Activar soporte IPv4 e IPv6
  - Configuración de IP dinámica o manual según su red, en este caso dinámica
- Reloj: América/Santiago
- Contraseña de Root: elastix

Como consideración a tener en cuenta durante la instalación, VirtualBox no tiene soporte para el mouse en una máquina virtual con sistema operativo CentOS. Por esto, cada vez que se deba realizar alguna selección, no se podrá volver al sistema operativo nativo con el mouse. Para esto, se deberá presionar la tecla CTRL derecha del teclado.

Los movimientos dentro de la instalación de Elastix se realizan con las flechas de dirección y la selección con la barra espaciadora. Con la tecla Enter se procede a aceptar las configuraciones ingresadas.

Una vez entregada y confirmada la contraseña de root, el sistema comienza a generar las dependencias y a gestionar los paquetes por defecto para Elastix. Este proceso toma la mayoría del tiempo de instalación.

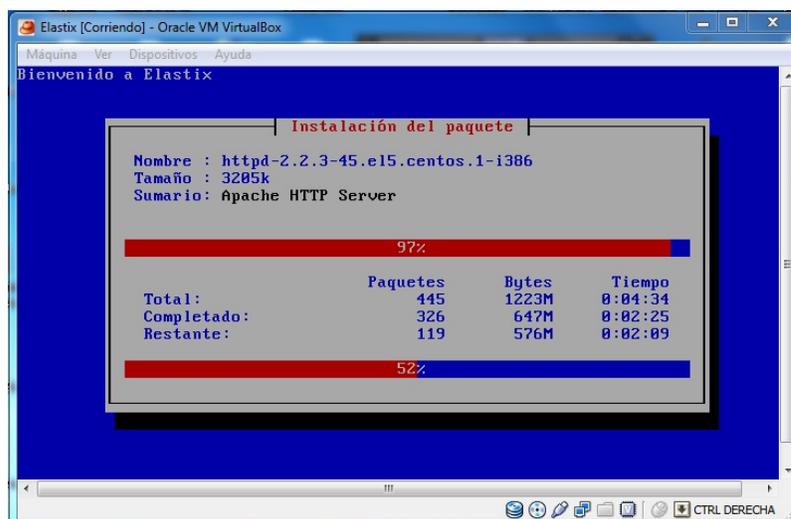


ILUSTRACIÓN 54: CONFIGURANDO LOS PAQUETES DE LA INSTALACIÓN DE ELASTIX

Una vez finalizado este proceso, se solicita una contraseña de MySQL. En este caso se repitió *elastix*. Para el administrador (*admin*), se reitera la contraseña anterior.

Así, se finaliza la instalación de Elastix, tan sólo restando la configuración de los anexos, lo cual es realizado desde una interfaz web externa al sistema, a través de la IP asignada a Elastix.

En caso de que Elastix no haya tomado IP desde el DHCP se puede cambiar la configuración de la interfaz de red ingresando desde la consola del sistema con el usuario *root* y con el siguiente comando:

- setup

Las ilustraciones siguientes muestran el menú para lograr el cambio de configuración.



ILUSTRACIÓN 55: CONFIGURACIÓN DE RED DE ELASTIX

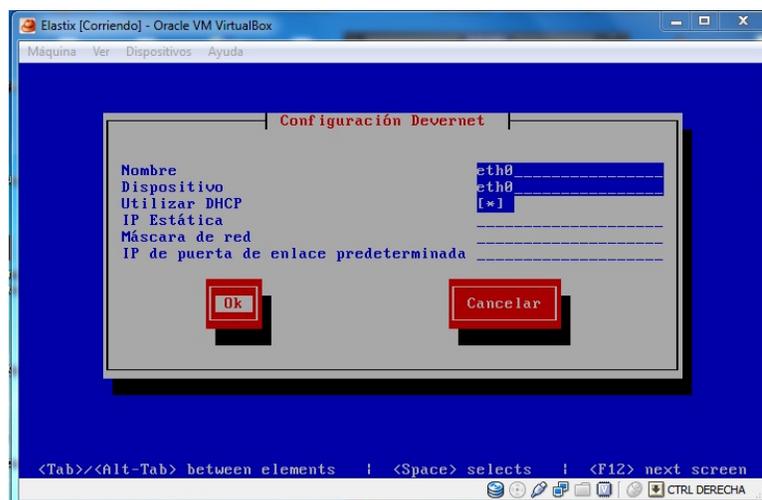


ILUSTRACIÓN 56: CONFIGURACIÓN DE LA INTERFAZ DE RED

Cuando se reingresa con la sesión de root, Elastix indica la dirección IP en que se encuentra operando.

#### 8.2.2.1 CONFIGURACIÓN DE LOS ANEXOS DESDE LA INTERFAZ WEB

Desde una máquina en la misma red del servidor Elastix, ingresar la dirección IP de elastix desde un navegador de internet. Hecho esto, aparece el cuadro de bienvenida del sistema Elastix:



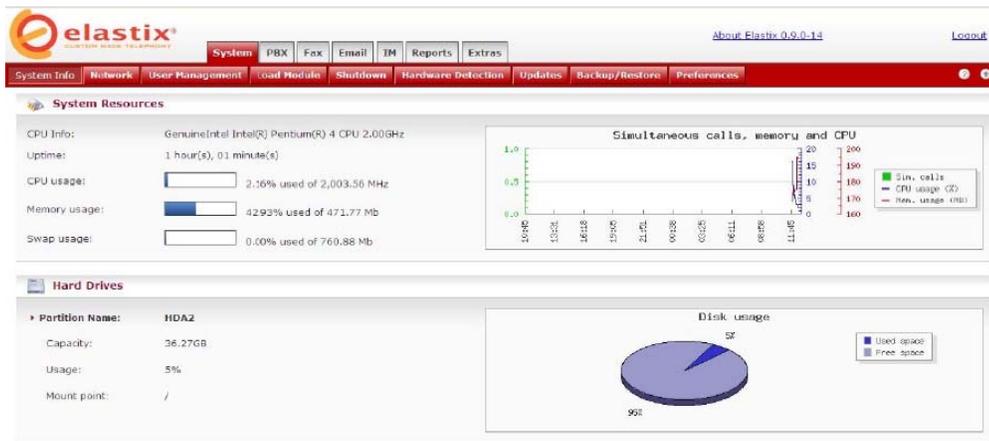
ILUSTRACIÓN 57: PANTALLA DE BIENVENIDA DE LA INTERFAZ WEB DE ELASTIX

En dicho diálogo se debe ingresar el usuario administrador según lo configurado en la etapa de instalación, con la contraseña indicada. En este caso serían:

- Username: admin
- Password: elastix

En caso de que no se ingrese, se puede ingresar como contraseña “palosanto” la cual es la que viene por defecto con el sistema cuando no se ingresa un usuario administrador en la instalación.

Cuando se ingresa al sistema desde la interfaz web (Ver ilustración siguiente), es posible registrar los nuevos anexos. Para esto, se selecciona la pestaña “PBX” y “PBX Configuration”.



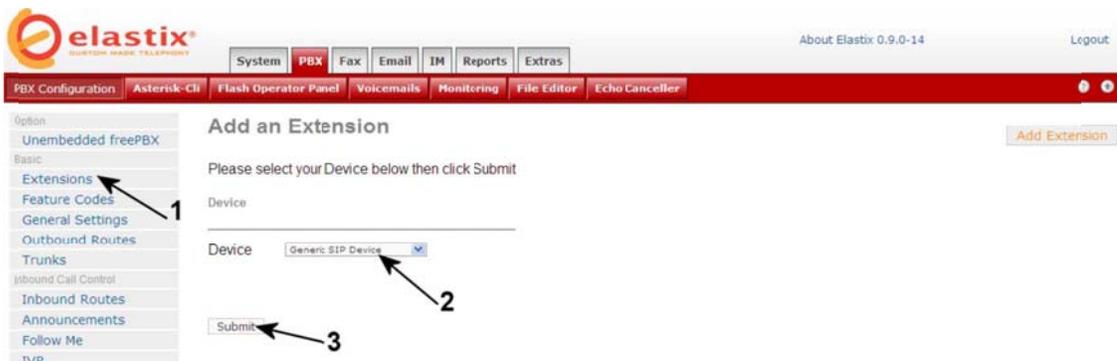
Elastix is licensed under GPL, by PaloSanto Solutions, 2006, 2007.

**ILUSTRACIÓN 58: INTERFAZ WEB DE ELASTIX**



**ILUSTRACIÓN 59: CREACIÓN DE UNA EXTENSIÓN EN ELASTIX**

A continuación, se debe acudir al menú del costado izquierdo y seleccionar “Extensions” (ver ilustración).



**ILUSTRACIÓN 60: CREACIÓN DE UNA EXTENSIÓN SIP**

A continuación, se ingresa en “Device” la opción “Generic SIP Device”. Por último, se hace click en “Submit”.

La siguiente configuración resume las necesidades para las configuraciones que se deben realizar en el anexo a configurar:

- Add extension
  - User Extension: 2600

- Display Name: Juan Perez
- Device Option:
  - Secret: 2600

El resto de las configuraciones pueden dejarse por defecto, se finaliza clickeando en “Submit”. Para que el sistema tome este cambio se debe presionar en “Apply Configuration Changes Here”, como se muestra en la ilustración.



ILUSTRACIÓN 61: APLICAR CAMBIOS

De esta manera se crea una segunda extensión, ambas necesarias para inicializar las llamadas consideradas en las pruebas de concepto.

### 8.2.3 B-3. GUÍA DE CONFIGURACIÓN DE VLC MEDIA PLAYER PARA VIDEOSTREAMING

El uso de VLC Media Player en este trabajo de título consiste en la emisión de video en una red IP de manera Multicast. Para esto, se usa VLC tanto como servidor y como cliente, pero en máquinas diferentes, alcanzables de manera IP (es decir, comprobable vía PING).

#### 8.2.3.1 CONFIGURACIÓN DEL SERVIDOR MULTICAST VÍA RTP Y TRANSCODIFICACIÓN

Se ejecuta el programa VLC Media Player y se acceden a los siguientes menús:

- Pestaña “Media”
  - Hacer click en “Stream”
  - Selección del video desde un archivo local con el botón “add”
  - Hacer click en “Stream”

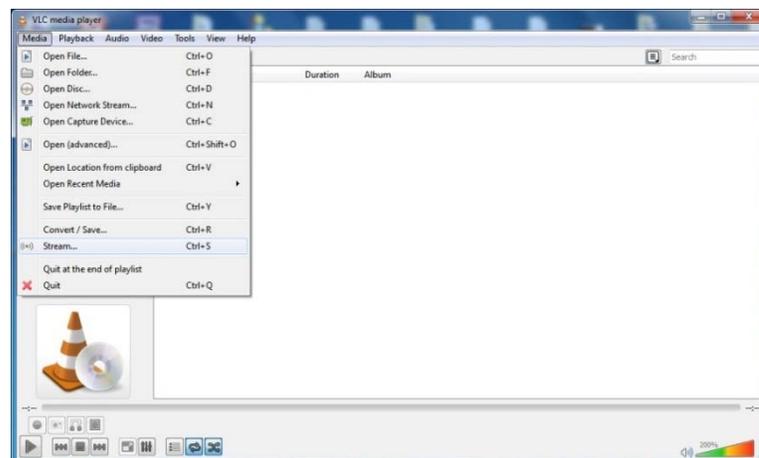


ILUSTRACIÓN 62: CONFIGURACIÓN DE VLC PARA REALIZAR STREAMING

Una vez realizado esto, aparece el cuadro de diálogo de la opción “Stream”, como se muestra en la siguiente figura:

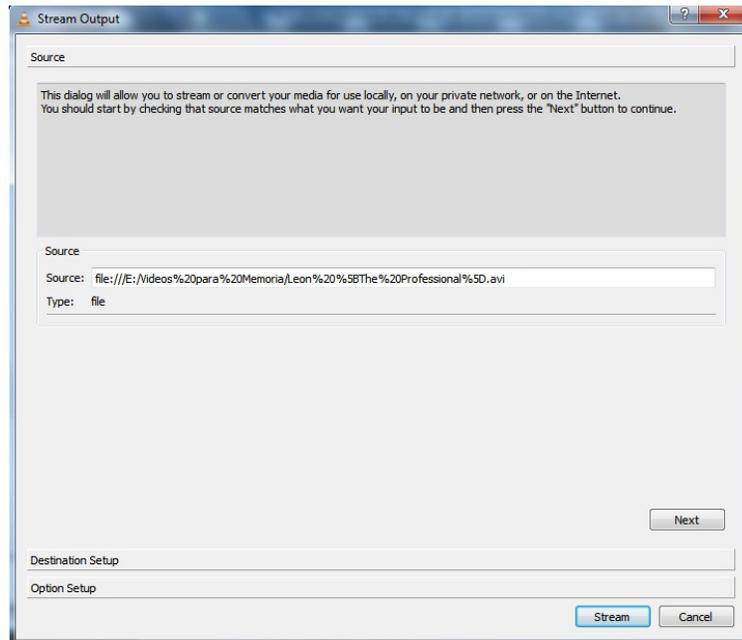


ILUSTRACIÓN 63: CUADRO DE CONFIGURACIÓN DE STREAMING EN VLC

Se debe hacer click en “next” y ejecutar las siguientes configuraciones:

- Destination Setup:
  - RTP/MPEG Transport Stream
  - Hacer click en “add”
  - Indicar:
    - IP Multicast: 224.1.1.1
    - Puerto Base: 5004
- Transcoding options:
  - Seleccionar el perfil: Video-MPEG-2+MPGA (TS)
- Hacer click en “next”
- Options Setup:
  - Stream all elementary streams
  - TTL=4

Para finalizar, basta hacer click en “Stream”. En la siguiente ilustración se observa el comportamiento de una emisión en curso:

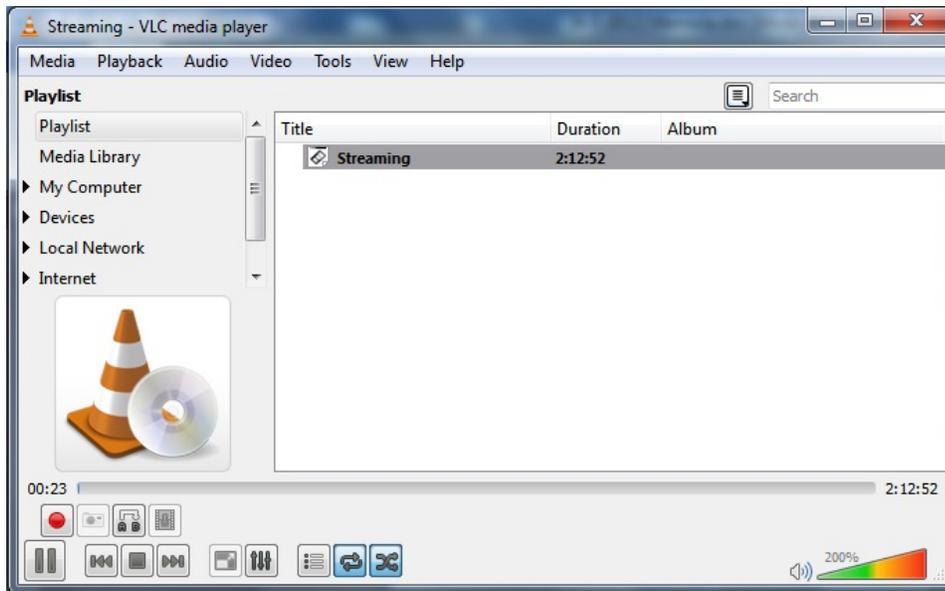


ILUSTRACIÓN 64: EMISIÓN EN CURSO CON VLC MEDIA PLAYER

Alternativamente, se puede ver el video emitido de manera local, para esto en la opción de destino se selecciona “Display locally”.

La ventaja de la opción Multicast por sobre la emisión de video a una IP única (Unicast) resulta en la habilitación para ver el video desde cualquier máquina en la red.

#### 8.2.3.2 CONFIGURACIÓN DEL CLIENTE

Para ver el video desde una máquina, se debe abrir VLC Media Player y en la sección “Media” seleccionar “Open Network Stream”. A continuación, se ejecuta el siguiente comando:

➤ `rtp://@224.1.1.1:5004`

Se ejecuta “Play” y se comienza a visualizar el video, como se ilustra a continuación:



ILUSTRACIÓN 65: CAPTURA DE LA EMISIÓN EN CURSO DESDE UN CLIENTE

## 8.3 ANEXO C: GUÍA PARA LAS PRUEBAS DE CONCEPTO

### 8.3.1 C-1. CONDICIONES DE MEDICIÓN

#### 8.3.1.1 CONDICIÓN ÓPTIMA

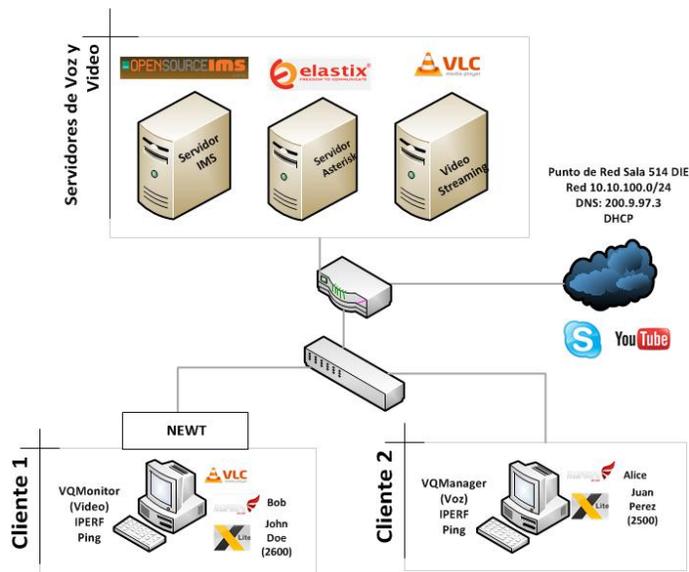
Se traduce en no adicionar tráfico *background* a la red, salvo la solicitud del servicio específico que se quiera usar más los *sniffers*/sondas de medición. Asegurándose que ninguna aplicación esté solicitando acceso a internet. Se realiza sólo una comunicación de voz (VoIP), y sólo un cliente accederá al servicio de *videostreaming*, Según la prueba.

#### 8.3.1.2 CONDICIÓN CONGESTIONADA

Consta de la elección de un nivel de congestión. Para esto, se fijan: nivel de pérdidas, latencia, throughput y jitter vía Network Emulator for Windows Tool (NEWT) variando una de ellas a la vez (desde cliente 1). Se toman las mediciones una vez realizada la variación de cada parámetro. De la tabla, los valores marcados en **negrita** corresponden a la condición óptima. Se especifican las condiciones de ancho de banda separadas para los servicios de VoIP y *VideoStreaming* puesto que ambos requerimientos son dispares. Por un lado, VoIP depende del *codec* usado (por ejemplo, *G.711 uLaw* tiene una tasa de 60 kbps aproximadamente) y en el caso de *videostreaming* depende del *codec*, calidad del archivo de video original (SD, HD, 3D, etc) y del formato de encapsulamiento (AVI). Los casos reflejados en la Tabla 15 son los usados por las pruebas de concepto, y estos son:

- Para VoIP:
  - *Codec* G.711 A Law
    - Tasa de transmisión de datos: 50-50 kbps
- Para *videostreaming*:
  - *Codec* de video: MPEG-2
  - *Codec* de audio: MPEG (TS)
  - Calidad de video: Standard (SD)
  - Cuadros por segundo: 24 fps
  - Encapsulamiento: AVI
    - Tasa de transmisión: 800-900 kbps

En la siguiente Ilustración se indica una recomendación para la puesta en marcha de las pruebas de congestión en una red LAN, especificándose el uso de NEWT en el cliente 1.



**ILUSTRACIÓN 66: RESUMEN DE HERRAMIENTAS Y SERVIDORES**

### 8.3.1.3 INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE NETWORK EMULATOR FOR WINDOWS TOOLKIT (NEWT) [25]

Una vez descargado la instalación es bastante simple. Tan sólo se debe especificar si se hará uso desde la sesión del usuario actual solamente, o el programa debe estar visible para todos los usuarios del S.O.

El programa NEWT requiere permisos de Administrador para su correcto desempeño, por lo tanto cada vez que se utilice pedirá dicho permiso.

El uso de este programa es bastante sencillo y se puede dividir en 3 etapas:

- Identificación de la interfaz de red
- Agregación de un filtro
- Agregación de un enlace

Estas etapas parten con la creación de un Canal Virtual el cual guardará la configuración de cada una de estas etapas.

El primer paso consiste en la elección de la interfaz de red. Aquí se distinguen las interfaces conectadas a la máquina vía dirección MAC. Para reconocer la dirección MAC de la interfaz a utilizar se debe ejecutar el siguiente comando en la consola de Windows (CMD):

- ipconfig /all

Una vez ejecutado, se mostrarán en la consola todas las interfaces y túneles habilitados. Se debe buscar la interfaz a controlar (LAN o Wireless LAN) y en la sección “*Dirección Física*” se encontrará la dirección MAC.

Con la interfaz ya reconocida, se procede al segundo paso: agregación de un filtro (*new filter*). En la pestaña “*Configuration*” se especifica la acción “*New Filter*”, según lo mostrado en la siguiente ilustración:

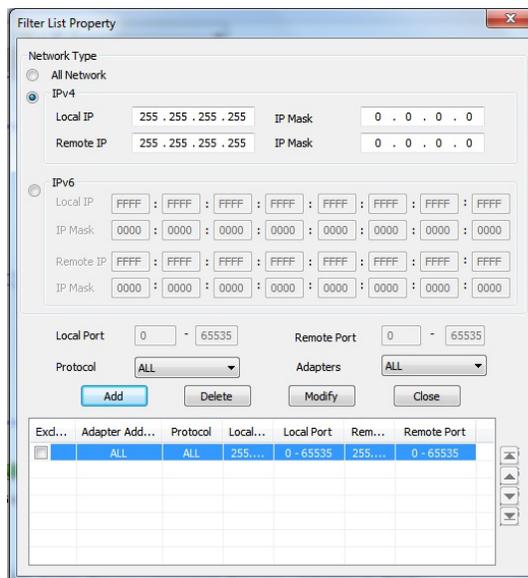


ILUSTRACIÓN 67: CONFIGURACIÓN DE UN FILTRO EN NEWT

Por motivos de seguridad, sólo se muestra esta información. Sin embargo, se puede escoger protocolo a ser controlado (TCP, UDP, ICMP); puerto específico (0-65535); tipo de red (IPv4, IPv6) junto con las direcciones específicas y, por último, la interfaz de red en la sección *Adapters*.

Para el uso en este trabajo se utilizó:

- Network Type: IPv4
  - IP local y remota 255.255.255.255 con máscara 0.0.0.0
- Puertos:
  - Tanto local como remoto: todos
- Protocolo: Todos
- Adaptadores: la dirección física del puerto LAN

Para finalizar basta con presionar “Add” y “Close”.

Una vez hecho esto, se genera la siguiente ilustración en la interfaz gráfica del programa:

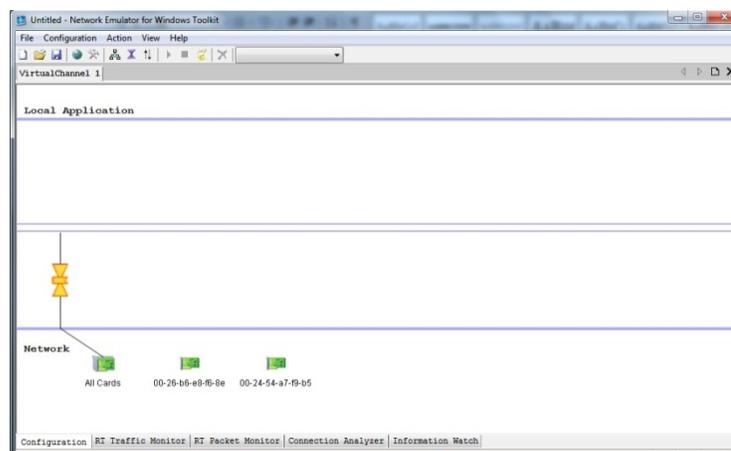


ILUSTRACIÓN 68: INTERFAZ DE USUARIO DE NEWT

El paso 3 consiste en la adición de un nuevo enlace. Para esto, se debe presionar “*New link*” en la pestaña “*Configuration*”. Al hacer esto, la interfaz gráfica del usuario queda como sigue:

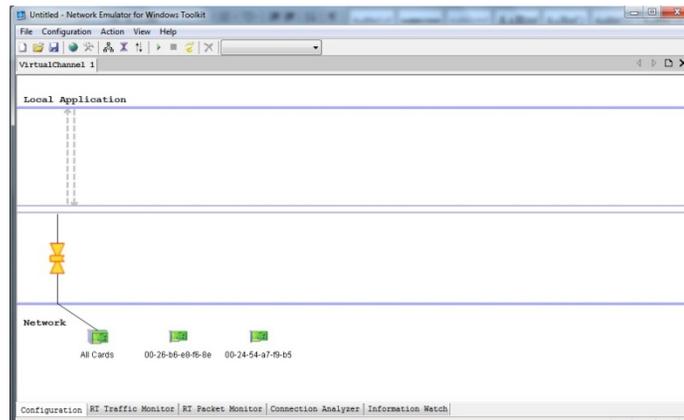


ILUSTRACIÓN 69: CONFIGURACIÓN FINAL DE NEWT

Para finalizar, se debe configurar las condiciones de congestión que se quieran simular. Se realiza *click* derecho sobre el enlace agregado y se seleccionan:

- *UpStream*
- *DownStream*

Es decir, se deben configurar las reglas para los enlaces de subida y bajada por separado. Esta será seleccionada de acuerdo a la prueba específica. Por ejemplo, en el caso de *VideoStreaming* no es necesario establecer condiciones sobre el enlace de subida ya que para el tráfico de interés está en el de bajada. En caso de desconocimiento de cómo opera el servicio a congestionar, se pueden repetir las configuraciones para ambos enlaces. Los parámetros posibles de controlar son:

- Pérdidas
- Errores
- Latencia
- Ancho de banda y Manejo de Colas
- Agregación de tráfico
- Reordenamiento de Paquetes
- Escenarios de desconexión

Una vez configurados, se presiona la pestaña “*Action*” y luego “*Run*” o, alternativamente, se puede presionar el icono verde de “*play*”.

Como prueba, se realizó un cambio a las condiciones de ancho de banda. Se determinó un ancho de banda tanto de descarga como de subida de 500 kbps. El *cuello de botella* que esto produjo se pudo corroborar con programas para medir la velocidad de internet como el ofrecido por *VTR: SpeedTest*.



ILUSTRACIÓN 70: TEST DE VELOCIDAD

Comprobándose así que los límites impuestos de 500 kbps en ambas direcciones no fueron sobrepasados. Por razones de seguridad, se omite la dirección IP.

Cabe destacar que las condiciones de congestión aquí planteadas son únicamente una emulación de las condiciones de las redes para una prueba a nivel de aplicación para lograr la variación y correcta medición de parámetros de QoS de los servicios.

En caso de que se requiera una herramienta más sofisticada para el control de congestión de la red, y no únicamente del enlace del cliente, se pueden implementar:

- Traffic Control
- NetDisturb
- DummyNet

### 8.3.2 C-2. PRUEBA DE CONCEPTO 1: MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE QOS DE LA RED

#### 8.3.2.1 PARTE 1: MEDICIÓN DE JITTER, PÉRDIDA DE PAQUETES Y TASA DE TRANSMISIÓN DE DATOS

1. Se realiza sólo en Condición Óptima, esto con el fin de conocer los parámetros propios de la red.
2. Se deben conocer las IP's de los clientes.
3. Se ejecuta el software Jperf 2.0.2 en ambos.
4. Uno actúa como cliente para la prueba, y el otro como servidor
5. Se selecciona la prueba UDP en ambos
6. Se registran los valores promedios

#### Configuración del cliente

1. Server Adress: 10.10.100.101
2. Port: 5001
3. Parallel Streams: 1
4. Transport Layer Options
  - a. UDP
    - i. UDP Bandwidth: 200 Mbytes/sec

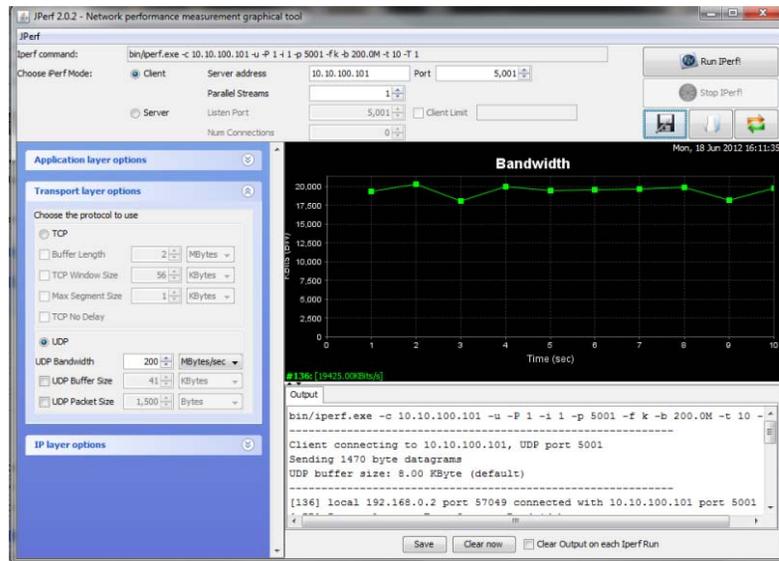


ILUSTRACIÓN 71: CONFIGURACIÓN DEL CLIENTE JPERF

### Configuración del servidor

1. Listen Port: 5001
2. Num Connections: 1
3. Transport Layer Options
  - a. UDP

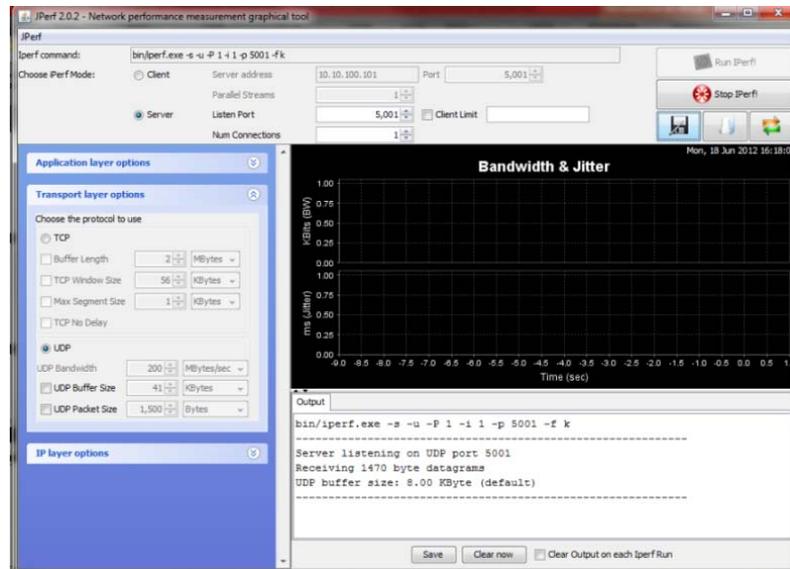


ILUSTRACIÓN 72: CONFIGURACIÓN DEL SERVIDOR JPERF

El servidor debe estar ya configurado y esperando las peticiones previo a la petición de conexión del cliente. En la Ilustración 73 se muestra un ejemplo de resultado entregado por JPerf.

```

-----
Server listening on UDP port 5001
Receiving 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 8.00 KByte (default)
-----
[904] local 10.1.1.1 port 5001 connected with 10.6.2.5 port 32781
[ ID] Interval  Transfer  Bandwidth  Jitter  Lost/Total Datagrams
[904] 0.0- 1.0 sec  1.17 MBytes  9.84 Mbits/sec  1.830 ms  0/ 837 (0%)
[904] 1.0- 2.0 sec  1.18 MBytes  9.94 Mbits/sec  1.846 ms  5/ 850 (0.59%)
[904] 2.0- 3.0 sec  1.19 MBytes  9.98 Mbits/sec  1.802 ms  2/ 851 (0.24%)
[904] 3.0- 4.0 sec  1.19 MBytes  10.0 Mbits/sec  1.830 ms  0/ 850 (0%)
[904] 4.0- 5.0 sec  1.19 MBytes  9.98 Mbits/sec  1.846 ms  1/ 850 (0.12%)
[904] 5.0- 6.0 sec  1.19 MBytes  10.0 Mbits/sec  1.806 ms  0/ 851 (0%)
[904] 6.0- 7.0 sec  1.06 MBytes  8.87 Mbits/sec  1.803 ms  1/ 755 (0.13%)
[904] 7.0- 8.0 sec  1.19 MBytes  10.0 Mbits/sec  1.831 ms  0/ 850 (0%)
[904] 8.0- 9.0 sec  1.19 MBytes  10.0 Mbits/sec  1.841 ms  0/ 850 (0%)
[904] 9.0-10.0 sec  1.19 MBytes  10.0 Mbits/sec  1.801 ms  0/ 851 (0%)
[904] 0.0-10.0 sec  11.8 MBytes  9.86 Mbits/sec  2.618 ms  9/ 8409 (0.11%)

```

ILUSTRACIÓN 73: MUESTRA DE RESULTADO DE JPERF

### 8.3.2.2 PARTE 2: MEDICIÓN DE LATENCIA

1. Para medir **Latencia**, basta con entrar a la línea de comando CMD en Windows
2. Enviar PING a la dirección del otro cliente y observar el RTT

➤ ping <Dirección IP del cliente vecino>

En la Ilustración 74 se muestra un ejemplo de resultados obtenidos.

```

C:\Users\nm>ping 70.70.2.7
Pinging 70.70.2.7 with 32 bytes of data:
Reply from 70.70.2.7: bytes=32 time=34ms TTL=128
Reply from 70.70.2.7: bytes=32 time=24ms TTL=128
Reply from 70.70.2.7: bytes=32 time=25ms TTL=128
Reply from 70.70.2.7: bytes=32 time=23ms TTL=128

Ping statistics for 70.70.2.7:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 23ms, Maximum = 34ms, Average = 26ms

```

ILUSTRACIÓN 74: EJEMPLO DE RESULTADO DE UN PING

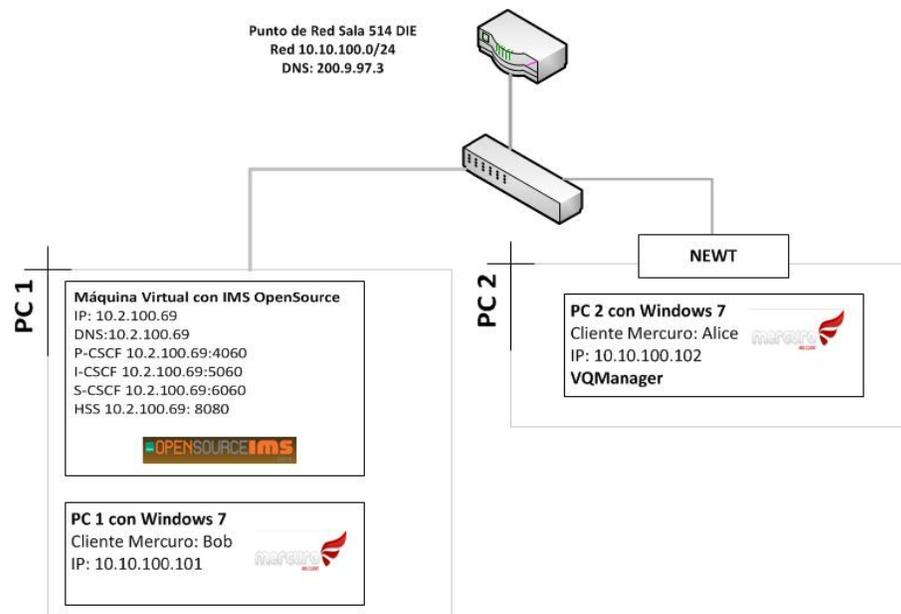
Observación: A través de este método no es posible conocer el retardo añadido por la aplicación.

## 8.3.3 C-3. PRUEBA DE CONCEPTO 2: MEDICIÓN DE MOS EN SERVICIOS VOIP

### 8.3.3.1 CASO 1: VOIP VÍA IMS OPENSOURCE

#### 8.3.3.1.1 MEDICIÓN EN LÍNEA: VQMANAGER

La configuración recomendada para esta prueba es la siguiente, en el caso de red LAN:



**ILUSTRACIÓN 75: CONFIGURACIÓN RECOMENDADA EN UNA RED LAN PARA LA PRUEBA DE CONCEPTO 2**

1. Se enciende IMS (P-I-S CSCF y FHoSS), desde la máquina virtual alojada dentro del cliente PC 1
2. Chequear que no exista tráfico en segundo plano (aplicaciones en clientes)
3. El cliente en el que se medirá debe tener SO Windows, con VQManager (PC 2)
4. Se realiza un registro al IMS vía softphone Mercurio (Alice y Bob en cada pc cliente por separado)
5. En el software VQManager, se selecciona la interfaz de la red en que se encuentra IMS (vía adaptador de red e IP) y se capturan todos los puertos
6. Previo a la petición de conversación SIP, se ejecuta el programa NEWT con las condiciones de red deseadas (óptimas o congestionadas)
7. Se realiza una llamada SIP: **Alice llama a Bob y se mantiene durante un minuto**
8. Se chequea en ambos terminales que la llamada esté operando
9. VQManager detectará la solicitud de llamada SIP y luego la conversación vía RTP y arrojará gráficos de **MOS, Jitter, Packet Loss, R Factor** además del **ancho de banda que usó la llamada**.

**Observación: Para que la llamada funcione debe existir Servicio Peer to Peer en la red**

### 8.3.3.2 CASO 2: VOIP VÍA ASTERISK

#### 8.3.3.2.1 MEDICIÓN EN LÍNEA: *VQMANAGER*

La Ilustración 76 muestra la configuración de red recomendada para esta prueba en el caso LAN.

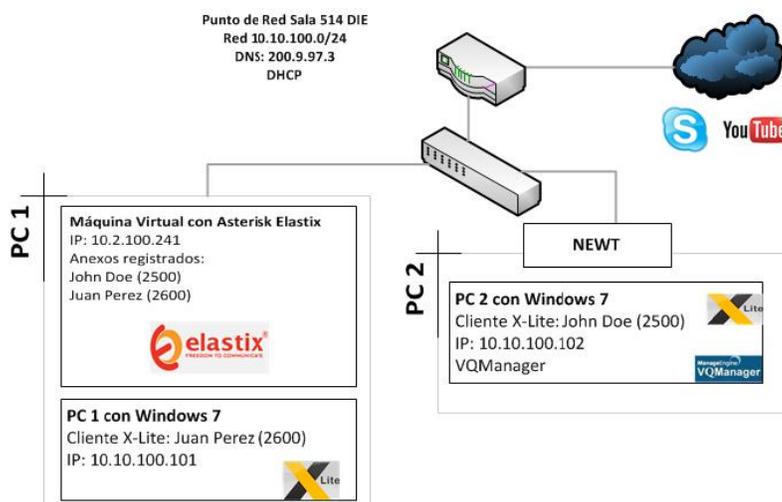


ILUSTRACIÓN 76: CONFIGURACIÓN DE RED LAN RECOMENDADA PARA EL CASO 2 DE LA PRUEBA DE CONCEPTO 2

1. Similar a la prueba de concepto anterior, pero se usa X-Lite como softphone y los anexos registrados son John Doe (2500) y Juan Pérez (2600)

### 8.3.3.3 CASO 3: VOIP VÍA SERVICIO OTT SKYPE

#### 8.3.3.3.1 ALTERNATIVA ÚNICA: ALGORITMO PESQ

Se muestra a continuación la configuración de red recomendada:

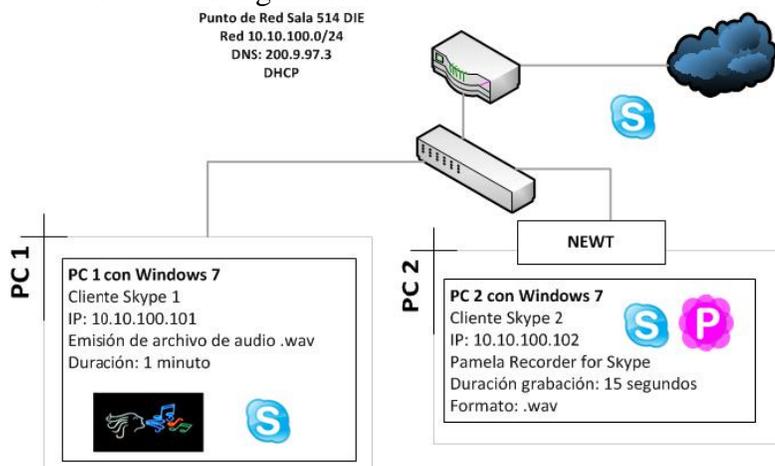


ILUSTRACIÓN 77: CONFIGURACIÓN RECOMENDADA PARA LA PRUEBA DE CONCEPTO 2, CASO 3

1. El Router debe estar conectado al punto de red (internet)
2. Los clientes deben estar configurados con las IP's del punto de red
3. Se comprueba la conexión de los clientes a internet vía ping a [www.google.com](http://www.google.com) (conexión internacional)
4. Se ejecuta el software **Skype** en ambos clientes con cuentas diferentes
5. Cliente emisor: Ejecutará un archivo de audio que enviará mediante Skype.
  - a. Archivo de audio .wav de 1 minuto
6. Cliente Receptor: Grabará la recepción del audio mediante **Pamela Recorder para Skype**
  - a. Configurar para grabar 1 minuto mediante **Call Scheduler**
    - i. Resultado: archivo de audio .wav de un minuto

7. Se comparan vía **PESQ** ambos audios:
  - a. En Matlab, ejecutar:
    8. Pesq(frec muestreo, 'archivo original.wav', 'archivo capturado.wav')

9. Se ejecutan las pruebas para cada uno de los valores de los parámetros de red

**Observación: Se recomienda esta metodología ya que Skype posee protocolos propietarios y no es posible realizar mediciones de MOS vía sniffers de red**

Ejemplo de configuración de agendamiento de grabación de llamada Skype:

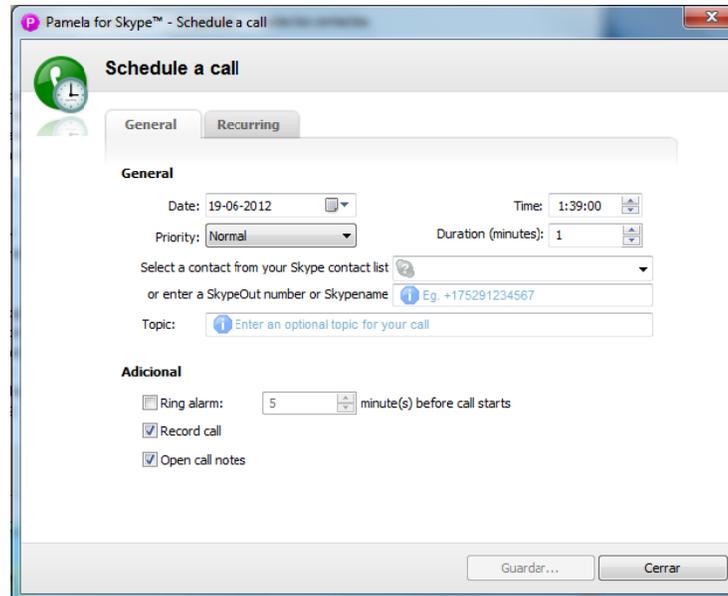


ILUSTRACIÓN 78: EJEMPLO DE GRABACIÓN DE LLAMADAS EN SKYPE

Resumen de Procedimiento:



ILUSTRACIÓN 79: PROCEDIMIENTO PESQ CON SKYPE EN PRUEBA DE CONCEPTO 2

### 8.3.4 C-4. PRUEBA DE CONCEPTO 3: MEDICIÓN DE MOS EN SERVICIOS DE VIDEO

#### 8.3.4.1 CASO 1: VIDEOSTREAMING MULTICAST VÍA VLC MEDIA PLAYER

### 8.3.4.1.1 MEDICIÓN EN LÍNEA CON *VIDEO QUALITY MONITOR*

En la Ilustración 80 se muestra la configuración de red recomendada en el caso de área local:

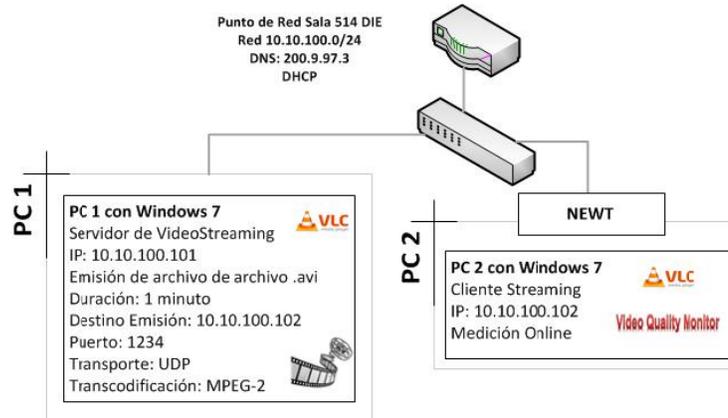


ILUSTRACIÓN 80: CONFIGURACIÓN DE RED RECOMENDADA PARA LA PRUEBA DE CONCEPTO 3, CASO 1

1. Se realiza la emisión desde PC 1 con las mismas configuraciones de las pruebas anteriores
2. Se captura la emisión desde el PC 2
3. A su vez y de manera online, se abre el software **Video Quality Monitor**
4. Se selecciona Online Measurement
  - a. Se seleccionan la fuente de audio y video: UDP
  - b. Se entrega la información del videostreaming:
    - i. IP Multicast: 10.10.100.255
    - ii. Port: 1234
    - iii. Interface IP: 10.10.100.102
    - iv. Server IP: 10.10.100.101
5. Previo a la captura del video se ejecuta NEWT para establecer las condiciones de red
6. Se captura desde la fuente de emisión de video
7. Una vez capturada la emisión, se presiona “**Measure Perceived Quality**”
8. El programa intercepta la emisión online y entrega los resultados en un servidor web.
  - a. **MOS (en base a percepción humana) en escala de 1 a 100**
  - b. Bitrate
  - c. Frame Quality
  - d. Blockiness
  - e. Blur
  - f. Jerkiness

### 8.3.4.2 CASO 2: SERVICIO OTT DE VIDEO YOUTUBE

#### 8.3.4.2.1 ALTERNATIVA ÚNICA: FUERA DE LÍNEA CON *VIDEO QUALITY MONITOR*

La ilustración siguiente indica la configuración de red LAN recomendada por la implementación de esta prueba de concepto.

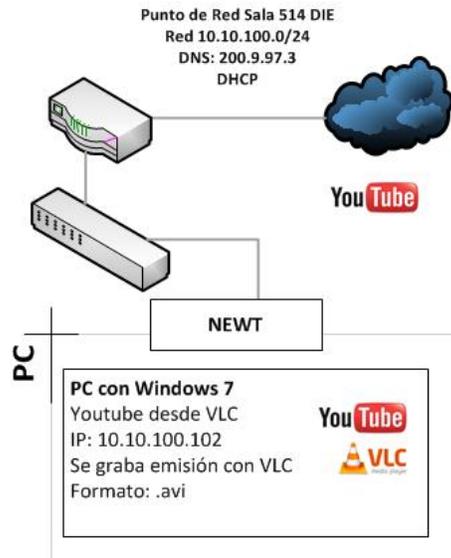


ILUSTRACIÓN 81: CONFIGURACIÓN RECOMENDADA PARA LA PRUEBA DE CONCEPTO 2, CASO 2

1. Se conecta el punto de red a **Internet**
2. Chequear que no exista tráfico en segundo plano (aplicaciones en clientes)
3. Previo a la captura del video desde *Youtube*, se deben establecer las condiciones de red vía NEWT
4. Se abre **VLC** y se ejecuta una petición http a **Youtube**:
  - a. Abrir volcado de red
  - b. Indicar la dirección del video
5. Seleccionar en el cliente VLC : Ver -> Controles Avanzados
  - a. Presionar el botón de grabación
  - b. Por defecto, VLC almacena el archivo de grabación en la carpeta /Documentos/Mis\_Videos
6. Se efectúa una prueba de MOS Offline con Video Quality Monitor:
  - a. Se entrega el archivo
  - b. Se selecciona la prueba No Reference (MPEG-2)
  - c. Se ejecuta el botón "Measure Perceived Quality"
  - d. Se revisa el servidor web al finalizar la prueba
7. **Se repite la captura y se almacena el archivo para cada conjunto de valores de red**



ILUSTRACIÓN 82: PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA DE CONCEPTO 2, CASO 2

### 8.3.5 C-5. PRUEBA DE CONCEPTO 4: MEDICIÓN DE VQM Y PSNR EN SERVICIOS DE VIDEO CON MSU VIDEO QUALITY MEASUREMENT TOOL

#### 8.3.5.1 CASO 1: VIDEOSTREAMING MULTICAST VÍA VLC MEDIA PLAYER

1. Se enciende EL PC Servidor de Videos y se abre el **VLC Player**
2. **Se chequea la existencia del video a emitir**
  - a. **Video .avi de duración 1 minuto**
3. Chequear que no exista tráfico en segundo plano (aplicaciones en clientes)
4. Tanto cliente como servidor deben ser PCs con VLC Media Player
5. Se comienza una emisión de video streaming vía VLC (**Ver anexos**) desde el PC Servidor de videos:
  - a. Paso 1: Medios -> Emitir
  - b. Paso 2: Selección del archivo
  - c. Paso 3: Destination setup
    - i. New Dest: UDP (Legacy)
    - ii. Address: 10.10.100.102 (dir. Cliente)
    - iii. Port: 1234
  - d. Paso 4: Activar Transcodificación
    - i. Video MPEG-2+MPGA (TS)
  - e. Paso 5: Se elige la opción reproducción de video en el servidor de manera local
  - f. Paso 5: Opciones de Emisión
    - i. Emitir todas las emisiones elementales
    - ii. TTL = 5
6. El cliente debe iniciar una reproducción de video en red desde **VLC**:
  - a. **Medios -> Abrir Volcado de red**
  - b. **udp://@10.10.100.102:1234**
7. Se graba tanto la reproducción del cliente como la del servidor con **Camstudio Recorder** durante el minuto de emisión
8. Con ambos archivos se ejecuta el software **MSU VQMT** y se realizan las pruebas
  - a. **PSNR**

b. VQM

9. Se repite la captura y se almacena el archivo para cada conjunto de valores de red

**Observación:** Se realiza la captura con Camstudio pues se debe capturar audio, lo cual no se puede lograr con la captura vía VLC



ILUSTRACIÓN 83: PROCEDIMIENTO PRUEBA DE CONCEPTO 4, CASO 1

### 8.3.5.2 CASO 2: SERVICIO OTT DE VIDEO YOUTUBE

Se sigue la misma configuración de red de la prueba de concepto 3, pero con el siguiente procedimiento:

1. Se conecta el punto de red a internet
2. Chequear que no exista tráfico en segundo plano (aplicaciones en clientes)
3. Se abre una página web en Youtube
4. Se abre el programa Camstacia Studio para la grabación de la pantalla en el cliente
5. Se abre la página web con el video de Youtube a capturar.
  - a. Alternativamente se puede abrir el video desde VLC, para evitar comerciales
6. Se cierra todo aviso comercial y comentarios del video visualizado
7. Se hace coincidir la ventana de grabación de Camstudio con el video de Youtube y se inicializa la grabación desde el segundo durante un minuto.
8. Se almacena el video en formato .avi
9. Se logra obtener una captura de video en Youtube en las mejores condiciones de red. Este será usado como punto de referencia para el algoritmo PSNR, el cual comparará dos videos y arrojará un nivel de “diferencias” entre ellos, en decibels. Dicho resultado se traduce en MOS haciendo uso de la tabla siguiente.
10. Se realizan las capturas del mismo video para el resto de las condiciones de red.

### 8.3.6 C-6. PRUEBA DE CONCEPTO 5: MEDICIONES DE QOS/QOE EN SERVICIOS VVOIP OTT EN RED LTE/IMS

Las pruebas de concepto recomendadas para los servicios OTT en la red LTE reiteran las recomendaciones entregadas en las cuatro pruebas de concepto anteriores (Ver caso de servicios

OTT, en las pruebas 2, 3 y 4) con la salvedad del cambio en la red. La configuración de red recomendada para estas pruebas en LTE son las mostradas en la Ilustración 84.

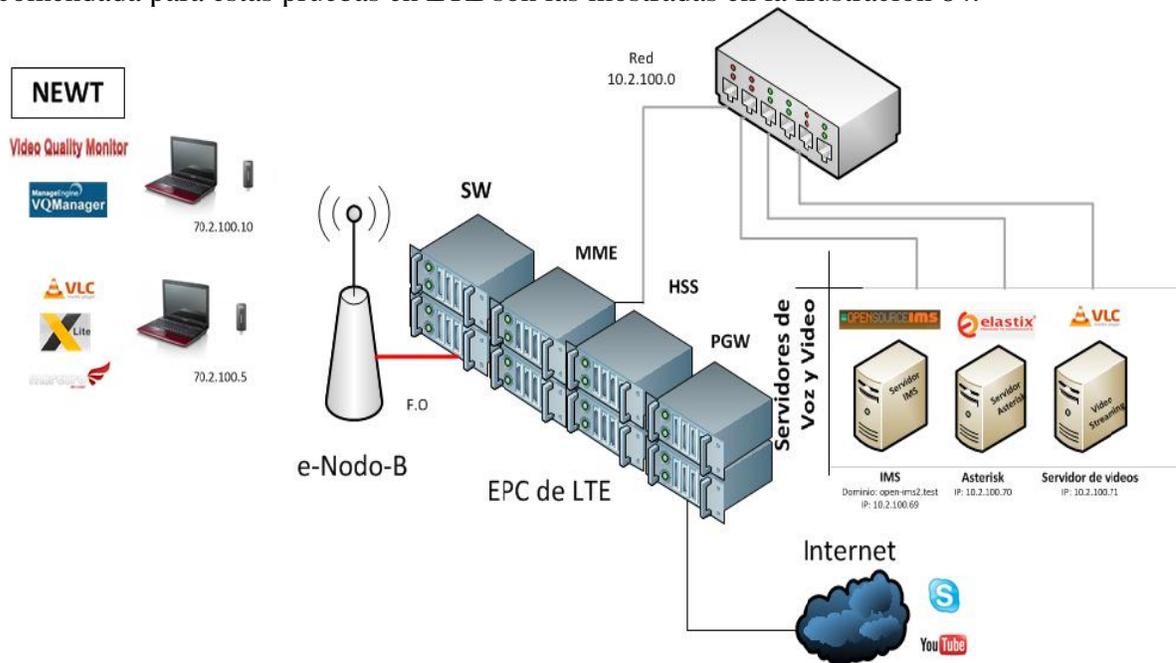


ILUSTRACIÓN 84: CONFIGURACIÓN DE RED RECOMENDADA PRUEBA DE CONCEPTO 5

Observación: Estas pruebas de concepto han sido implementadas correctamente dada la configuración de la red existente en el Laboratorio de Innovación Tecnológica ZTE-FCFM.

## 8.4 ANEXO D: CARACTERÍSTICAS DE LOS SERVICIOS SKYPE Y YOUTUBE

### 8.4.1 D-1. SERVICIO OTT DE VIDEO: *YOUTUBE* [21]

YouTube es un sitio web en el cual los usuarios pueden subir y compartir vídeos. Fue creado por tres antiguos empleados de PayPal en febrero de 2005.<sup>4</sup> En octubre de 2006 fue adquirido por Google Inc. a cambio de 1.650 millones de dólares, y ahora opera como una de sus filiales.

YouTube usa un reproductor en línea basado en Adobe Flash (aunque también puede ser un reproductor HTML, que incorporó YouTube poco después de que la W3C presentara y el que los Navegadores web más importantes soportaran el estándar HTML5) para servir su contenido. Es muy popular gracias a la posibilidad de alojar vídeos personales de manera sencilla. Aloja una variedad de clips de películas, programas de televisión y vídeos musicales. A pesar de las reglas de YouTube contra subir vídeos con derechos de autor, este material existe en abundancia, así como contenidos amateur como videoblogs. Los enlaces a vídeos de YouTube pueden ser también insertados en blogs y sitios electrónicos personales usando API o incrustando cierto código HTML.

YouTube mantiene una logística que permite localizar cualquier vídeo por medio de las etiquetas de metadato, títulos y descripciones que los usuarios asignan a sus vídeos, pero cuyo uso está

restringido únicamente a los vídeos alojados en YouTube. Sin embargo, a raíz de la compra de YouTube por parte de Google, Google Video empezó a agregar a sus búsquedas los contenidos de YouTube.

En junio de 2007 se dio un importante paso hacia la internacionalización del sitio, al traducir su interfaz a diversos idiomas, entre ellos el español.

#### 8.4.1.1 REPRODUCTOR

El diseño del reproductor es minimalista y ligera, basado en un color predeterminado: el gris claro, debido a que la empresa busca la comodidad en lo que respecta al tipo de banda de Internet. El primer reproductor de YouTube tenía un diseño curvado, simple, con las opciones resaltando como botones. A mediados de 2007, el segundo cambio a uno más limpio y moderno, con una estructura más recta y con las opciones separadas por espacios compartidos. Se agregó opciones como agregar anotaciones, pausar haciendo clic sobre la pantalla del reproductor, banners publicitarios similares a los que aparecen en TV, subtítulos originales y traducidos. A veces, se incluyen spots cortos antes del vídeo.

En 21 de enero de 2010 en las opciones del reproductor se agrega un menú desplegable para seleccionar la calidad de vídeo que se quiere visualizar y dos nuevos iconos para cambiar el tamaño del reproductor y para visualizar el vídeo a pantalla completa, respectivamente. Cuando hay subtítulos, aparece un icono que permite mostrarlos.

Últimamente, Youtube ha agregado la capacidad de ver algunos videos en 3D y resoluciones hasta Ultra alta definición.

Por otro lado, existe la posibilidad de ver subtítulos, que están en formato SubViewer (\*.SUB) y SubRip (\*.SRT).

#### 8.4.1.2 CALIDAD DE VIDEO

En Google Vídeo y otros sitios de vídeos hay quejas acerca de la calidad, siendo que los vídeos se pixelan (aparecen cuadros de color uniforme de mayor tamaño, en forma de mosaico), en gran medida debido al equilibrio entre calidad de imagen y velocidad de transmisión de datos en la red. Otro problema es que en bastantes clips, el audio y el vídeo no están sincronizados; aunque esto depende del formato del archivo original.

En general, todos los vídeos deben ocupar un espacio en disco no mayor a 2 GB y deben tener una duración menor o igual a 15 minutos, con una tolerancia extra de 59 segundos de grabación, es decir, una duración total de 15:59 segundos. La totalidad de los vídeos son convertidos a resoluciones de 320×240 y 480×360 píxeles, y a 30 fotogramas por segundo, aunque los vídeos alojados antes de marzo de 2008 sólo están disponibles en la resolución más baja. A pesar de que todos los vídeos se muestran predeterminadamente en la resolución menor, los usuarios pueden reproducirlos en calidad alta ajustando sus preferencias.

Desde finales del 2008 se pueden ver videos HD con calidad 720p y desde el 2009 con calidad 1080p, a las cuales se puede acceder eligiendo la calidad deseada en uno de los botones que

aparece en la esquina derecha inferior del video. Al igual que el formato de HQ (alta calidad), el formato HD (alta definición) solamente se visualizará si existe la versión.

El 25 de noviembre de 2008, YouTube cambió la relación de aspecto de su reproductor de vídeo, de 4:3 a 16:9, siguiendo el estándar de los televisores LCD y de plasma, y también en concordancia con las intenciones de la empresa de transmitir películas completas en el futuro. Este cambio de aspecto es para todos los vídeos, por lo que los que están en formato 4:3 se ven con franjas negras a los lados.

**TABLA 39: COMPARACIÓN DE LAS CALIDADES DE VIDEOS DE YOUTUBE**

| Comparación de las calidades de videos de YouTube |  |                               |         |         |          |                      |
|---|--|-------------------------------|---------|---------|----------|----------------------|
|   | Estándar   | Medio                         | Alta    | 720p    | 1080p    | Teléfono móvil       |
| "fmt" valor, contenedor                           | 34, flv  | 18, mp4                       | 35, flv | 22, mp4 | 37, mp4  | 17, 3gp              |
| Video   | Códec  | MPEG-4 AVC (H.264)            |         |         |          | MPEG-4 Part 2        |
|   | Relación de aspecto  | 4:3, 16:9                     | 4:3     | 16:9    |          | 11:9                 |
|   | Máximas resoluciones   | 320x240<br>400x226<br>640x360 | 480x360 | 854x480 | 1280x720 | 1920x1080<br>176x144 |
| Audio   | Todos los audios usan la codificación AAC con 2 canales en 44.1 kHz. |                               |         |         |          |                      |

Recientemente se añadieron las resoluciones 2k y 4k o Ultra alta definición (hasta 7,680 × 4,320 píxeles) cuya resolución es 16 veces superior a la Alta definición y 75 veces superior al sistema PAL. Resoluciones que fueron habilitadas para usuarios con ciertos requisitos.

#### 8.4.2 D-2. SERVICIO OTT DE VOZ: SKYPE [20]

Skype es un software que permite comunicaciones de texto, voz y vídeo sobre Internet (VoIP). Fue desarrollado en 2003 por el danés Janus Friis y el sueco Niklas Zennström, también creadores de Kazaa. El código y protocolo de Skype permanecen cerrados y propietarios, pero los usuarios interesados pueden descargar gratuitamente la aplicación ejecutable del sitio web oficial. Los usuarios de Skype pueden hablar entre ellos gratuitamente.

Tiene la finalidad de conectar a los usuarios vía texto (mensajería instantánea), voz (VoIP) o vídeo. Una de sus fortalezas es la comunicación gratuita por voz entre usuarios de Skype de cualquier punto del mundo. También realiza llamadas especiales, aunque pagadas a muy bajo coste, entre ordenador y red fija o móvil.

Se puede utilizar de las siguientes formas:

- Comunicación gratuita por texto, voz o vídeo entre dos usuarios de Skype con computadores personales conectados a Internet. Requiere registro y aceptación de las condiciones del servicio, sin coste.

- Comunicación grupal o conferencia de voz gratuita (videoconferencia grupal es de pago) entre varios usuarios de Skype, todos ellos con PC conectados a Internet. Requiere registro sin coste.
- Generación de llamadas de voz a bajo coste desde un usuario de Skype con PC conectado a Internet, hacia teléfonos de red fija o móvil. Requiere contrato de pago, mensual o anual.
- Comunicación y envío de datos a bajo coste (texto y gráficos) desde un usuario de Skype con PC conectado a Internet hacia equipos de fax (u ordenadores con software de fax) conectados a redes de telefonía fija. Requiere contrato de pago.
- Llamadas de voz a tarifa de llamada local desde teléfonos de red fija o móvil al número telefónico de un usuario abonado a Skype con PC conectado a Internet. Si el usuario receptor no está disponible, Skype ofrece un servicio de contestador automático. Requiere contrato de pago por parte del receptor. Las llamadas generadas desde teléfonos móviles pagan las tarifas locales del servicio celular.
- Comunicación y envío de datos a tarifa de llamada local desde equipos de fax conectados a redes de telefonía fija hacia un abonado de Skype con PC conectado a Internet. Requiere contrato de pago por parte del receptor.
- Comunicación por desvío telefónico y de texto a bajo coste desde teléfonos de red fija o celular hacia un abonado de Skype con PC conectado a Internet. Requiere contrato de pago por parte del receptor.

Skype al contar con los servicios de voz, data, fax, contestador automático, conferencia y videoconferencia, puede mantener comunicación sin coste y a bajo costo, entre usuarios de Skype, teléfonos móviles, teléfonos de red fija, fax, videoconferencias y obviamente texto, entre los usuarios en ambas direcciones comunicacionales.

También, Skype permite el desvío de llamadas y mensajes de texto, lo cual significa que los usuarios del sistema con número telefónico Skype asignado, pueden recibir las llamadas o mensajes directamente a su ordenador o generar el desvío de estos a un teléfono móvil o de red fija, en el caso de llamadas.

#### 8.4.2.1 PROTOCOLO

Skype utiliza un protocolo propietario de telefonía VoIP. Parte de la tecnología usada por Skype pertenecen a Joltid Ltd. corporation. La gran diferencia entre este software y otros estándares de análoga funcionalidad, es que Skype opera en base al modelo P2P (originalmente usado en el software Kazaa en 2001) en vez del usual modelo Cliente-Servidor. Nótese que el modelo más popular, SIP, de VoIP también es P2P, pero su implementación generalmente requiere su registro en un servidor.

El éxito de Skype reside en la gran compresión de datos que realiza, sin afectar prácticamente a la calidad de la transmisión de voz, y en establecer una conexión con un clúster de servidores

(servidores redundantes) de Skype para iniciar la sesión de comunicación, durante la que se devuelve la lista de contactos. Cuando se ha iniciado la llamada, se establece una conexión directa con el dispositivo de la persona.

El programa ha sido desarrollado en lenguaje Pascal usando el entorno Delphi, más tarde fue portado a GNU/Linux y basándolo en las librerías Qt.

#### 8.4.2.1.1 SEGURIDAD

Skype utiliza el algoritmo AES de 256-bit para cifrar la voz, los archivos transferidos o el mensaje instantáneo. Para la versión pagada se utiliza el algoritmo RSA de 2048-bit para el acceso a voicemail y de 1536-bit durante la negociación para establecer la conexión. Para ello utilizan una clave asimétrica, que permite evitar ataques del tipo man-in-the-middle.