



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

DESARROLLO DE PLATAFORMA PARA MONITOREO DE SERVICIO DE
BANDA ANCHA MÓVIL

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA

ANDRÉS ALEJANDRO JULIO CASALS JAHNSEN

PROFESOR GUIA:
JORGE SANDOVAL ARENAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
NÉSTOR BECERRA YOMA
ALBERTO CASTRO ROJAS

SANTIAGO DE CHILE

OCTUBRE 2009

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA
POR: ANDRÉS CASALS JAHNSEN
FECHA: 06/10/2009
PROF. GUÍA: SR. JORGE SANDOVAL A.

DESARROLLO DE PLATAFORMA PARA MONITOREO DE SERVICIO DE BANDA ANCHA MÓVIL

Con el avance de la tecnología en las redes móviles, nuevos servicios han sido implementados por los operadores de telefonía móvil, entre ellos se encuentra la banda ancha móvil que permite utilizar, en un ambiente móvil, las distintas aplicaciones propias de Internet como navegación web, correo electrónico y streaming de video entre otras.

Al ser un servicio, es importante la percepción que el usuario tiene de éste, ya que una mala experiencia puede producir un cambio en la preferencia por un determinado proveedor. Es por esto que resulta fundamental poder medir la calidad de experiencia del usuario estableciendo criterios para determinar si la experiencia es buena, regular o mala. Esta medición puede ser de utilidad en áreas como planificación, optimización y marketing entre otras.

El propósito de este trabajo es monitorear el desempeño del servicio de banda ancha móvil bajo la perspectiva de la calidad de experiencia del usuario. El método de acceso considerado fue el que emplea módems USB. Para esto se desarrolló en base a herramientas de código abierto, una plataforma que permite realizar mediciones de la calidad de este servicio simulando la conducta de un usuario promedio. Diversas pruebas fueron implementadas en base a algunas de las aplicaciones que forman parte de este servicio, obteniendo valores referentes a factores como la tasa de transferencia, la latencia y la cobertura entre otros.

Estas pruebas se implementan en un programa que se ejecuta de manera automática en forma periódica simulando una sesión de datos, generando archivos de registro conteniendo los parámetros de la conexión y los distintos resultados.

Se confeccionó una base de datos para almacenar los valores obtenidos de las mediciones y una aplicación para procesarlos y desplegarlos de forma gráfica. En base a diversos criterios referentes a las aplicaciones medidas, se generaron indicadores de calidad de experiencia los cuales resumen los datos obtenidos y permitieron evaluar de forma general el desempeño del servicio de banda ancha móvil.

Finalmente se muestran los resultados obtenidos comparando el servicio entregado por los tres operadores de telefonía móvil señalando además algunos de los factores que influyen en la percepción del usuario del servicio. También se indican posibles desarrollos como continuación de este trabajo tanto en nuevas aplicaciones a considerar como mejoras en el proceso de medición.

Agradecimientos

Quisiera agradecer a Jorge Sandoval por darme la oportunidad de realizar este tema como trabajo de título además de toda la ayuda y consejos brindados para su realización.

También agradezco a todos aquellos que trabajan en Movistar que me ayudaron ya sea de forma directa o indirecta permitiéndome aprender varias cosas acerca de una empresa de telecomunicaciones incluso aquellas que no tenían relación con este trabajo. Las herramientas facilitadas además del interés puesto en este trabajo fueron de gran ayuda durante todo el periodo en que desarrollé este proyecto.

Por último quisiera agradecer a mis padres por todo el apoyo que siempre me han entregado, el cual ha sido fundamental en todos los aspectos de mi vida.

Índice

1	Introducción	1
1.1	Motivación.....	1
1.2	Objetivos.....	2
1.2.1	Objetivo General.....	2
1.2.2	Objetivos Específicos.....	2
1.3	Hipótesis.....	2
1.4	Metodología.....	3
1.5	Alcances.....	3
1.6	Estructura del Trabajo.....	4
2	Antecedentes	5
2.1	Subsistema Multimedia IP.....	5
2.2	Calidad de Servicio.....	7
2.3	Monitoreo de QoS y QoE.....	10
2.4	Métricas de QoE.....	11
2.5	Herramientas de Monitoreo de QoE.....	15
2.5.1	Herramientas de Capa de Aplicación.....	15
2.5.2	Herramientas de Medición en Terreno.....	16
2.6	Protocolo de Control de Transmisión.....	16
2.7	Navegación Web.....	18
2.8	Streaming.....	20
2.9	La Tecnología WCDMA y su Estado de Desarrollo.....	21
2.10	HSPA, High Speed Packet Access.....	23
2.11	Situación Actual Banda Ancha Móvil en Chile.....	24
2.12	Aporte del Trabajo de Título.....	25
3	Implementación	27
3.1	Objetivos.....	27
3.2	Herramientas de Hardware Utilizadas.....	28
3.2.1	Servidor Dell Power Edge 850.....	28
3.2.2	Computador HP COMPAQ d220 MT.....	28

3.2.3	Módems HSDPA.....	29
3.3	Herramientas de Software Utilizadas.....	31
3.3.1	Ubuntu Linux.....	31
3.3.2	Php.....	31
3.3.3	MySQL.....	33
3.3.4	Servidor HTTP Apache.....	34
3.3.5	Open Flash Chart.....	35
3.3.6	Xajax.....	36
3.4	Diseño de Plataforma.....	38
3.4.1	Mediciones de Referencia.....	38
3.4.2	Mediciones de Benchmarking.....	38
3.4.3	Mediciones de Benchmarking Automático.....	38
3.4.4	Mediciones de Monitoreo.....	39
3.4.5	Pruebas de Rendimiento.....	39
3.4.5.1	DNS Check.....	40
3.4.5.2	PING Check.....	42
3.4.5.3	HTTP PING.....	43
3.4.5.4	FTP Download y FTP Upload.....	45
3.4.5.5	Flash Download.....	47
3.4.6	Algoritmo de Medición de Datos.....	50
3.4.7	Algoritmos de Procesamiento de Datos.....	51
3.5	Software de Medición.....	53
3.5.1	Versión Windows.....	54
3.5.2	Versión Linux.....	56
3.6	Procesamiento de Datos.....	59
3.6.1	Script de Transferencia de Archivos.....	59
3.6.2	Almacenamiento en Base de Datos.....	59
3.6.2.1	Diseño Lógico Base de Datos.....	60
3.6.3	Generación de código JSON para gráficos.....	62
3.7	Interfaz de Usuario.....	62
3.7.1	Menú Lateral.....	63
3.7.2	Formulario Selección de Datos.....	63
3.7.2.1	Opciones de Tiempo.....	64
3.7.2.2	Opciones de Datos.....	65
3.7.3	Gráficos.....	65
3.8	Indicadores Claves de Calidad.....	66
3.8.1	Cobertura de Servicio.....	66
3.8.2	Disponibilidad de Servicio.....	67
3.8.3	Tiempo de Inicio de Sesión.....	68
3.8.4	Tasa de Transferencia.....	68
3.8.5	Delay Punto-a-Punto.....	69
3.8.6	Tiempo de Respuesta Servidores DNS.....	70
3.8.7	Número de Interrupciones Video Flash.....	70

3.8.8	Indicador Global de Calidad de Experiencia.....	71
4	Resultados y Discusiones	72
4.1	Mediciones Realizadas.....	72
4.1.1	Benchmarking.....	72
4.1.2	Pruebas de Rendimiento.....	74
4.1.2.1	DNS Check.....	74
4.1.2.2	PING Check.....	76
4.1.2.3	HTTP PING.....	77
4.1.2.4	FTP Download.....	78
4.1.2.5	FTP Upload.....	79
4.1.3	Benchmarking Automático.....	80
4.1.4	Monitoreo Automático.....	81
4.1.4.1	Validación estadística de las muestras obtenidas.....	81
4.1.4.2	Pruebas de rendimiento.....	84
4.2	Relación entre Round Trip Time y Throughput en Navegación Web.....	99
4.3	Influencia escalamiento de ventana TCP.....	100
4.4	Comparación Servicio Banda Ancha Móvil con Banda Ancha Fija.....	102
5	Conclusiones	103
5.1	Acerca de las Herramientas Utilizadas.....	103
5.2	Acerca de la Plataforma.....	104
5.3	Acerca de Parámetros de Red que influyen en la Calidad del Servicio.....	104
5.4	Acerca del Servicio de Banda Ancha Móvil en Chile.....	105
5.5	Acerca de las Proyecciones del Trabajo de Título.....	105
6	Referencias	107
6.1	Bibliografía.....	107
6.2	Acrónimos.....	108
7	Anexos	110
7.1	Diseño Físico Base de Datos de la Plataforma.....	110
7.2	Diagrama de Relaciones Base de Datos.....	114
7.3	Listado de Puntos de Medición Benchmarking.....	115

Índice de Figuras

Figura 2.1. Esquema de la convergencia de redes fijas y móviles en IMS.	7
Figura 2.2. Esquema de la relación entre Calidad de Experiencia y Calidad de Servicio.....	9
Figura 2.3. Estados de adaptación de TCP.	17
Figura 2.4. Flujo de mensajes servicio de Navegación Web.....	19
Figura 2.5. Flujo de mensajes servicio de Streaming.	21
Figura 3.1. Servidor Dell Power Edge 850.....	28
Figura 3.2. Computador HP Compaq d220 MT.....	29
Figura 3.3. Módem Usb Huawei E226.	29
Figura 3.4. Software de conexión Mobile Partner.....	30
Figura 3.5. Software de conexión Wireless Manager.....	30
Figura 3.6. Módem Usb Sony Ericsson MD300.	31
Figura 3.7. Ejemplo de código JSON usado por Open Flash Chart.	36
Figura 3.8. Gráfico generado con Open Flash Chart.....	36
Figura 3.9. Esquema funcionamiento DNS.....	41
Figura 3.10. Consulta DNS de sitio favoritos a servidores primario y secundario.	41
Figura 3.11. Esquema medición PING Check.....	42
Figura 3.12. Esquema funcionamiento HTTP PING.....	44
Figura 3.13. Esquema funcionamiento protocolo FTP.....	46
Figura 3.14. Esquema pruebas FTP Download y FTP Upload.	46
Figura 3.15. Ejemplo ejecución Flash Download.	48
Figura 3.16. Tiempos de reproducción y duración de video flash.	49
Figura 3.17. Algoritmo básico de proceso de medición.	50
Figura 3.18. Esquema de almacenamiento de archivos de registro.....	51
Figura 3.19. Esquema de procesamiento de archivos de registro.....	52
Figura 3.20. Esquema de confección de código JSON para graficar datos.....	52
Figura 3.21. Esquema general del procesamiento de datos.....	53
Figura 3.22. Captura ejecución software de medición.	55
Figura 3.23. Captura pruebas de rendimiento en software de medición.	55
Figura 3.24. Ejemplo de ejecución comando dig.	56
Figura 3.25. Ejemplo de ciclo de medición versión Linux.....	58
Figura 3.26. Captura de pantalla interfaz de usuario.....	63
Figura 3.27. Vista de opciones de tiempo formulario de selección de datos.	64
Figura 3.28. Vista de opciones de datos del formulario.....	65
Figura 4.1. Test de Kolmogorov–Smirnov para las distintas variables medidas.	82
Figura 4.2. Captura de paquetes sin utilizar escalamiento de ventana.	101
Figura 4.3. Captura de paquetes utilizando escalamiento de ventana.	101
Figura 7.1. Diagrama de relaciones base de datos.....	114

Índice de Tablas

Tabla 1. Indicadores de Calidad de Experiencia en el Servicio de Banda Ancha Móvil.	13
Tabla 2. Estadística de conexiones a Internet con tecnología 3G.	25
Tabla 3. Resumen pruebas de rendimiento.....	49
Tabla 4. Diseño lógico entidad Medición.....	60
Tabla 5. Diseño lógico de las entidades de pruebas.	60
Tabla 6. Diseño lógico entidad de umbrales.....	61
Tabla 7. Diseño lógico entidad de punto de medición.	61
Tabla 8. Número de muestras para intervalo de confianza de 95%.	83
Tabla 9. Mejora en pruebas de rendimiento al aplicar escalamiento de ventana.	101
Tabla 10. Comparación mediciones Banda Ancha Móvil / Banda Ancha Fija.....	102
Tabla 11. Diseño físico entidad Mediciones.	110
Tabla 12. Diseño físico entidad DNS Check.....	111
Tabla 13. Diseño físico entidad HTTP PING.....	111
Tabla 14. Diseño físico entidad PING Check.	112
Tabla 15. Diseño físico entidad FTP Download.	112
Tabla 16. Diseño físico entidad FTP Upload.	112
Tabla 17. Diseño físico entidad Flash Download.....	113
Tabla 18. Diseño físico entidad de Umbrales.....	113
Tabla 19. Diseño físico entidad de Puntos.	113
Tabla 20. Puntos de medición Benchmarking Región Metropolitana.....	115
Tabla 21. Puntos de medición Benchmarking Zona Norte.....	116
Tabla 22. Puntos de medición Benchmarking Zona Centro.....	116
Tabla 23. Puntos de medición Benchmarking Zona Sur.	117

Índice de Gráficos

Gráfico 2.1. Ancho de Banda v/s RTT para distintos tamaños de ventana TCP.....	18
Gráfico 2.2. Crecimiento global usuarios WCDMA.....	22
Gráfico 2.3. Evolución capacidad de radio.....	24
Gráfico 3.1. Sistemas operativos más usados en navegación web.....	54
Gráfico 4.1. Cobertura de servicio banda ancha móvil por zona.....	73
Gráfico 4.2. Cobertura de servicio banda ancha móvil por mes.....	73
Gráfico 4.3. Tiempo promedio DNS Check por zona.....	74
Gráfico 4.4. Tiempo promedio DNS Check por mes.....	75
Gráfico 4.5. Promedio tiempo DNS www.terra.cl.....	75
Gráfico 4.6. Promedio tiempo de descarga www.terra.cl.....	75
Gráfico 4.7. Tiempo promedio PING Check por zona.....	76
Gráfico 4.8. Tiempo promedio PING Check por mes.....	76
Gráfico 4.9. Tasa de transferencia promedio HTTP PING por zona.....	77
Gráfico 4.10. Tasa de transferencia promedio HTTP PING por mes.....	77
Gráfico 4.11. Tasa de transferencia FTP Download por zona.....	78
Gráfico 4.12. Tasa de transferencia FTP Download por mes.....	78
Gráfico 4.13. Tasa de transferencia FTP Upload por zona.....	79
Gráfico 4.14. Tasa de transferencia FTP Upload por mes.....	80
Gráfico 4.15. Tiempo de respuesta DNS Check benchmarking automático.....	80
Gráfico 4.16. Tasa de transferencia HTTP PING benchmarking automático.....	81
Gráfico 4.17. Tiempo de Inicio de sesión monitoreo automático.....	84
Gráfico 4.18. Calidad de señal monitoreo automático.....	85
Gráfico 4.19. Tiempo promedio DNS monitoreo automático.....	86
Gráfico 4.20. Frecuencias de tiempo de respuesta servidores DNS monitoreo automático.....	86
Gráfico 4.21. Frecuencias de tiempo de respuesta DNS monitoreo automático por sitio.....	87
Gráfico 4.22. Tasa de transferencia HTTP PING monitoreo automático.....	88
Gráfico 4.23. Tasa de transferencia HTTP PING monitoreo automático por sitio.....	89
Gráfico 4.24. Frecuencias tasa de transferencia HTTP PING monitoreo automático por sitio.....	89
Gráfico 4.25. Tiempo de descarga HTTP PING monitoreo automático por sitio.....	90
Gráfico 4.26. Tiempo promedio PING Check monitoreo automático.....	91
Gráfico 4.27. Tiempo promedio PING Check monitoreo automático por sitio.....	91
Gráfico 4.28. Frecuencias tiempo promedio PING Check monitoreo automático por sitio.....	92
Gráfico 4.29. Tasa de transferencia FTP Download monitoreo automático.....	93
Gráfico 4.30. Calidad de servicio FTP Download monitoreo automático.....	93
Gráfico 4.31. Tasa de transferencia FTP Upload monitoreo automático.....	94
Gráfico 4.32. Tiempo de inicio de descarga Flash Download monitoreo automático.....	95
Gráfico 4.33. Número de cortes Flash Download monitoreo automático.....	96
Gráfico 4.34. Indicador de calidad de servicio con APN wap.tmovil.cl.....	97
Gráfico 4.35. Indicador de calidad de servicio con APN web.tmovil.cl.....	98
Gráfico 4.36. Relación RTT – Throughput en mediciones de Benchmarking.....	100

1

Introducción

1.1 Motivación.

Los servicios de valor agregado han ido penetrando cada vez más en las redes de telefonía móvil, las cuales han pasado de proveer únicamente telefonía a ofrecer una variada gama de servicios. Dentro de estos servicios se encuentra la Banda Ancha Móvil, la cual permite a los usuarios acceder a Internet de manera móvil.

La evolución de las redes móviles en redes de tercera generación junto con la incorporación de tecnologías como HSDPA (*High-Speed Downlink Packet Access*) han permitido que a través del servicio de banda ancha móvil sea posible acceder a los distintos contenidos de Internet con mayor velocidad y calidad que las redes de segunda generación, permitiendo utilizar este servicio en un computador de manera similar a como sería con una conexión fija de velocidades superiores a 1 Mbps.

Con el crecimiento exponencial que Internet ha experimentado en los últimos años, una gran cantidad de nuevas aplicaciones ha surgido tales como redes sociales, transferencia de archivos P2P y streaming de video entre otras. A medida que los usuarios se familiarizan con estos nuevos servicios mediante su uso a través de las redes fijas de acceso a Internet, surge una demanda por poder utilizarlos también en ambientes móviles, aumentando los requerimientos de este tipo de redes.

Así como los usuarios pretenden ocupar estas nuevas aplicaciones, también esperan que éstas funcionen de manera similar a como sucede en las redes fijas, subiendo sus criterios en lo que se refiere a la percepción de calidad del servicio que reciben.

Es por esta razón que asoma la necesidad de monitorear el servicio de datos desde el punto de vista del cliente con el fin de poder corroborar que todos los procesos internos de la red se traducen en la entrega de un buen servicio cumpliendo con las expectativas del cliente, haciendo más probable que vuelva a utilizarlo o más aún lo recomiende a sus conocidos los cuales podrían ser potenciales clientes.

Por otra parte al haber una fuerte competencia en el sector, el factor de la calidad de experiencia del cliente cobra una importancia adicional, siendo significativo para un operador móvil, el poder comparar su servicio de banda ancha móvil con el entregado por los otros operadores.

Bajo este escenario es que surge el presente trabajo de título realizado en el Área de Planificación y Nuevas Tecnologías de la empresa Telefónica Móviles Chile S.A desarrollado durante los meses de Enero a Julio de 2009.

1.2 Objetivos.

1.2.1 Objetivo General.

El objetivo general de este trabajo de título es desarrollar una plataforma que permita monitorear el desempeño del servicio de banda ancha móvil a través de módems USB determinando la calidad de experiencia de un usuario común.

1.2.2 Objetivos Específicos.

Los objetivos específicos para el desarrollo de este trabajo son los siguientes:

- Diseñar pruebas de rendimiento que permitan medir la calidad de experiencia de distintos componentes de la banda ancha móvil.
- Desarrollar un software que ejecute estas pruebas de rendimiento de manera automática.
- Crear una base de datos para almacenar la información obtenida a través de las pruebas realizadas.
- Realizar una interfaz de usuario a través de la cual sea posible observar de manera gráfica los datos de las mediciones.
- Generar indicadores que permitan evaluar en forma general la Calidad de Experiencia.
- Realizar una comparación con el servicio entregado por los tres operadores móviles, Movistar, Entel y Claro.

1.3 Hipótesis.

Como hipótesis se plantea que empleando herramientas de Código Libre, además de los equipos de hardware facilitados será posible desarrollar la plataforma de monitoreo y cumplir con los objetivos propuestos.

También se considera el acceso a módems de banda ancha móvil de los tres operadores móviles con planes de datos tanto para desarrollar la plataforma como para comprobar su correcto funcionamiento.

1.4 Metodología.

Para el desarrollo del trabajo se comienza con una investigación de lo que es el servicio de banda ancha móvil y algunas de las aplicaciones que este ofrece además de los criterios que definen lo que es la calidad de experiencia.

Se analizan las distintas herramientas a ocupar en el desarrollo de la plataforma definiendo que características de éstas son de utilidad para el proyecto y como interactúan entre sí para cumplir con los objetivos planteados.

Se continúa con la construcción de la plataforma, ocupando el modelo de espiral para el ciclo de desarrollo, esto es, se produce una primera versión, la cual se prueba identificando fallas y posibles mejoras aplicándolo a una nueva versión. De esta forma la plataforma puede ser utilizada sin estar terminada en su totalidad.

Con las pruebas realizadas a las distintas versiones se analizan los resultados obtenidos comprobando que las pruebas definidas logran simular de manera adecuada la utilización del servicio de banda ancha móvil por parte de un usuario común. De esta forma se asegura que los datos adquiridos son fidedignos pudiendo ignorar alguna influencia que produzca la aplicación en la veracidad de los datos.

Finalmente se deja operativa la última versión desarrollada con las mejoras y arreglos que hayan surgido en el transcurso del desarrollo del trabajo. Además a partir de la información recopilada se concluye sobre el funcionamiento de la plataforma y de la calidad del servicio.

1.5 Alcances.

En el presente trabajo se desarrolla una plataforma para monitorear el servicio de banda ancha móvil en base a herramientas de código libre. Esta plataforma presenta la ventaja de ser simple en su estructura, requiriendo de un servidor básico y computadores de escritorios o notebooks corrientes para realizar las mediciones. Además la plataforma se construye en base a una arquitectura escalable permitiendo agregar nuevas pruebas que permitan monitorear otras aplicaciones de este servicio así como también funcionar para nuevas tecnologías de acceso a la red móvil ya que la plataforma es transparente al método en que se accede a Internet.

1.6 Estructura del Trabajo.

El documento se divide en siete capítulos que se describen a continuación:

El presente capítulo da un marco general del trabajo realizado, se describen la motivación, los objetivos, la hipótesis de trabajo, la metodología utilizada y los alcances de este trabajo de título.

El capítulo de Antecedentes muestra un compendio de información y conceptos sobre las tecnologías que permiten la implementación del servicio de valor agregado conocido como banda ancha móvil en redes de telefonía celular, la noción de calidad de servicio y calidad de experiencia además de aplicaciones que forman parte de este servicio. El capítulo termina con una descripción del escenario de la banda ancha móvil en Chile durante el período en que fue desarrollado este trabajo y con el aporte del mismo al tema.

El capítulo de Implementación describe detalladamente la solución desarrollada y las herramientas utilizadas para su creación. Se explican además todos los procesos que la componen, lo que permite comprender adecuadamente los resultados expuestos en el capítulo siguiente.

En el capítulo de Resultados y Discusiones se muestran los datos obtenidos gracias a la plataforma desarrollada, describiendo el comportamiento observado del servicio de banda ancha móvil y analizando los distintos factores que influyen en la calidad de experiencia del mismo.

En el capítulo de Conclusiones se analiza el cumplimiento de los objetivos planteados para este trabajo junto con evaluar las herramientas utilizadas y el servicio de Banda Ancha Móvil. Además se mencionan las posibles proyecciones de este trabajo.

En el capítulo de Referencias se listan los distintos textos, documentos y recursos multimedia que fueron de aporte en el desarrollo del presente trabajo.

Por último están los Anexos que comprenden los distintos datos que complementan la información presentada en los capítulos anteriores.

2

Antecedentes

A continuación se describen temas referentes al servicio de Banda Ancha Móvil abarcando conceptos como tecnología, aplicaciones y su situación actual en el país. Además es descrito el concepto de Calidad de Servicio y Calidad de Experiencia en servicios del área de las telecomunicaciones. Lo anterior tiene el propósito de proveer una base necesaria para la comprensión de los capítulos siguientes.

2.1 Subsistema Multimedia IP.

Las redes fijas y móviles han experimentado una gran transición en los últimos veinte años. En las redes móviles, los sistemas de primera generación (1G) fueron introducidos a mediados de la década de 1980. Estas redes ofrecieron servicios de carácter básico para los usuarios. El énfasis principal fue puesto en la transmisión de voz. Los sistemas de segunda generación (2G) en la década de 1990 trajeron algunos servicios de datos como la mensajería SMS. La tercera generación (3G) actualmente está permitiendo mayores tasas de transferencia de datos y varios servicios multimedia.

En las redes fijas, la red telefónica conmutada (PSTN) y las redes digitales de servicios integrados (ISDN) han dominado la comunicación mediante voz y video. En los últimos años, el uso de Internet cada vez es mayor y los usuarios sacan provecho de accesos a Internet más rápidos y económicos como las líneas de abonado digital asimétrica (ADSL). Estos tipos de conexiones permiten una conectividad permanente, la cual es necesaria para que la gente haga uso de medios de comunicación en tiempo real como lo son aplicaciones de chat, juegos en línea y Voz sobre IP (VoIP).

Actualmente se está experimentando una rápida convergencia de las redes móviles y fijas además del aumento en el uso de dispositivos móviles llegando alrededor de 3.300 millones en el año 2007 (fuente: Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT) [4]. Estos dispositivos últimamente traen incorporados grandes pantallas de alta precisión, cámaras y diversos recursos para aplicaciones. Las aplicaciones dejaron de ser entidades aisladas que intercambian información solo con la interfaz del usuario, la nueva generación de aplicaciones son peer-to-peer (punto a punto) que facilitan el compartir contenido entre usuarios como jugar en línea o una sesión de radio bi-direccional (Push to Talk).

El marcar un número y hablar con otra persona pronto será visto como un servicio más en las comunicaciones. La habilidad de establecer una conexión peer-to-peer entre los nuevos dispositivos que soportan Internet Protocol (IP) es un ingrediente clave en este proceso.

Para comunicarse las aplicaciones basadas en el protocolo IP deben poseer mecanismos apropiados para alcanzar su destino. Actualmente, la red de telefonía realiza la importante tarea de establecer la conexión. Marcando el número del destino, la red puede realizar una conexión entre dos terminales sobre la red IP. Esta conectividad IP es ofrecida frecuentemente en ambientes aislados bajo un solo proveedor de servicio en Internet. Estos proveedores cerrados compiten a nivel de usuario, donde el interfuncionamiento de los distintos proveedores de servicios no es una característica muy bienvenida. Por lo tanto, es necesario un sistema global, aquí es donde aparece el Subsistema Multimedia IP más conocido por sus siglas en inglés IMS (IP Multimedia Subsystem).

IMS permite a aplicaciones en dispositivos que soporten IP establecer conexiones punto a punto y punto a contenido de manera fácil y segura. En otras palabras, IMS es una arquitectura de conectividad y control de servicio, basada en IP y de acceso independiente que permite el uso de varios tipos de servicios multimedia a los usuarios empleando protocolos comunes de Internet.

Una verdadera integración de transmisión de voz y servicios de datos aumenta la productividad y la efectividad en general, mientras que el desarrollo de aplicaciones innovadoras que integran voz, datos y multimedia, crearán una demanda por nuevos servicios tales como chat multimedia, pulsar para hablar y conferencias. La habilidad de combinar movilidad y la red IP es de gran importancia en el éxito de los servicios de valor agregado.

La Figura 2.1 muestra un esquema de la convergencia de distintas redes fijas y móviles en IMS, el cual proporciona control de sesión multimedia en el dominio de conmutación de paquetes y al mismo tiempo brinda la funcionalidad conmutación de circuitos en el mismo dominio. Todo esto hace de IMS una tecnología clave para la consolidación de esta integración entre redes [4].

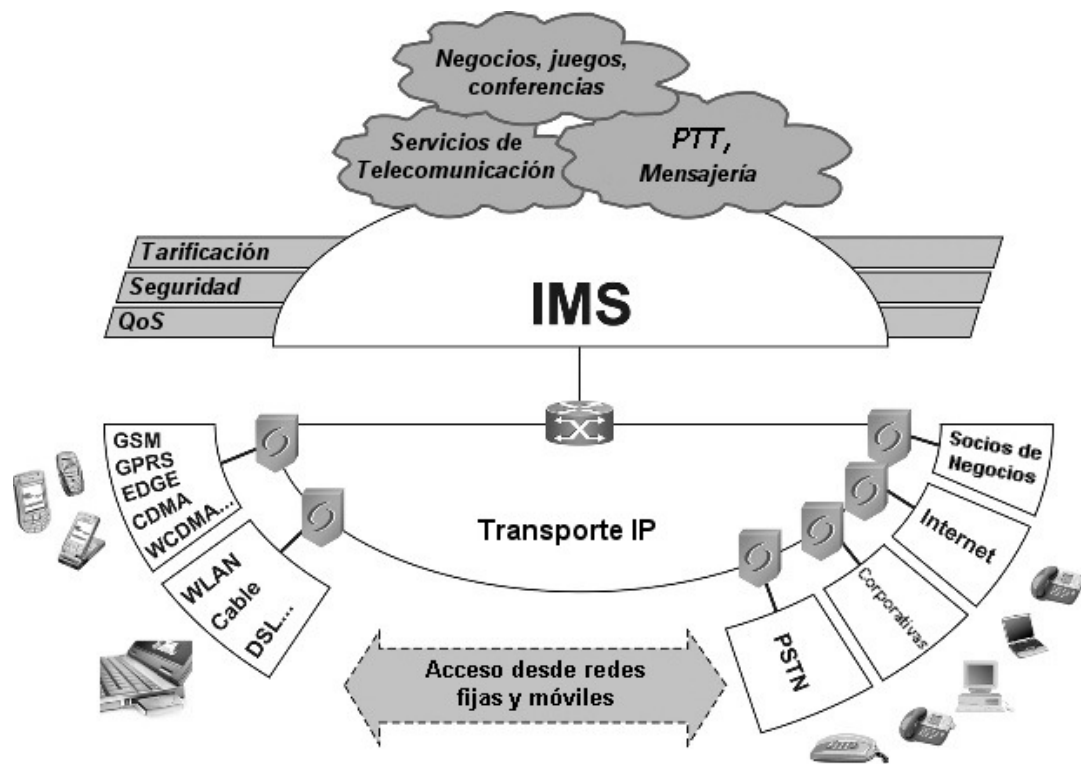


Figura 2.1. Esquema de la convergencia de redes fijas y móviles en IMS.

Tradicionalmente, el sistema de comunicación móvil se ha dividido en tres grandes partes: los terminales, la Red de Acceso de Radio (RAN) y el Núcleo de Red (Core Network). Esta aproximación debe cambiarse un poco cuando se está hablando de un sistema basado en IMS, ya que el término “Red de Acceso de Radio” debe ser reemplazado por “Red de Acceso” debido a que un sistema IMS puede ser desplegado sobre redes con otros tipos de acceso.

2.2 Calidad de Servicio.

Los servicios de valor agregado de las redes móviles rápidamente se han ido convirtiendo en un componente esencial de las estrategias de negocios del operador móvil y están creciendo continuamente al lado de los servicios de voz. Un ejemplo de esto, es que en el segundo trimestre del año 2005, el promedio de los ingresos mensuales por servicios de data de los operadores líderes de Estados Unidos alcanzó los 575 millones de dólares, más del doble que lo obtenido en el mismo periodo el año 2004 [3].

Con la propagación de WCDMA (Wideband Code Division MultipleAccess) y de EGPRS (Enhanced GPRS), la disponibilidad de nuevos servicios, dispositivos terminales con mayores recursos y la convergencia de varias tecnologías, esta tendencia está preparada para asentarse en el futuro. De acuerdo con un estudio del Yankee Group, los ingresos de los servicios de data de operadores móviles en el año 2009 se esperan lleguen a los 15.9 billones de dólares [3].

Aplicaciones de oficina móviles, navegación por Internet y mensajería multimedia son los servicios de los cuales se espera una mayor contribución a estos ingresos. Aparte de estos, se encuentran varios otros que aportan en menor medida. A continuación se presenta un listado de algunos de los servicios que generan ingresos actualmente.

- Mensajería Corta (SMS).
- Mensajes Multimedia.
- Navegación Web.
- Descarga de Ring Tones y Gráficas.
- Streaming de Vídeo.

Como los requerimientos para las distintas aplicaciones varían, el crecimiento de los servicios que no son exclusivamente de voz ha presentado un nuevo desafío para los operadores consistente en manejar su desempeño de maneras más eficientes. Esto es fundamental si se pretende proveer servicios de “primera clase” a los usuarios finales sin encarecer de gran manera los recursos de la red.

Calidad de Experiencia o en inglés *Quality of Experience* (QoE) es el término que se emplea para describir las percepciones del usuario sobre el rendimiento de un servicio. Calidad de Servicio o en inglés *Quality of Service* (QoS) por otra parte, es la habilidad de la red de proveer un servicio a un cierto nivel. Con tal de ofrecer el mejor QoE a los usuarios de una manera económica, competitiva y eficiente, el operador de la red debe ser capaz de manejar el QoS y el suministro de los servicios de manera eficiente.

Los proveedores de servicios que ofrecen un QoE superior poseen una significativa ventaja competitiva, mientras que compañías que ignoran la importancia del QoE pueden sufrir costos innecesarios, pérdidas de ingresos y una reducida percepción del mercado. Se estima que alrededor de un 82% de los cambios de preferencia de un proveedor de servicio a otro por parte del usuario son debidos a frustraciones sobre el producto o el servicio y de la incapacidad del proveedor para solucionarlo de manera efectiva [3]. Más aún, esto genera una reacción en cadena, debido a que en promedio un cliente disconforme les contará a otras trece personas acerca de su mala experiencia.

Un operador no puede darse el lujo de esperar a que el cliente se queje acerca de la calidad del servicio. Estudios muestran que por cada persona que hace una llamada y tiene un problema, habrá otros 29 que nunca llamarán. Cerca del 90% de los clientes se cambiará de proveedor de servicio sin antes haberse quejado, esto afecta directamente la rentabilidad y la imagen del operador, especialmente si esto ocurre en sus primeros pasos en el mercado [3]. Por lo tanto, la única manera de prevenir esta situación es idear una estrategia para manejar y mejorar el QoE y el QoS de manera constante.

Más específicamente el término QoE se refiere a la percepción que tiene un usuario acerca de la calidad de un determinado servicio. Se expresa en apreciaciones humanas como “bueno”, “malo”, “excelente”, etc. Por otro lado, QoS es intrínsecamente un concepto técnico el cual es medido, expresado y entendido en términos de elementos de una red, los cuales tienen poco significado para un usuario. En la siguiente figura se muestra un esquema de la relación entre Calidad de Experiencia y Calidad de Servicio.

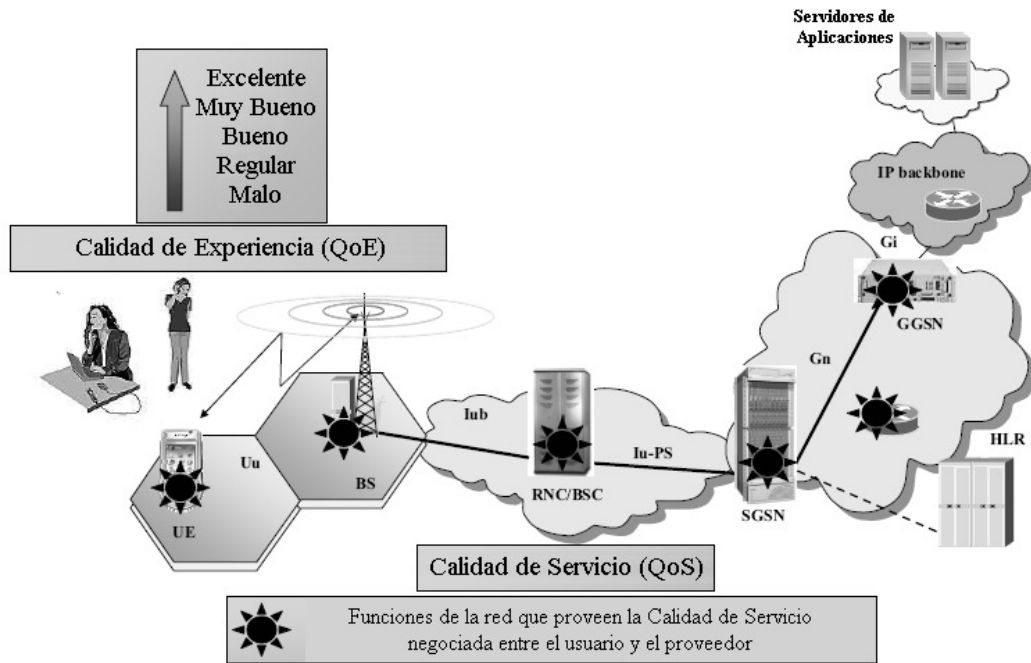


Figura 2.2. Esquema de la relación entre Calidad de Experiencia y Calidad de Servicio.

Aunque un mejor QoS de una red en muchos casos resultará en un mejor QoE, el cumplir con todos los parámetros de QoS de tráfico, no garantizará un usuario satisfecho. Un throughput excelente en una parte de la red puede no ser de gran ayuda si es que solo se tiene cobertura en cortas distancias. Si bien se tienen en cuenta estas mediciones de la red, no le aportan mucho al operador acerca del nivel de satisfacción del usuario.

No siempre será correcto el inferir que el QoE se mejora debido al uso de mecanismos de QoS para reducir el jitter (variación de frecuencia de llegada de paquetes) o el delay (retraso) promedio en la entrega de los paquetes. Lo que sí importa es obtener una buena experiencia del usuario o QoE, y el objetivo de la Calidad de Servicio o QoS es entregar un alto QoE.

El proporcionar un buen QoE se basa en entender los factores que contribuyen a la percepción del usuario sobre los servicios en cuestión, y aplicar ese conocimiento para definir requerimientos de operación del sistema. Esta perspectiva de sentido arriba-abajo reduce los costos de desarrollo y los riesgos de rechazo o quejas por parte del cliente, asegurando que el sistema cumplirá con los requerimientos del usuario.

La calidad de servicio o QoS es vista frecuentemente como un proceso de perspectiva abajo-arriba, consistente en una concatenación de metodologías de rendimiento punto a punto con poca consideración de lo que pasa en todo el proceso de comienzo a fin. La perspectiva arriba-abajo está basada en la premisa de que es el usuario el último beneficiado del QoS. Con tal de lograr las expectativas del cliente, la implementación del QoS en las redes actuales debe estar enfocada en la perspectiva del usuario final y proveer los niveles de rendimiento de servicio necesarios para una alta calidad de experiencia.

En la práctica, lo anterior significa concentrarse en el cliente, esto es la persona que paga la cuenta, entender sus expectativas y usarlas para determinar los requerimientos de calidad de servicio de dominios individuales de la red como lo son el acceso, el núcleo y el backbone entre otros.

2.3 Monitoreo de QoS y QoE

Dada la importancia de conocer el nivel de servicio que se está proporcionando a los usuarios, se ha vuelto relevante para un operador móvil medir el QoS y QoE de su red de forma adecuada y mejorarlos de la manera más eficiente con tal de lograr fidelidad del cliente y mantener un margen de competitividad.

Una pobre calidad de experiencia resulta en clientes insatisfechos, lo que genera una pobre percepción por parte del mercado y por último la disolución de la marca. Si bien, el QoE es un término bastante subjetivo, es muy importante el idear una estrategia para medirlo de una manera lo más fielmente posible. La habilidad de medir el QoE le dará al operador la sensación de que está contribuyendo al rendimiento de la red y a elevar la satisfacción del usuario en términos de fiabilidad, disponibilidad, escalabilidad, velocidad y eficiencia.

Estos elementos definen hoy en día la calidad de experiencia y la ventaja competitiva en las redes de comunicación basadas en conmutación de paquetes. La experiencia es expresada preferentemente en percepciones humanas más que en métricas. Ejemplos de estas percepciones pueden ser: excelente, muy buena, buena, regular o pobre. Dos acercamientos para la medición del QoE son los siguientes:

1. Enfoque de nivel de servicio usando muestras estadísticas de un grupo de terminales.
2. Sistema de manejo de la red mediante el empleo de parámetros de Calidad de Servicio.

El primero se basa en un muestreo representativo de los usuarios de la red acerca del QoE. Este proceso consiste en:

- Determinar la influencia de las aplicaciones más importantes.

- Identificar y ponderar los indicadores claves de rendimiento o key performance indicators (KPIs).
- Crear un muestreo estadístico adecuado considerando áreas geográficas, tipos de tráfico, periodo del día y tomando las mediciones de los KPIs de acuerdo a esto.
- Utilizar agentes móviles en los equipos para un muestreo más acertado.
- Asignar puntajes de QoE a los distintos servicios dependiendo de los KPIs.

El segundo es una metodología donde métricas de QoS provenientes de diversas partes de la red se traducen en objetivos de rendimiento de QoE los cuales sean perceptibles para el usuario. Estas mediciones de QoS son realizadas usando un Sistema de Manejo de Red, el cual recolecta los KPIs de la red y los compara con los niveles definidos. En este proceso se realizan los siguientes procedimientos:

- Identificar la relación entre los KPIs de QoS y su efecto en la Calidad de Experiencia.
- Realizar la medición de los KPIs de QoS de la red.
- Clasificar la Calidad de Experiencia de acuerdo a los KPIs obtenidos.

En este trabajo se utiliza el primer método mencionado basándose en un muestreo del servicio utilizando distintos terminales para luego generar los indicadores de calidad de experiencia a partir de los datos recolectados.

2.4 Métricas de QoE.

Aunque la Calidad de Experiencia es un concepto subjetivo, es muy importante tenerla controlada, no se puede esperar que constantemente los usuarios indiquen su nivel de satisfacción al usar un determinado servicio. Es por esta razón que se debe idear una estrategia para medir el QoE de la manera más real posible. El enfoque para lograr este objetivo se puede dividir en tres etapas:

- Entender los factores que contribuyen a la percepción del usuario.
- Traducir esos factores en requerimientos que debe presentar un servicio.
- Crear una metodología para medir dichos factores de forma constante, incluyendo herramientas, lugares y análisis estadísticos.

Al momento de identificar las métricas de QoE se debe considerar a grandes rasgos cuales son las expectativas que tienen los usuarios en cuanto a la calidad de un servicio. Si bien puede haber tantas como hay usuarios, se pueden agrupar en dos categorías: confiabilidad y calidad.

La confiabilidad abarca los conceptos de disponibilidad, accesibilidad y sustentabilidad de un determinado servicio. Este aspecto puede variar dependiendo de la ubicación geográfica y la hora del día entre otros.

La calidad por otra parte incluye el contenido solicitado, el enlace entre el terminal y la red del proveedor, e incluso el dispositivo empleado por el usuario.

Teniendo identificados estos dos grandes criterios en los que los usuarios determinaran su nivel de experiencia, se pueden establecer métricas que reflejen la calidad que perciben los clientes desde el punto de vista de la red. A continuación se presenta una tabla que resume las métricas usadas para medir la calidad de un servicio.

Tabla 1. Indicadores de Calidad de Experiencia en el Servicio de Banda Ancha Móvil.

QoE KPI	Medición Relacionada	Descripción
Disponibilidad de Servicio (territorio)	Razón de sectores con cobertura sobre los sectores sin cobertura (%)	El hecho de tener cobertura es un factor importante sobre la percepción de calidad del usuario. Los operadores móviles deben diseñar sus redes y también sus acuerdos de roaming con tal de dar cobertura a todos sus clientes.
Accesibilidad de Servicio	Razón de conexiones fallidas sobre un total de intentos (%)	El servicio debe estar disponible en todo momento, resulta molesto el no lograr conexión cuando se requiere el servicio para algo importante.
Tiempo de Acceso al Servicio	Tiempo promedio de establecimiento de la sesión (s)	Este tiempo no puede ser muy extenso ya que se puede confundir con un intento fallido de conexión.
Continuidad de Conexión	Razón de interrupción del servicio (%)	Que el servicio se detenga mientras es usado provocará malestar en quien lo utiliza.
Calidad de la Sesión	Porcentaje de paquetes perdidos (%)	Corresponde al número de paquetes perdidos cada 1000 que son enviados durante una sesión. Los usuarios siempre serán más tolerantes a esta pérdida en aplicaciones de voz y de streaming a diferencia de lo que ocurre con las aplicaciones interactivas. En este último caso las retransmisiones de paquetes son una indicación de retraso, bajo throughput y congestión en la red.
Tasa de Bits	Promedio de tasa de bits alcanzada como razón de la tasa de bits requerida por la aplicación (%)	Esta medición es importante para aplicaciones de conversación, streaming y juegos interactivos. Esta tasa puede variar por factores como la movilidad u otros propios de la red, por lo que si es menor a la tasa requerida por la aplicación la experiencia será frustrante.
Variación de la Tasa de Bits	Variación de la tasa de bits en relación a la tasa de bits requerida (%)	Siempre se preferirá una tasa de bits estable especialmente en aplicaciones de tiempo real y de streaming. Se calcula la desviación estándar sobre el promedio calculado anteriormente.
Throughput de la Sesión	Throughput promedio de la sesión (kb/s)	Normalmente se asume que un usuario que tenga un alto throughput tendrá una alta calidad de experiencia, esto es cierto en aplicaciones en algunas aplicaciones interactivas y en las de transferencia de archivos como FTP o peer-to-peer, por lo que es importante considerarla.
Respuesta del Sistema	Tiempo de respuesta promedio (s)	En algunas aplicaciones interactivas y de streaming resulta necesario ver el tiempo que demora en llegar el primer paquete con información luego de que se envió una petición.
Delay Punto a Punto o Round Trip Time	Tiempo promedio de delay entre un punto de la red y el dispositivo móvil (ms o s)	Se refiere al tiempo que le toma a un paquete viajar a través de la red desde el dispositivo hasta un destino cualquiera y viceversa. El streaming, aplicaciones de voz, y algunas interactivas son sensibles al delay.
Variación de Delay o Jitter	Variación de delay con respecto a su valor promedio (%)	Aunque el delay sea minimizado, una gran variación en sus valores puede derivar en una pobre calidad de experiencia. Se traduce como la desviación estándar del delay.

El valor de cada uno de estos indicadores se traducirá en distintos niveles de impacto en la calidad de experiencia. Algunos serán completamente irrelevantes en ciertos casos mientras que otros serán de suma importancia. Esto dependerá del tipo de aplicación que esté ejecutando el usuario, las cuales pueden no compartir todos sus requerimientos.

Con el objetivo de enfocar los alcances de las distintas métricas, resulta conveniente entender los distintos servicios de acuerdo a como son agrupados en clases de tráfico por el 3rd Generation Partnership Project (3GPP) [3]. Estas clases de tráfico son las siguientes: conversacional, streaming, interactivas y de segundo plano o background.

El servicio de voz y videoconferencia son los dos servicios más populares que ocupan la clase de tráfico conversacional. Estas aplicaciones comparten las siguientes características que las hacen caer en esta clase:

- Mantienen la relación de tiempo entre los participantes del tráfico con tal de minimizar la variación de delay.
- Requieren un bajo delay.
- Son relativamente insensibles a la pérdida de paquetes.
- Se garantiza la asignación de recursos, no hay retransmisión.
- Tráfico de tiempo real.

El streaming de audio y video son dos de las aplicaciones que ocupan la clase de streaming. De éstas se puede decir:

- Requieren un delay pequeño.
- A menudo necesitan una baja tasa de error.
- Es importante disminuir la variación del delay.
- Se garantiza la asignación de recursos.
- Se usa poca retransmisión.

La navegación Web y WAP, el acceso remoto a servidores (telnet) y los juegos interactivos son probablemente las cuatro aplicaciones que más usan la clase interactiva de tráfico. Las características más importantes de esta clase son:

- Patrón de uso tipo petición-respuesta.
- Preserva el contenido (se minimiza la tasa de error).
- El delay debe ser tal que permita el uso interactivo.
- Asignación de recursos dinámicos.
- Se utilizan retransmisiones.

- Tráfico de mejor esfuerzo (no de tiempo real).

Existen varias aplicaciones que caen en la categoría de clase de segundo plano. Éstas incluyen email, mensajería y FTP. Entre sus características presentan las siguientes:

- Se acepta una mayor cantidad de delay en comparación con las otras clases.
- Tienen menor prioridad que el tráfico interactivo.
- Asignación de recursos dinámica.
- Se utiliza retransmisión.
- Tráfico de mejor esfuerzo (no de tiempo real).

2.5 Herramientas de Monitoreo de QoE.

Las herramientas para el monitoreo de la calidad de experiencia del usuario proveen a los operadores móviles la habilidad de medir la percepción que tiene el cliente sobre la calidad de un servicio. Estas soluciones se pueden agrupar en varias categorías, algunas de las cuales son descritas en las siguientes subsecciones.

2.5.1 Herramientas de Capa de Aplicación.

Son capaces de producir diferentes tipos de tráfico en la red además de tener la habilidad de ejecutar varios servicios desde el lado del usuario. Se caracterizan por manejar varios protocolos, generar datos de forma automática y realizar reportes sobre el desempeño de los servicios. Ejemplos de mediciones que se realizan son PING para el monitoreo de latencia, navegación web o resolución de nombre mediante DNS. Estas mediciones pueden ser mostradas en tiempo real o almacenadas para un posterior análisis.

En muchas ocasiones, estas aplicaciones no solo manejan información de la capa de aplicación, si no que también pueden registrar parámetros como la calidad de la señal de radio, tipo de tecnología utilizada, etc. En su forma más simple, este monitoreo puede estar basado en herramientas típicas de los sistemas operativos, como lo son navegadores de Internet y reproductores multimedia, debiendo poner el esfuerzo en la automatización y generación de reportes.

En un escenario práctico de medición, ninguna herramienta por si sola será suficiente para las distintas aplicaciones existentes. Sería irreal asumir que un simple desarrollo sea capaz de realizar navegación HTTP y WAP, subidas y descargas mediante FTP, enviar correos electrónicos usando diferentes protocolos y reproducir audio y video. Se requieren varios mecanismos para controlar estos servicios adecuadamente.

Existen en el mercado varias herramientas para hacer mediciones en la capa de aplicación. Un ejemplo de estas es *Nokia Apptester*¹ que permite realizar mediciones de aplicaciones en forma automática. Dentro de las pruebas que puede realizar está PING para analizar el Round Trip Time (RTT), descarga y subida de FTP y navegación web. Los resultados son desplegados mediante gráficos en tiempo real y además son almacenados en archivos para su posterior procesamiento pudiendo obtenerse estadísticas que reflejen el comportamiento de los distintos servicios.

2.5.2 Herramientas de Medición en Terreno.

Permiten realizar mediciones de la interfaz aérea, por lo que no solo proveen información sobre la sesión de datos sino que también acerca del enlace de radio que se establece con el dispositivo móvil como el nivel de cobertura y la tecnología empleada.

El hecho de monitorear la calidad de la interfaz de radio permite correlacionar los datos obtenidos con la calidad de experiencia de cada sesión pudiendo así, determinar que parámetros de calidad de servicio (QoS) tuvieron efecto en lo que percibiría un usuario común. Además se puede emplear con el fin de supervisar los recursos de la red como la disponibilidad de las tecnologías GPRS o WCDMA y niveles de interferencia.

Hay varias herramientas disponibles en el mercado capaces de realizar las funciones antes descritas además de ser compatibles con redes que usan distintas tecnologías tanto de segunda como de tercera generación. Un ejemplo de este tipo de aplicación es *Nemo Outdoor*², diseñada para monitorear las interfaces aéreas de redes inalámbricas.

2.6 Protocolo de Control de Transmisión.

El Protocolo de Control de Transmisión o en inglés *Transmission Control Protocol* (TCP) es un protocolo de transporte diseñado para transferir datos de forma confiable a través de una red. TCP usa retransmisiones basadas en reconocimientos o *acknowledgments* (ACK) y contadores de tiempo para proveer esta fiabilidad. Además TCP asegura flexibilidad en la comunicación entre diferentes usuarios, provee la capacidad de soportar múltiples conexiones paralelas así como también controlar el flujo de datos y la congestión en la red.

Algunas de las características que permiten lo anterior son mencionadas a continuación.

- Orientación a la conexión: Antes de comenzar una transmisión de datos, se lleva a cabo una negociación sobre los parámetros de la conexión entre los dos extremos del enlace.

¹ <http://www.nokia.com>

² http://www.anite.com/images/userdocuments/network_testing/nemo%20outdoor.pdf

- Segmentos y números de secuencia: Los datos son divididos en segmentos para ser transportados, se identifican con un número de secuencia para poder reconstruir la información original y detectar la posible necesidad de retransmisiones.
- Multiplexación: Para permitir que varios procesos de un mismo cliente utilicen simultáneamente este protocolo para comunicarse, TCP provee una serie de puertos a cada cliente. De esta forma una conexión puede ser identificada por dos direcciones IP y dos números de puerto o sockets, los que corresponderían a los lados de servidor y cliente de la conexión.
- Retransmisiones: En el caso de que no se reciban datos por un periodo de tiempo o se identifique que hubo una pérdida de datos, TCP retransmitirá los segmentos de datos hasta asegurar que llegaron a destino de forma correcta.
- Control de flujo: Con tal de minimizar el impacto de la pérdida de datos y retransmisiones, la cantidad de datos transmitidos puede controlarse a través de una ventana de transmisión de segmentos adaptable.

El objetivo es utilizar el mayor ancho de banda posible que ofrece la red pero sin congestionarla cuando muchos usuarios comparten los recursos disponibles. Para lograr esto TCP pasa por los siguientes estados de adaptación.

- Sincronización: Se realiza la negociación entre emisor y receptor para determinar parámetros como los buffers de cada uno.
- Partida lenta: El emisor gradualmente incrementa la tasa de transmisión a medida que recibe confirmaciones desde el receptor.
- Estado estable: El emisor transmite nuevos paquetes tan pronto como recibe confirmación de que el receptor puede recibir más paquetes.

Estos estados se pueden apreciar en el siguiente esquema que muestra de manera conceptual la relación entre el tiempo del inicio de una conexión y la tasa de bits que se logra en la transmisión.

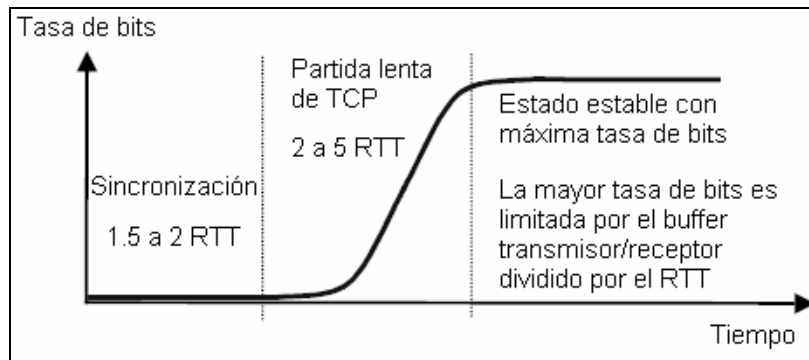


Figura 2.3. Estados de adaptación de TCP.

En la figura RTT se refiere al *Round Trip Time* o tiempo que demora un paquete en viajar desde el emisor al receptor y volver al emisor.

Otra opción de TCP que influye en el desempeño de las aplicaciones de Internet es el Escalamiento de la Ventana TCP (o *TCP window scale option*) descrito en el RFC 1323 [12], gracias a ésta, es posible aumentar el tamaño de la ventana TCP por sobre el máximo permitido de 64 Kbytes (65535 bytes) hasta el valor de 1 Gbyte. Esto es de utilidad para enlaces en que el producto Ancho de Banda-Delay es mayor que 64 Kbytes con lo que el buffer de recepción no se ocupa en su totalidad. Por ejemplo en una red de 1.5 Mbps con latencia de 400 ms, se tiene un producto de $1500000 \times 0.4 = 600000 = 75000$ bytes, esto supera el máximo permitido por lo que no se puede emplear totalmente.

Esta opción se establece al inicio de cada conexión y permite incrementar el throughput obtenido para un mismo RTT. Esto se percibe en el siguiente gráfico que se muestra el ancho de banda en función del RTT para tres tamaños distintos de ventana.

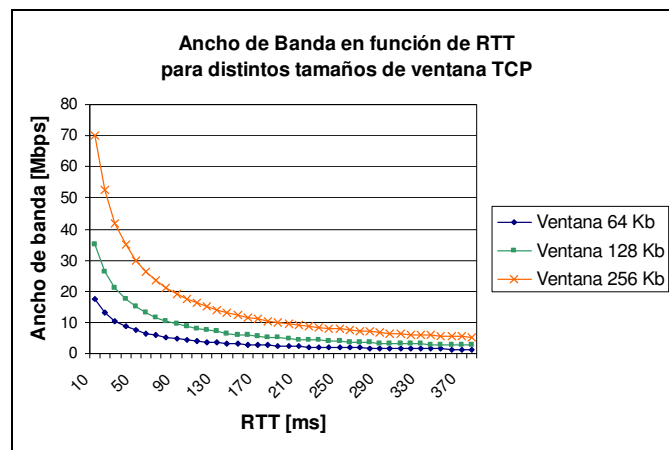


Gráfico 2.1. Ancho de Banda v/s RTT para distintos tamaños de ventana TCP.

TCP es el protocolo usado por múltiples aplicaciones de Internet, dos de ellas son la Navegación Web y el Streaming las cuales se describen en las siguientes secciones.

2.7 Navegación Web.

La navegación web permite a un usuario móvil ver el contenido de los distintos sitios web de Internet utilizando un navegador o browser instalado en un computador o dispositivo móvil. El usuario debe ingresar una dirección web también conocida como url o hacer clic en un enlace para acceder al contenido de una página web.

La Open Mobile Alliance (OMA), organización que desarrolla estándares abiertos para la industria de telefonía móvil basa la navegación web en el Wireless Application Protocol (WAP) y

ha ido migrando hacia protocolos propios de Internet. Por lo tanto, dependiendo del software que esté implementado en el dispositivo móvil, éste puede usar:

- HTTP 1.1 para comunicarse directamente con un servidor web.
- Perfil Inalámbrico HTTP para comunicarse con un gateway WAP, el cual contacta a un servidor web.
- Protocolo de sesión inalámbrico para comunicarse con un gateway WAP, el que se conecta con el servidor web.

Los tres protocolos se basan en el sistema de petición y respuesta de HTTP 1.1. Como se muestra en la siguiente figura, una página web es solicitada enviando un mensaje de pedido GET a un servidor web (o a un gateway WAP que envía el pedido al servidor web). Si la petición resultó exitosa, entonces el servidor web responderá con otro mensaje GET el que contiene la página requerida. Una página web puede contener muchos objetos embebidos como imágenes o archivos flash entre otros, en tal caso cada uno de los objetos es solicitado con un mensaje de petición GET aparte. Cada mensaje de respuesta contiene un código de estado que indica el resultado de la operación. A medida que los objetos son recibidos van siendo mostrados en pantalla concluyendo con todos los elementos exitosamente descargados y el cierre de esa conexión.

Esta aplicación es una de los más populares de Internet siendo utilizada ampliamente en diversos aspectos de la sociedad como educación, negocios y entretención entre otros. En gran parte esta popularidad se debe al surgimiento de herramientas tales como las redes sociales.

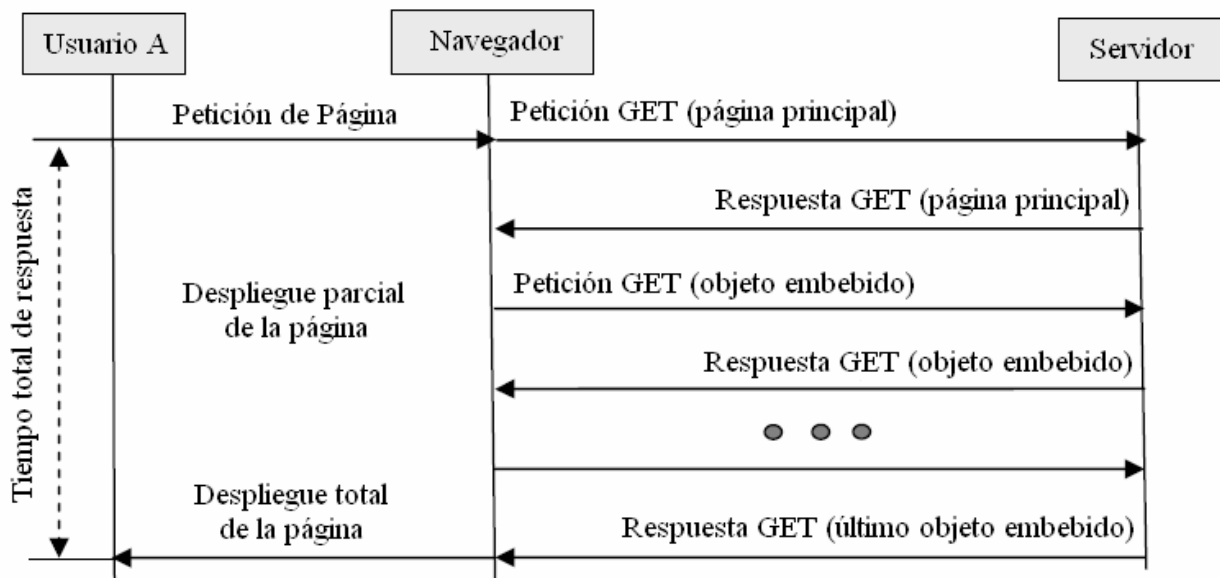


Figura 2.4. Flujo de mensajes servicio de Navegación Web.

2.8 Streaming.

El servicio de streaming contiene un grupo de uno o varios flujos de datos presentados al usuario como un solo objeto multimedia. El contenido es transportado usando el Protocolo de Tiempo Real o *Real Time Protocol* (RTP) sobre el *User Datagram Protocol* (UDP). El control para el establecimiento de la sesión y para la reproducción del contenido se realiza a través del protocolo *Real Time Streaming Protocol* (RTSP).

La Figura 2.5 muestra el flujo de mensajes del servicio de streaming. Cuando un usuario comienza este servicio luego de hacer clic en algún enlace de una página web, el cliente del dispositivo móvil o el browser con el que se ve el contenido primero obtiene una descripción que contiene información acerca de los distintos flujos del contenido tal como codificación, direcciones de red e información del mismo. Esta descripción puede ser obtenida de varias maneras por ejemplo vía MMS o a través de señalización RTSP. El 3GPP establece que la descripción sea en la forma de un registro de Protocolo de Descripción de Sesión o *Session Description Protocol* (SDP).

Una vez que la descripción ha sido obtenida, el cliente establece una sesión para cada flujo del objeto multimedia. Específicamente tratará de establecer un contexto secundario de *Packet Data Protocol* (PDP) para cada uno de estos flujos y además envía un mensaje de petición de SETUP al servidor para que éste destine los recursos necesarios para la operación. El mensaje de respuesta SETUP contiene un identificador de sesión, el puerto del servidor donde se desplegará el contenido e información adicional requerida por el cliente para la reproducción del objeto multimedia.

Luego de que todas las sesiones de los flujos de contenido y sus respectivos contextos PDP han sido establecidas, el usuario puede hacer clic en el botón de PLAY para iniciar la reproducción del contenido sincronizado, la cual también puede iniciarse de forma automática. También el usuario puede pausar, resumir o cancelar la reproducción en cualquier momento. Los mensajes RTSP PLAY (reproducir), PAUSE (pausar) y TEARDOWN (cancelar) son enviados al servidor para ejecutar la acción correspondiente.

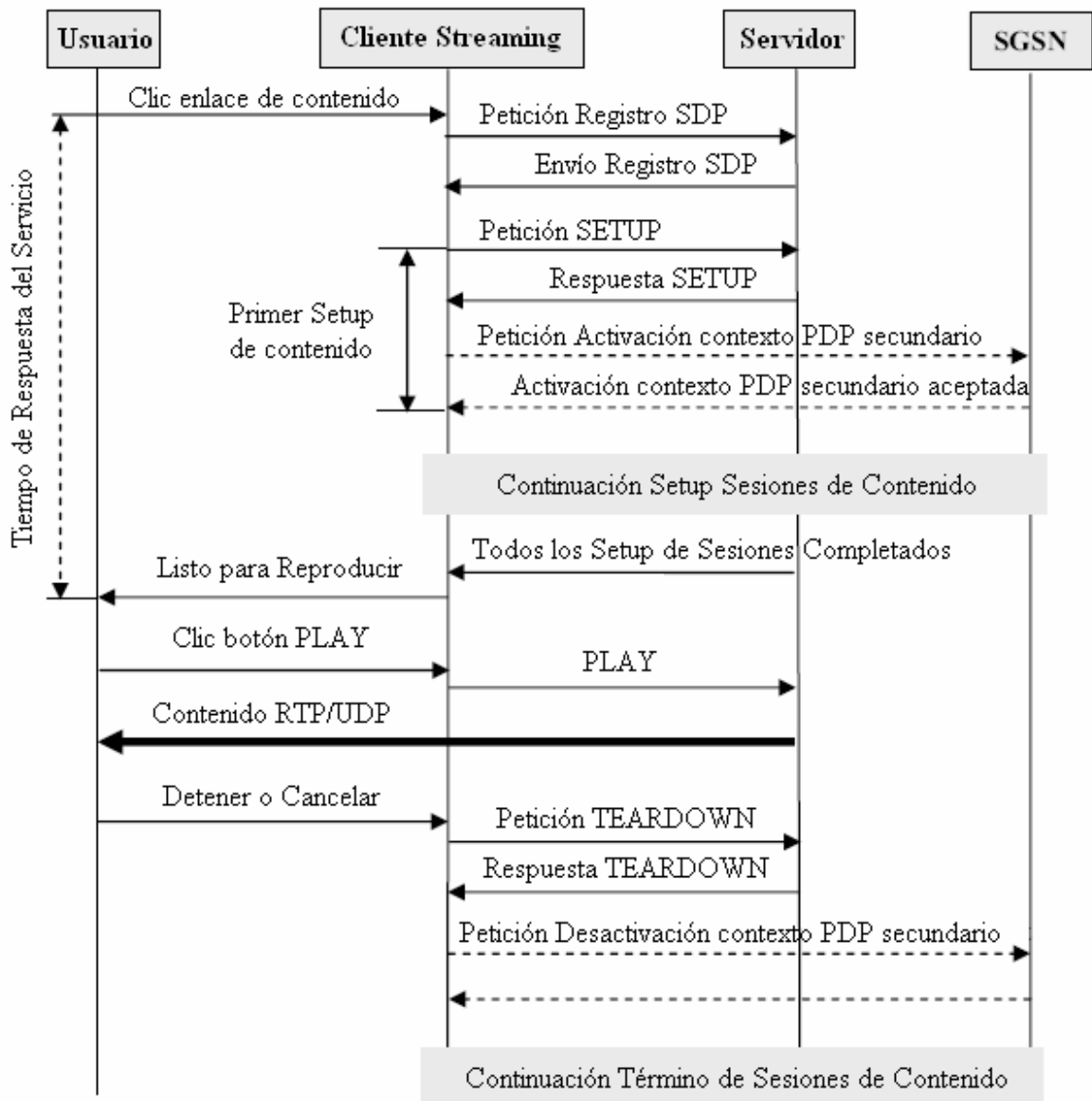


Figura 2.5. Flujo de mensajes servicio de Streaming.

2.9 La Tecnología WCDMA y su Estado de Desarrollo.

La tecnología de Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha o *Wideband Code Division Multiple Access* (WCDMA) es la tecnología móvil inalámbrica de tercera generación que aumenta las tasas de transmisión de datos de los sistemas GSM utilizando la interfaz aérea CDMA en lugar de TDMA (*Acceso Múltiple por División de Tiempo*) y por ello ofrece velocidades de datos mucho más altas en dispositivos inalámbricos móviles y portátiles.

WCDMA soporta de manera satisfactoria una tasa transferencia de datos que va de 144 hasta 512 Kbps para áreas de cobertura amplias pudiendo llegar hasta los 2Mbps para mayor cobertura en áreas locales. En sistemas de WCDMA la interfaz aérea de CDMA se combina con

las redes basadas en GSM. El estándar de WCDMA fue desarrollado como el proyecto de la 3GPP que apunta a asegurar interoperabilidad entre diversas redes 3G.

El estándar que ha surgido con este proyecto de la sociedad 3GPP, se basa en el sistema móvil universal de telecomunicación de ETSI (*Universal Mobile Telecommunications System*, UMTS) y se conoce comúnmente como acceso de radio terrestre de UMTS (UTRA). El esquema del acceso para UTRA es el acceso múltiple por división de códigos por espectro expandido en secuencia directa (DS-SS-SSA). La información se extiende por una ventana de aproximadamente 5 MHz. Este ancho de banda amplia es el que ocupa un canal Wideband CDMA o WCDMA.

En WCDMA, existen dos modos de operación:

- TDD: En este método bidireccional, las transmisiones de los enlaces ascendente y descendente son transportadas en la misma banda de frecuencia usando intervalos de tiempo (slots de trama) de forma síncrona. Así las ranuras de tiempo en un canal físico se asignan para los flujos de datos de transmisión y de recepción.
- FDD: Los enlaces de las transmisiones de subida y de bajada emplean dos bandas de frecuencia separadas para este método a dos caras. Un par de bandas de frecuencia con una separación especificada se asigna para cada enlace. Puesto que diversas regiones tienen diversos esquemas de asignación de la frecuencia, la capacidad de funcionar en modo de FDD o TDD permite la utilización eficiente del espectro disponible.

La primera red WCDMA fue implementada en el año 2002. Para fines del año 2005 ya había alrededor de cien redes WCDMA y más de ciento cincuenta operadores con licencias para operar bajo esta tecnología. Las redes WCDMA están implementadas en la banda de los 2GHz del sistema UMTS en Europa y Asia incluyendo a Japón y Corea. En América está implementada en el espectro existente de 850 y 1900 MHz. El número de usuarios de WCDMA en el mundo fue de 17 millones a fines del año 2004 y sobre 50 millones en febrero de 2006 [6]. Este crecimiento se ilustra en la siguiente figura.

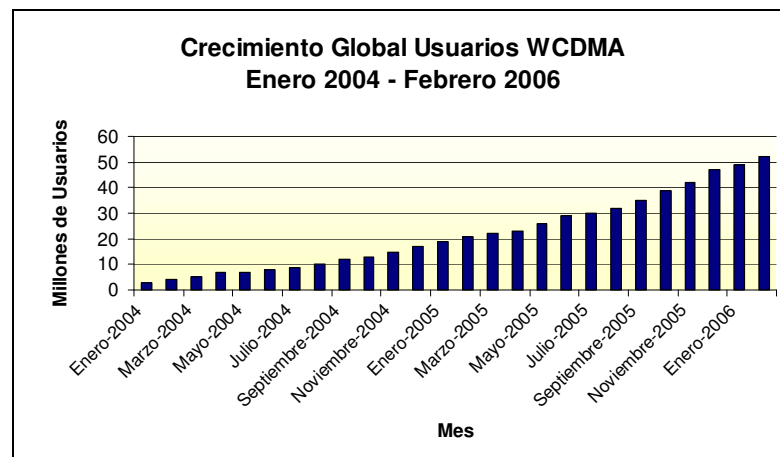


Gráfico 2.2. Crecimiento global usuarios WCDMA.

2.10 HSPA, High Speed Packet Access.

High-Speed Packet Access (HSPA) es la combinación de tecnologías posteriores y complementarias a la 3ª generación de telefonía móvil (3G), como son *High-Speed Downlink Packet Access* (HSDPA) y *High-Speed Uplink Packet Access* (HSUPA).

HSDPA fue estandarizado como parte del Release 5³ de la 3GPP con su primera especificación en Marzo de 2002, por su parte HSUPA fue parte del Release 6⁴ de la 3GPP con su primera especificación en Diciembre de 2004. HSDPA y HSUPA en conjunto son llamados HSPA. Las primeras redes comerciales de HSDPA estuvieron disponibles a fines de 2005 y las de HSUPA en el año 2007 [6]. Los primeros terminales HSDPA permitían throughputs de 1.8 Mbps llegando hasta 3.6 y 7.2 Mbps durante los años 2006 y 2007 respectivamente. Para HSUPA se presentan tasas de entre 1 y 2 Mbps.

HSPA es implementado sobre las redes WCDMA utilizando la misma portadora o usando otra portadora para una mayor capacidad. En ambos casos HSPA y WCDMA pueden compartir todos los elementos de la red interna y de la red de radio incluyendo estaciones base, Radio Network Controller (RNC), Serving GPRS Support Node (SGSN) y Gateway GPRS Support Node (GGSN). HSPA y WCDMA también comparten los sitios de las estaciones base y las antenas.

El paso de WCDMA a HSPA requiere de nuevo software y nuevos elementos de hardware en estaciones base y RNC para soportar los mayores volúmenes de transferencia de data. Debido a la infraestructura en común de HSPA y WCDMA, el costo de implementar HSPA es bastante bajo comparado al de implementar una nueva red independiente.

El desempeño del sistema de radio define cuan bien las aplicaciones podrán ser usadas sobre la red. Parámetros clave de este desempeño incluyen a la tasa de transferencia y la latencia de la red. Existen algunas aplicaciones que no requieren de altas tasas de transferencia pero si necesitan de un bajo delay, tal es el caso de voz sobre IP (VoIP) y juegos en tiempo real. Por otro lado el tiempo de descarga de un archivo de gran tamaño está definido por la máxima tasa de transferencia sin importar la latencia. Típicamente GPRS provee tasas de entre 30 y 40 kbps con una latencia de 600 ms. EGPRS aumenta el throughput de GPRS unas 3 a 4 veces reduciendo además la latencia por debajo de los 300 ms, estas condiciones permitieron un buen rendimiento de aplicaciones como navegación WAP.

WCDMA permite un throughput máximo de 384 kbps y una latencia entre 100 y 200 ms, factores que hacen que el acceso a Internet se acerque a lo que es una conexión DSL lenta, proveyendo buenas condiciones para el desempeño de la mayoría de las aplicaciones que usan el protocolo IP y requieren una baja latencia.

³ http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/TSG_RAN/TSGR_20/Docs/PDF/RP-030375.pdf

⁴ <http://www.3gpp.org/article/release-6>

HSPA eleva la tasa de transferencia hasta 1 a 2 Mbps en la práctica e incluso 3 Mbps en condiciones ideales. Además disminuye la latencia por debajo de los 100 ms haciendo de la experiencia de usuario algo similar a lo que ofrece una conexión fija DSL. No se requiere esfuerzo alguno para adaptar las aplicaciones de Internet al ambiente móvil. Esencialmente HSPA es un acceso de banda ancha con una movilidad fluida y extensa cobertura. La evolución de la capacidad de radio desde GPRS hasta HSPA se ilustra en la siguiente figura.

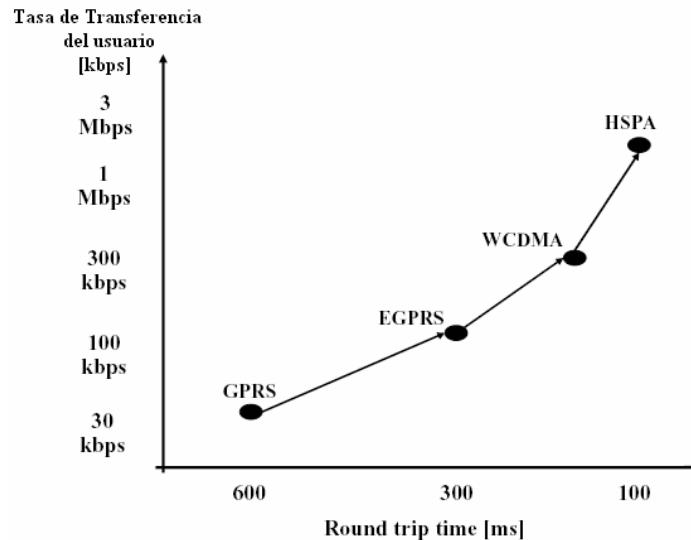


Gráfico 2.3. Evolución capacidad de radio.

HSPA fue inicialmente diseñado para soportar servicios de altas tasas de transferencia pero no de tiempo real, sin embargo, HSPA puede proveer condiciones para servicios de pequeña tasa de transferencia y baja latencia como Voz sobre IP y otras similares.

2.11 Situación Actual Banda Ancha Móvil en Chile.

Actualmente el servicio de Banda Ancha Móvil en Chile se encuentra en pleno crecimiento, esto ha sido posible gracias a las redes de tercera generación de los tres operadores de telefonía móvil del país, Entel, Movistar y Claro. La implementación de la tecnología HSDPA en estas redes de tercera generación ha permitido alcanzar velocidades superiores a 1 Mbps haciendo más atractivo este producto a usuarios que buscan la movilidad en sus conexiones pero también requieren tasas de transferencia adecuadas para las distintas aplicaciones que pueden utilizarse a través de una conexión de datos, y también a otros usuarios que por distintos motivos no pueden acceder a una conexión fija.

Los tres operadores ofrecen en parte este servicio a través de módems USB mediante planes de datos o en la modalidad de prepago. Uno de los tipos de plan son los llamados planes controlados, con los cuales se puede traficar datos hasta un cierto volumen al mes, una vez completado dicho volumen el usuario no puede seguir ocupando el servicio y debe pagar un monto adicional para seguir utilizándolo. El otro tipo de plan es el ilimitado con el cual el usuario puede traficar datos a una determinada velocidad hasta un cierto volumen de datos mensual,

luego de ocupar ese volumen el usuario puede continuar haciendo uso del servicio pero a una velocidad menor. En la modalidad de prepago el cliente cancela por el servicio de acuerdo a lo que este requiera, puede comprar bolsas de tiempo en el cual puede navegar sin límite de tráfico, puede pagar por traficar una cantidad específica de datos (tipo cuenta controlada) y hasta pagar una tarifa por Mbyte traficado.

Este servicio es ofrecido en la mayoría de las principales ciudades del país con una distribución aproximada de 58 % en la Región Metropolitana y un 42 % en el resto de las regiones. En cuanto al tipo de usuarios se tiene aproximadamente un 60 % que representa a usuarios particulares y un 40 % que corresponde a empresas esto a diciembre de 2008⁵. A continuación se presenta la estadística del número de conexiones a Internet móvil usando tecnología de tercera generación para los meses de Enero a Julio del presente año 2009 según la Subsecretaría de Telecomunicaciones.

Tabla 2. Estadística de conexiones a Internet con tecnología 3G.

Conexiones con Tecnología 3G				
Mes	Contrato	Prepago	Postpago	Total de conexiones 3G
Enero	146.740	13.825	5.111	165.676
Febrero	151.776	15.091	4.441	171.308
Marzo	170.811	16.706	3.308	190.825
Abril	179.302	29.045	7.002	215.349
Mayo	224.041	37.177	10.502	271.720
Junio	247.969	57.864	15.893	321.726
Julio	278.195	25.162	39.977	343.334

La mayor alza se presentó en el servicio de Banda Ancha Móvil contratada, creciendo sostenidamente en más de cien mil conexiones desde Enero a Julio. En términos generales las conexiones a través de las tecnologías de tercera generación crecieron en un 107,23% en el mismo período.

2.12 Aporte del Trabajo de Título.

En lo que respecta al desarrollo de aplicaciones para el monitoreo de la Calidad de Servicio existe un gran número de productos comerciales para la supervisión de redes móviles. Estos permiten ver estadísticas sobre el desempeño de la red mediante el análisis de indicadores tales como la disponibilidad de servicio, tasas de transferencia y tráfico en la red. Estos productos se pueden acomodar a las necesidades particulares de un proveedor de servicios. Un ejemplo de este tipo de productos es *Nemo Outdoor*, mencionado anteriormente.

⁵ http://www.acti.cl/userfiles/file/Documentos%20E-Biblioteca/2008_Sem2_Ene09.pdf

Por otro lado existen productos un poco más específicos orientados a plataformas determinadas, un ejemplo de esto es la empresa Exomi (hoy parte de Real Networks), la cual es un proveedor reconocido de soluciones y plataformas de entrega para servicios SMS, MMS y WAP. Todas estas soluciones de carácter comercial son muy complejas en estructura mezclando grandes desarrollos de software como sofisticados equipos de Hardware.

El aporte de este trabajo de título es que en base a herramientas de código abierto se podrá medir la performance del servicio de banda ancha móvil a nivel de aplicación y desde la perspectiva del usuario común, con un desarrollo de software simple y fácil de implementar usando una máquina que haga de servidor y computadores corrientes como notebooks o de escritorio.

A través de esta plataforma se podrá evaluar este servicio en base a la simulación de la actividad de un usuario común enfocándose en la calidad de experiencia sin tener que incurrir en gastos relacionados con licencias o de soporte gracias al uso de herramientas de código abierto.

3

Implementación

3.1 Objetivos.

Como objetivo principal está monitorear el servicio de banda ancha móvil a través de módems USB desde la perspectiva de un usuario común pudiendo así, establecer el nivel de calidad de experiencia. Al ser éste un concepto subjetivo se desarrollaron pruebas de rendimiento para obtener valores objetivos los cuales se traducen en indicadores que reflejaran esta calidad.

Como se intenta analizar la perspectiva de un usuario común, se simula el uso del servicio de banda ancha móvil tal como éste lo haría, tratando de no influir de ninguna manera en la medición de datos. Debido a que los usos de este servicio pueden ser muy diversos, se analizan los procesos más influyentes en este servicio, como así también los contenidos más solicitados por los usuarios, datos obtenidos a través de equipos que forman parte de la red Movistar.

Un objetivo adicional es el poder realizar una comparación con el servicio entregado por los otros operadores de telefonía móvil, por ende las pruebas de rendimiento y los indicadores generados deberán ser transparentes al operador con que se realizan las pruebas de rendimiento, de esta forma se podrá tener una visión de la calidad que está entregando la competencia, realizando lo que se conoce como benchmarking.

Para cumplir con estos propósitos se desarrolló una plataforma que permite tomar muestras del comportamiento del servicio, almacenarlas en una base de datos y posteriormente generar gráficos a partir de estos datos para así realizar el monitoreo de forma continua del servicio de banda ancha móvil. El sistema debe ser multiplataforma, por un lado debe aceptar muestras adquiridas en máquinas con distintos sistemas operativos, y además debe poder ser utilizada sin necesitar grandes requerimientos estando contenida completamente en un servidor único.

Otro aspecto importante es el uso exclusivo de herramientas de código libre en el desarrollo completo de la plataforma, lo cual se traduce en ahorro de costos de licencias y la existencia de comunidades de desarrollo como características más importantes.

3.2 Herramientas de Hardware Utilizadas.

A continuación se describen las herramientas de Hardware facilitadas para el desarrollo de la plataforma, estas corresponden al servidor que contiene la base de datos y la interfaz de usuario, un computador de escritorio para el desarrollo del software y realizar pruebas y los módems USB para realizar las mediciones.

3.2.1 Servidor Dell Power Edge 850.

El Dell Power Edge 850 es un servidor de infraestructura y web asequible para todos los tamaños de empresas. Una mayor opción de procesadores y capacidad de memoria maximiza la flexibilidad en una variedad de aplicaciones. Nueva tecnología de doble núcleo: La tecnología de doble núcleo combina dos unidades de procesamiento en un único chip de procesador. Esto está diseñado para aumentar el rendimiento y la eficacia de potencia comparado con los procesadores de núcleo único, sobre todo al ejecutar varias aplicaciones en un único servidor como: controlador de dominio del servidor web y servidor de infraestructura de caché y cortafuegos.



Figura 3.1. Servidor Dell Power Edge 850.

Este equipo se utilizó como servidor central, alojando la base de datos, los respaldos de las mediciones y la aplicación que permite visualizar los datos registrados. Su nombre de máquina es Nemesis.

3.2.2 Computador HP COMPAQ d220 MT.

Como equipo de medición se ocupó la computadora de escritorio empresarial HP Compaq d220, en el cual se instaló el sistema operativo GNU/Linux con la distribución Ubuntu. Además se instalaron los drivers necesarios para permitir el funcionamiento de los módems USB que se utilizan para realizar las mediciones. Como características principales de este equipo destacan las siguientes:

Procesador	: Intel® Pentium 4 de 2.8 GHz
Memoria Caché	: 512 KB de memoria caché integrada
Bus del sistema	: 533 MHz Bus de Sistema
Memoria RAM	: 256MB DDR 333Mhz (1 x 256)
Disco Duro	: 40GB Ultra DMA 7200 rpm
Puertos	: 6 puertos USB 2.0, 1 Serial, 1 Paralelo, 2 PS/2, 1RJ-45 y 1 VGA
Tarjeta de Red	: Conexión integrada de red Broadcom 10/100 con WOL



Figura 3.2. Computador HP Compaq d220 MT.

Este equipo fue utilizado además en el desarrollo de la plataforma, tanto de las pruebas de medición, la base de datos y la interfaz de usuario.

3.2.3 Módems HSDPA.

Son dispositivos de acceso HSDPA los cuales utilizan la interfaz USB (*Universal Serial Bus*). A través de ellos es posible acceder inalámbricamente a Internet empleando redes de telefonía móvil 3.5G (HSDPA), 3G (UMTS), y 2G (GPRS, EDGE, GSM).

Aparte de tener una antena celular, poseen además una memoria interna. En esta memoria, los módems pueden contener un programa de marcación 3G escrito por el operador móvil. Están pensados para funcionar principalmente con los sistemas operativos Microsoft Windows y Mac OS X, sin embargo, también pueden ser usados con algunas distribuciones de Linux.

Uno de los módems utilizados es el modelo E226 (Figura 3.3) de la empresa Huawei, el cual se conecta al ordenador mediante un cable estándar Mini USB. El dispositivo viene con dos cables, uno largo y otro corto. El largo tiene dos interfaces USB A, una utilizada para los datos y la corriente y la otra es opcional sólo para corriente de asistencia para el caso de que el ordenador no sea capaz de proporcionar completamente los 500 mA (miliamperes) requeridos por el dispositivo para trabajar desde una interfaz USB solamente.



Figura 3.3. Módem Usb Huawei E226.

El software de conexión de Huawei que aparece en la siguiente figura se llama *Mobile Partner*.

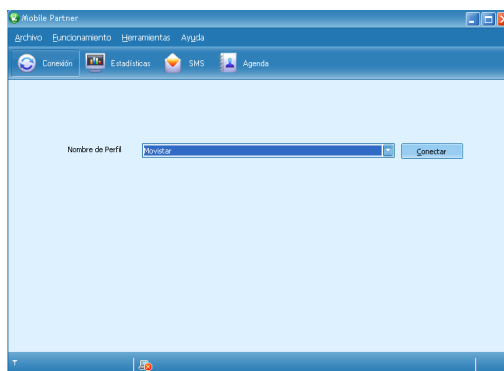


Figura 3.4. Software de conexión Mobile Partner.

El Huawei E226 es ofrecido comercialmente por las empresas Movistar y Claro, se ocupó tanto para las pruebas de benchmarking a lo largo del país como para las de monitoreo continuo.

El otro módem empleado en las mediciones es el MD300 de Sony Ericsson. Se puede conectar directamente a un computador en un puerto USB, pudiendo también ser conectado mediante un cable USB doble al igual que el Huawei E226 en caso de necesitar mayor corriente para funcionar. También posee una memoria interna donde se almacenan los drivers para su funcionamiento y su software de conexión *Wireless Manager* que se puede ver en la siguiente figura.

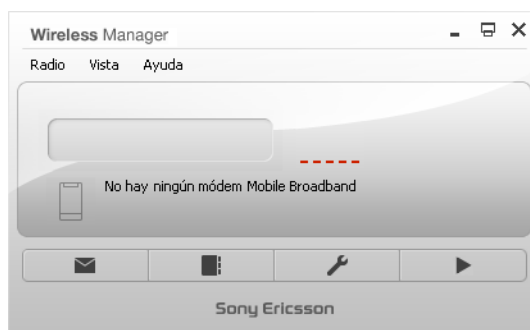


Figura 3.5. Software de conexión Wireless Manager.

Funciona normalmente con sistemas operativos Microsoft Windows y MAC OS X aunque también es posible utilizarlo con algunas distribuciones Linux. Es ofrecido comercialmente por ENTEL.



Figura 3.6. Módem Usb Sony Ericsson MD300.

En ambos módems se ocuparon tarjetas SIM (*Subscriber Identify Module*) cuyos perfiles de usuario correspondían al más alto ofrecido por cada operador móvil es decir, el llamado “Plan Ilimitado”.

3.3 Herramientas de Software Utilizadas.

Para el desarrollo de las distintas partes de la plataforma se ocuparon varias herramientas de código abierto, estas son descritas a continuación.

3.3.1 Ubuntu Linux.

Ubuntu es una distribución GNU/Linux que ofrece un sistema operativo orientado principalmente a computadoras personales, aunque también proporciona soporte para servidores. Es una de las más importantes distribuciones de GNU/Linux a nivel mundial. Se basa en Debian GNU/Linux y concentra su objetivo en la facilidad y libertad de uso, la fluida instalación y los lanzamientos regulares (cada seis meses: las versiones .04 en abril y las .10 en octubre). El principal patrocinador es Canonical Ltd., una empresa privada fundada y financiada por el empresario sudafricano Mark Shuttleworth.

El nombre de la distribución proviene del concepto zulú y xhosa de *Ubuntu*, que significa "humanidad hacia otros" o "yo soy porque nosotros somos". El sudafricano Mark Shuttleworth, mecenas del proyecto, se encontraba muy familiarizado con dicho concepto. Tras ver similitudes entre los ideales de los proyectos GNU, Debian y en general con el movimiento del software libre, decidió aprovechar la ocasión para difundir los ideales de *Ubuntu*. El eslogan de la distribución “Linux para seres humanos” resume una de sus metas principales: hacer de GNU/Linux un sistema operativo más accesible y fácil de usar [11].

3.3.2 Php.

PHP es un lenguaje de programación interpretado, diseñado originalmente para la creación de páginas web dinámicas. Es usado principalmente en interpretación del lado del servidor

(server-side scripting) pero actualmente puede ser utilizado desde una interfaz de línea de comandos o en la creación de otros tipos de programas incluyendo aplicaciones con interfaz gráfica usando las bibliotecas Qt o GTK+.

PHP es un acrónimo recursivo que significa *PHP Hypertext Pre-processor* (inicialmente PHP Tools, o, *Personal Home Page Tools*). Fue creado originalmente por Rasmus Lerdorf en 1994; sin embargo la implementación principal de PHP es producida ahora por The PHP Group y sirve como el estándar de facto para PHP al no haber una especificación formal. Publicado bajo la PHP License, la Free Software Foundation considera esta licencia como software libre [7].

PHP es un lenguaje interpretado de propósito general ampliamente usado y que está diseñado especialmente para desarrollo web y puede ser incrustado dentro de código HTML. Generalmente se ejecuta en un servidor web, tomando el código en PHP como su entrada y creando páginas web como salida. Puede ser desplegado en la mayoría de los servidores web y en casi todos los sistemas operativos y plataformas sin costo alguno. PHP se encuentra instalado en más de 20 millones de sitios web y en un millón de servidores. Es también el módulo Apache más popular entre las computadoras que utilizan Apache como servidor web. La versión más reciente de PHP es la 5.2.9-1 (for Windows) al 10 de Marzo de 2009. El gran parecido que posee PHP con los lenguajes más comunes de programación estructurada, como C y Perl, permiten a la mayoría de los programadores crear aplicaciones complejas con una curva de aprendizaje muy corta. También les permite involucrarse con aplicaciones de contenido dinámico sin tener que aprender todo un nuevo grupo de funciones.

Cuando el cliente hace una petición al servidor para que le envíe una página web, el servidor ejecuta el intérprete de PHP. Éste procesa el script solicitado que generará el contenido de manera dinámica (por ejemplo obteniendo información de una base de datos). El resultado es enviado por el intérprete al servidor, quien a su vez se lo envía al cliente. Mediante extensiones es también posible la generación de archivos PDF, Flash, así como imágenes en diferentes formatos. Permite la conexión a diferentes tipos de servidores de bases de datos tales como MySQL, Postgres, Oracle, ODBC, DB2, Microsoft SQL Server, Firebird y SQLite.

PHP también tiene la capacidad de ser ejecutado en la mayoría de los sistemas operativos, tales como UNIX (y de ese tipo, como Linux o Mac OS X) y Windows, y puede interactuar con los servidores web más populares ya que existe en versión CGI, módulo para Apache, e ISAPI.

PHP es una alternativa a las tecnologías de Microsoft ASP y ASP.NET (que utiliza C# VB.NET como lenguajes), a ColdFusion de la compañía Adobe (antes Macromedia), a JSP/Java de Sun Microsystems, y a CGI/Perl. Aunque su creación y desarrollo se da en el ámbito de los sistemas libres, bajo la licencia GNU, existe además un IDE (entorno de desarrollo integrado) comercial llamado Zend Studio. Recientemente, CodeGear (la división de lenguajes de programación de Borland) ha sacado al mercado un entorno integrado de desarrollo para PHP, denominado Delphi for PHP. Existe un módulo para Eclipse, uno de los IDE más populares.

Ventajas:

- Es un lenguaje multiplataforma.
- Capacidad de conexión con la mayoría de los manejadores de base de datos que se utilizan en la actualidad, destaca su conectividad con MySQL.
- Capacidad de expandir su potencial utilizando la enorme cantidad de módulos (llamados extensiones).
- Posee una amplia documentación en su página oficial⁶, en la cual todas las funciones del sistema están explicadas y ejemplificadas con un foro de ayuda.
- Es libre, por lo que se presenta como una alternativa de fácil acceso para todos.
- Permite las técnicas de Programación Orientada a Objetos.
- Biblioteca nativa de funciones sumamente amplia e incluida.
- No requiere definición de tipos de variables.
- Tiene manejo de excepciones (desde PHP5).

3.3.3 MySQL

Es un sistema de gestión de base de datos relacional, multihilo y multiusuario con más de seis millones de instalaciones. MySQL AB —desde enero de 2008 una subsidiaria de Sun Microsystems y ésta a su vez de Oracle Corporation desde abril de 2009— desarrolla MySQL como software libre en un esquema de licenciamiento dual.

Por un lado se ofrece bajo la GNU GPL para cualquier uso compatible con esta licencia, pero para aquellas empresas que quieran incorporarlo en productos privativos deben comprar a la empresa una licencia específica que les permita este uso. Está desarrollado en su mayor parte en ANSI C.

Al contrario de proyectos como Apache, donde el software es desarrollado por una comunidad pública y el copyright del código está en poder del autor individual, MySQL es propietario y está patrocinado por una empresa privada, que posee el copyright de la mayor parte del código.

Esto es lo que posibilita el esquema de licenciamiento anteriormente mencionado. Además de la venta de licencias privativas, la compañía ofrece soporte y servicios. Para sus operaciones contratan trabajadores alrededor del mundo que colaboran vía Internet. MySQL AB fue fundado por David Axmark, Allan Larsson y Michael Widenius [8].

MySQL es muy utilizado en aplicaciones web, como Drupal o phpBB, en plataformas (Linux/Windows-Apache-MySQL-PHP/Perl/Python), y por herramientas de seguimiento de

⁶ <http://www.php.net/>

errores como Bugzilla. Su popularidad como aplicación web está muy ligada a PHP, que a menudo aparece en combinación con MySQL. MySQL es una base de datos muy rápida en la lectura cuando utiliza el motor no transaccional MyISAM, pero puede provocar problemas de integridad en entornos de alta concurrencia en la modificación. En aplicaciones web hay baja concurrencia en la modificación de datos y en cambio el entorno es intensivo en lectura de datos, lo que hace a MySQL ideal para este tipo de aplicaciones.

3.3.4 Servidor HTTP Apache.

El servidor HTTP Apache es un servidor web HTTP de código abierto para plataformas Unix (BSD, GNU/Linux, etc.), Windows, Macintosh y otras, que implementa el protocolo HTTP/1.1 y la noción de sitio virtual. Cuando comenzó su desarrollo en 1995 se basó inicialmente en código del popular NCSA HTTPd 1.3, pero más tarde fue reescrito por completo.

El servidor Apache se desarrolla dentro del proyecto HTTP Server (httpd) de la Apache Software Foundation. Apache presenta entre otras características mensajes de error altamente configurables, bases de datos de autenticación y negociado de contenido, pero fue criticado por la falta de una interfaz gráfica que ayude en su configuración.

Apache tiene amplia aceptación en la red: desde 1996, Apache, es el servidor HTTP más usado. Alcanzó su máxima cuota de mercado en 2005 siendo el servidor empleado en el 70% de los sitios web en el mundo, sin embargo ha sufrido un descenso en su cuota de mercado en los últimos años [9].

La mayoría de las vulnerabilidades en la seguridad descubiertas y resueltas tan sólo pueden ser aprovechadas por usuarios locales y no remotamente. Sin embargo, algunas se pueden accionar remotamente en ciertas situaciones, o explotar por los usuarios locales malévolos en las disposiciones de recibimiento compartidas que utilizan PHP como módulo de Apache.

Ventajas:

- Modular.
- Open source.
- Multi-plataforma.
- Extensible.
- Popular (fácil conseguir ayuda/soporte).

Apache es usado primariamente para enviar páginas web estáticas y dinámicas en la World Wide Web. Muchas aplicaciones web están diseñadas asumiendo como ambiente de implantación a Apache, o que utilizarán características propias de este servidor web.

Apache es el componente de servidor web en la popular plataforma de aplicaciones LAMP, junto a MySQL y los lenguajes de programación PHP/Perl/Python (y ahora también Ruby). Este servidor web es redistribuido como parte de varios paquetes propietarios de software, incluyendo la base de datos Oracle y el IBM WebSphere application server. Mac OS X integra apache como parte de su propio servidor web y como soporte de su servidor de aplicaciones WebObjects. Es soportado de alguna manera por Borland en las herramientas de desarrollo Kylix y Delphi. Apache es incluido con Novell NetWare 6.5, donde es el servidor web por defecto, y en muchas distribuciones Linux.

Apache es usado para muchas otras tareas donde el contenido necesita ser puesto a disposición en una forma segura y confiable. Un ejemplo es al momento de compartir archivos desde una computadora personal hacia Internet. Un usuario que tiene Apache instalado en su escritorio puede colocar arbitrariamente archivos en la raíz de documentos de Apache, desde donde pueden ser compartidos. Los programadores de aplicaciones web a veces utilizan una versión local de Apache en orden de previsualizar y probar código mientras éste es desarrollado.

Microsoft Internet Information Services (IIS) es el principal competidor de Apache, así como Sun Java System Web Server de Sun Microsystems y un anfitrión de otras aplicaciones como Zeus Web Server. Algunos de los más grandes sitios web del mundo están ejecutándose sobre Apache. La capa frontal (front end) del motor de búsqueda Google está basada en una versión modificada de Apache, denominada Google Web Server (GWS). Muchos proyectos de Wikimedia también se ejecutan sobre servidores web Apache.

3.3.5 Open Flash Chart.

Es un proyecto de código libre que permite generar gráficos a través un objeto flash pudiendo ser embebido en una página web. Permite crear múltiples tipos de gráficos entre los que se encuentran los de barras, de líneas, de área y de torta.

Cuenta con librerías escritas en varios códigos de desarrollo como son Php, Perl, Python, Ruby, .NET, JAVA y C. En estas librerías se encuentran las clases y objetos que permiten generar de forma dinámica todos los aspectos de un gráfico: los datos, los ejes, el título, etc. Para cargar toda la información al objeto flash se utiliza una notación especial de Javascript llamada JavaScript Object Notation o JSON, el cual representa un formato ligero para el intercambio de datos. Mediante esta notación se representan los aspectos de un gráfico mencionados anteriormente como se aprecia en el siguiente ejemplo de código JSON.

```

{
  "elements": [
    { "type": "line", "values": [ 1, 2, 1 ] }
  ],
  "title":
    { "text": "Gráfico de Muestra" }
}

```

Figura 3.7. Ejemplo de código JSON usado por Open Flash Chart.

En el ejemplo se aprecia como se especifican un gráfico de línea con valores 1, 2, y 1 que lleva por título: “Gráfico de Muestra”. Este es uno de los ejemplos más básicos de código JSON para crear un gráfico y al ser cargado en el objeto flash, produciría el siguiente gráfico.

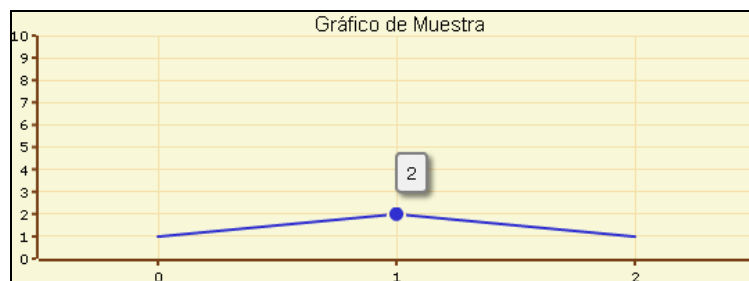


Figura 3.8. Gráfico generado con Open Flash Chart.

Actualmente se encuentra disponible la versión 2 de este proyecto en su página oficial⁷, en la cual se suben actualizaciones del proyecto cada tres meses aproximadamente además de proveer tutoriales y un foro de ayuda.

3.3.6 Xajax.

Es una biblioteca de código abierto en PHP capaz de generar aplicaciones Web con tecnología AJAX. Xajax utiliza una forma de trabajo de funciones, designando qué funciones de código PHP se convierten en funciones AJAX.

AJAX se ha convertido en una de las tecnologías más populares para la creación de aplicaciones Web dinámicas. Por tal razón hay una gran cantidad de bibliotecas y *frameworks*

⁷ <http://teethgrinder.co.uk/open-flash-chart-2/>

que nos permiten hacer uso de esta tecnología de una manera sencilla y cómoda. Algunos de ellos son Prototype, ScriptAculous, Google Web Toolkit (GWT) y Xajax entre otros.

Uno de los inconvenientes más comunes a la hora de diseñar una interfaz de aplicación Web es que una vez que la página se ha descargado en el cliente, la conexión con el servidor se corta. Cualquier intento de dinamismo en la interfaz por parte del cliente requiere una comunicación con el servidor para la recarga (proceso que tiende a convertir la aplicación poco elegante y lenta).

En el modelo tradicional de aplicaciones Web el usuario envía una petición al servidor requiriendo una página, la cual es construida y enviada al navegador. Esta página incluye un formulario HTML para capturar datos del usuario. Una vez que el usuario reenvía los datos al servidor, la siguiente página será generada y enviada dependiendo del valor de dichos datos, y así el proceso continúa. Supongamos una aplicación de escritorio para el registro de un número de serie. Según convenga, puede plantearse de diversas formas, una vez hemos terminado de rellenar los correspondientes cuadros de texto con los caracteres del código, podríamos hacer aparecer un *tick* verde a la derecha indicando que hemos introducido un código válido. Tan pronto como se introduce el código, la aplicación puede comprobar su validez y responder.

En contraste con el ejemplo anterior pero esta vez orientado en una interfaz Web. Por supuesto, todos los cuadros de textos donde introducir el código serán idénticos, pero al rellenarlos, el usuario tendrá que enviar esos datos al servidor para que éste valide el código. Una nueva página será entonces cargada informando del éxito o fracaso de la operación, y en caso de fallo, el usuario tendrá que volver atrás e intentarlo de nuevo cuantas veces sea necesario. Una solución a estos problemas se presenta con el objeto *XMLHttpRequest*. Este objeto, ahora disponible como objeto nativo tanto en Firefox como en otros navegadores existentes, permite a JavaScript realizar peticiones al servidor remoto sin la necesidad de recargar la página. En esencia, pueden realizarse peticiones y recibir respuestas HTTP completamente en segundo plano y sin que el usuario experimente ninguna interrupción visual.

Con la introducción de AJAX (*Ashynchronous JavaScript And XML*) en aplicaciones Web el manejo del objeto *XMLHttpRequest* se hace mucho más sencillo. Cuando el usuario interactúa con la Web y genera un suceso, se crea y configura un objeto *XMLHttpRequest*, que posteriormente realiza una llamada al servidor solicitando el manejo de ese evento. La petición se procesa en el servidor y retorna una respuesta que puede ser un documento XML, texto plano, JavaScript, etc. que contienen el resultado de dicha petición. Luego el objeto *XMLHttpRequest* llama a la función *callback()* para procesar el resultado y finalmente se actualiza el DOM (*Documen Object Model*) de la página con la petición dependiendo del resultado devuelto. De esta manera AJAX permite que la velocidad de navegación y dinamismo incrementen notablemente, dando como resultado aplicaciones web rápidas y fáciles de usar.

Xajax es una biblioteca de código abierto para PHP que permite crear de manera fácil y simple aplicaciones web basadas en AJAX usando además HTML, CSS, y Javascript. Las aplicaciones desarrolladas con Xajax pueden comunicarse asincrónicamente con funciones que se

encuentran del lado del servidor y así actualizar el contenido de una página sin tener que recargarla nuevamente, su última versión es la 0.5 Final que cambia ligeramente comparado con las versiones anteriores 2.5.x y anteriores.

3.4 Diseño de Plataforma.

Las mediciones realizadas a través de la plataforma se dividen en cuatro grandes grupos de acuerdo a la forma en que éstas se realizan. Estos grupos se denominan: De referencia, Benchmarking, Benchmarking Automático y Monitoreo.

3.4.1 Mediciones de Referencia.

Se realizan con un computador conectado a Internet mediante una conexión por cable o fija. De esta manera se tiene un reflejo del estado de las distintas aplicaciones que pueden utilizar los usuarios permitiendo notar cuando fallan los distintos proveedores de contenido evitando atribuirle dicho fallo al servicio de banda ancha móvil. Las mediciones son realizadas de forma automática periódicamente.

3.4.2 Mediciones de Benchmarking.

Se utilizan módems correspondientes a los tres operadores móviles: Entel, Movistar y Claro. El perfil de usuario asignado a las SIM Card de los módems es el mayor ofrecido por cada operador y corresponde al denominado banda ancha ilimitada. Las mediciones se realizan en más de 100 puntos geográficos a lo largo del país los cuales corresponden a los puntos con mayor tráfico de datos. Un operario de red se traslada con un notebook y los distintos módems al punto de medición. Una vez ubicado, el operador conecta un módem y ejecuta un script que de forma automática realiza las distintas pruebas que comprenden la medición, al terminar, se retira el módem y se repite el mismo proceso con los otros módems.

Este tipo de medición se realiza una vez al mes debido al número de puntos que deben ser cubiertos y a que se cuenta con una cantidad limitada de quince módems para hacer las mediciones. Se agrega el hecho de que en la gran mayoría de los puntos es imposible ubicar una máquina que realice mediciones automáticas ya que son lugares públicos con alta afluencia de gente.

3.4.3 Mediciones de Benchmarking Automático.

También se utilizan módems de los tres operadores, sin embargo, éstos están conectados simultáneamente a un computador y realizan mediciones automáticas en forma periódica alternando el módem que se ocupa. Los computadores que realicen este tipo de

mediciones se ubican en lugares donde exista un enlace que permita la transferencia de los archivos con datos al servidor que almacena la información. Gracias a estas mediciones es posible tener una visión del servicio de banda ancha móvil en distintos horarios del día, los siete días de la semana pudiendo hacer comparaciones cuando se tienen distintos tipos de tráfico como son las horas cargadas y los fines de semana por ejemplo.

3.4.4 Mediciones de Monitoreo.

Son realizadas a través de un solo módem conectado a un computador realizando mediciones automáticas periódicas. De esta manera se tiene una visión continua del comportamiento del servicio de banda ancha móvil. Al reducir el tiempo entre mediciones es posible apreciar de mejor forma las transiciones entre distintos tipos de tráfico según el período del día y además de poder detectar una disminución de la calidad con mayor precisión.

3.4.5 Pruebas de Rendimiento.

Como el monitoreo del servicio de datos se realiza desde la perspectiva de un usuario común, es necesario simular de la mejor manera lo que éste haría en una sesión de datos típica. Se identifica como una de las actividades favoritas la navegación web, ya sea con fines recreativos, informativos o educativos entre otros. Varios son los factores que influyen en esta aplicación tales como la resolución de nombres de dominios, transferencias mediante http y la latencia de la red. Otro uso que se le da a este servicio aunque en menor grado es el de transferencia de archivos a través del protocolo FTP, si bien no es tan popular como la navegación web o la transferencia de archivos mediante peer-to-peer, permite tener una medida fácil del throughput que se puede conseguir de la conexión. También destacan las aplicaciones referentes al streaming de material multimedia como es el caso del sitio Youtube⁸.

Con tal de individualizar cada medición realizada, al momento en que ésta se inicia se registra un número identificador que representa a la máquina que ejecuta la medición así como también un número identificador para la medición en sí. Lo anterior permite realizar mediciones con distintas máquinas. También se guardan la fecha de la medición, el nombre de la máquina y un código numérico que representa el punto de medición. Otros datos registrados son los que tienen relación con el enlace de radio, éstos son medidos usando comandos AT⁹ antes de iniciar la sesión de datos y son los que se mencionan a continuación.

- Código del operador móvil.
- LAC (Local Area Code).
- RNC (Radio Network Controller).
- Cell ID.

⁸ <http://www.youtube.com>

⁹ <http://www.shapesifter.se/2008/04/30/list-of-at-commands/>

- RAT (*Radio Access Type*), tecnología de acceso de radio.
- CSQ (Calidad de la Señal).

Una vez obtenidos los datos del enlace de radio se inicia la conexión. Al terminar este proceso se registran los parámetros referentes a la conexión, estos son:

- Nombre de Punto de Acceso o *Access Point Name* (APN).
- Dirección IP del cliente.
- Direcciones IP de los servidores DNS primario y secundario.
- Tiempo que demoró iniciar la sesión.

Con todos los datos mencionados anteriormente se confecciona un archivo de registro, archivos de texto plano con los valores separados por el carácter punto y coma “;”. Este archivo representa a la medición completa y se relacionará con los archivos de registro de las distintas pruebas a través de los identificadores de cliente y de medición.

Para simular las aplicaciones del servicio de banda ancha móvil que forman parte de este análisis, se elaboraron seis pruebas que abarcan los distintos sub-procesos que las conforman. A continuación se presenta una descripción de cada una de ellas.

3.4.5.1 DNS Check.

El *Domain Name System* (DNS) es una base de datos distribuida y jerárquica que almacena información asociada a nombres de dominio en redes como Internet. Aunque como base de datos el DNS es capaz de asociar diferentes tipos de información a cada nombre, los usos más comunes son la asignación de nombres de dominio a direcciones IP y la localización de los servidores de correo electrónico de cada dominio.

La asignación de nombres a direcciones IP es ciertamente la función más conocida de los protocolos DNS. Por ejemplo, si la dirección IP del sitio FTP de prox.mx es 200.64.128.4, la mayoría de la gente llega a este equipo especificando ftp.prox.mx y no la dirección IP. Además de ser más fácil de recordar, el nombre permite independizarse de la dirección IP. Esta dirección numérica podría cambiar por muchas razones, sin que tenga que cambiar el nombre. La siguiente figura muestra un esquema del proceso de resolución de nombre.

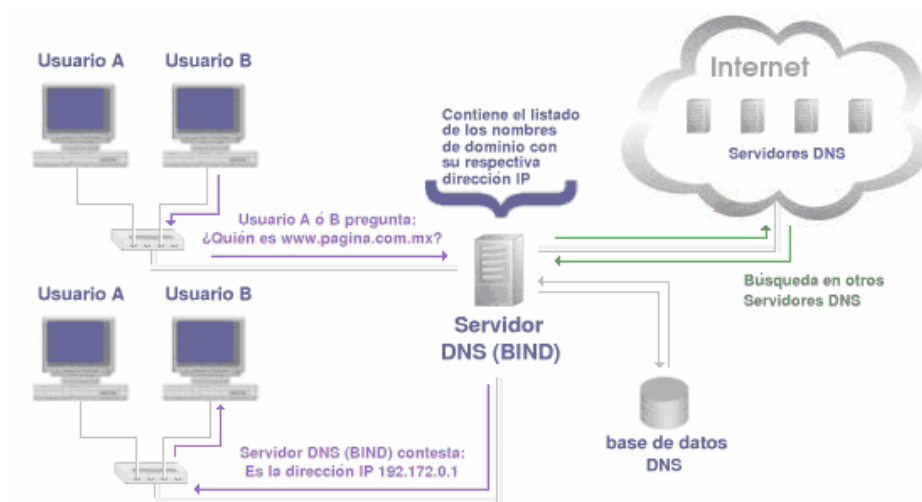


Figura 3.9. Esquema funcionamiento DNS.

Utilizando el comando dig se realizan consultas de resolución de nombre a los servidores de DNS primario y secundario. Se pregunta por los sitios más consultados por los usuarios de acuerdo con datos relacionados con el tráfico de la red. Como parámetros a la consultan se entregan la dirección IP del servidor DNS y el nombre del sitio por el cual se quiere consultar. Además se pueden configurar opciones como el timeout de la consulta.

Una vez realizada la consulta, se guarda el tiempo promedio que ésta demoró en milisegundos junto con la dirección IP del servidor DNS y el nombre del sitio consultado.

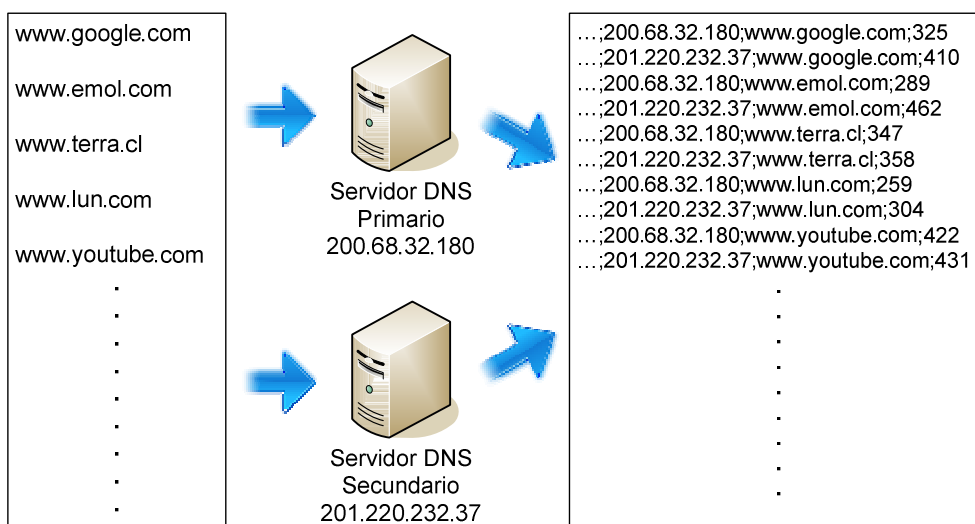


Figura 3.10. Consulta DNS de sitio favoritos a servidores primario y secundario.

A continuación se presenta un ejemplo de los registros obtenidos en una prueba DNS Check donde aparecen los datos que relacionan esta prueba con la medición que la representa, la

fecha de la consulta, la dirección IP del servidor DNS al cual se le realiza la consulta, el nombre del sitio por el que se pregunta y el tiempo en milisegundos que ésta demoró.

```
007f0101;3218;20090221132437;200.68.32.180;www.facebook.com;1121
007f0101;3218;20090221132438;209.88.205.65;www.facebook.com;456
007f0101;3218;20090221132438;200.68.32.180;profile.ak.facebook.com;487
007f0101;3218;20090221132439;209.88.205.65;profile.ak.facebook.com;540
007f0101;3218;20090221132439;200.68.32.180;static.ak.fbcdn.net;399
007f0101;3218;20090221132440;209.88.205.65;static.ak.fbcdn.net;1022
```

3.4.5.2 PING Check.

El comando ping comprueba el estado de la conexión con uno o varios equipos remotos por medio de los paquetes de solicitud de eco y de respuesta de eco (ambos definidos en el protocolo de red ICMP o *Internet Control Message Protocol*) para determinar si un sistema IP específico es accesible en una red. Es útil para diagnosticar los errores en redes o routers IP.

Muchas veces se utiliza para medir la latencia o tiempo que tardan en comunicarse dos puntos remotos, y por ello, es común entre los aficionados a los juegos en red el término PING para referirse al lag o latencia de su conexión.

En esta prueba se verifica el estado de las conexiones a distintos puntos así como también la latencia de la conexión. Se cuenta con un listado de puntos específicos que corresponden a los más solicitados por los usuarios. En la prueba se mandan cinco paquetes ICMP de tamaño igual a 64 bytes registrando el tiempo promedio en milisegundos que le tomó a los paquetes ir a dicho punto y ser respondido. Tanto la cantidad de paquetes ICMP como el tamaño de éstos son ajustables.

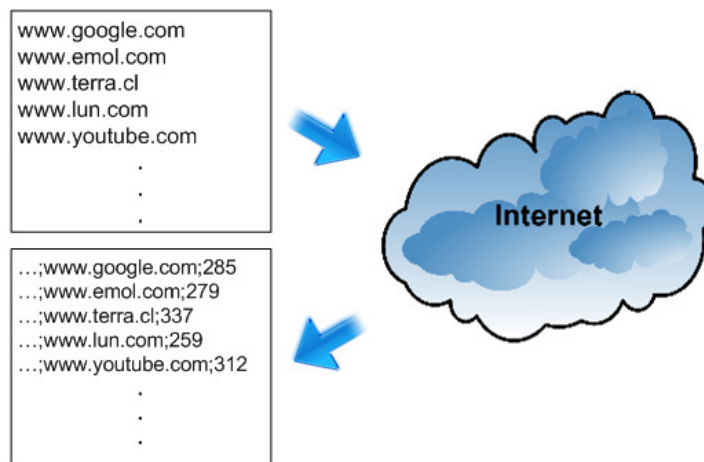


Figura 3.11. Esquema medición PING Check.

Las siguientes son ejemplos de líneas de registro que se obtienen al realizar esta prueba, en ellas aparecen los siguientes datos de izquierda a derecha:

- ID de la máquina.
- ID de la medición.
- Fecha de medición.
- Sitio analizado.
- Tiempo de respuesta de PING en milisegundos.

```
007f0101;3218;20090221132615;www.nic.cl;127.638
007f0101;3218;20090221132629;www.movistar.cl;-1
007f0101;3218;20090221132635;www.google.com;707.084
007f0101;3218;20090221132640;mail.google.com;822.921
007f0101;3218;20090221132645;www.facebook.com;693.028
```

3.4.5.3 HTTP PING.

Esta prueba consiste en simular la descarga de un sitio web como se haría en un navegador o browser. Primero se obtiene el código html que corresponde a la URL o dirección del sitio en cuestión y desde este código se leen todos los elementos que deben ser descargados para que la página web pueda ser vista de manera adecuada.

El programa que realiza esta prueba fue desarrollado en gran parte por el alumno del Departamento de Ingeniería Eléctrica Patricio Pérez Alarcón, durante los meses de enero y febrero de 2009. El código de esta prueba está escrito en lenguaje JAVA.

Esta simulación de descarga se realiza a un listado de sitios web, los cuales tienen la característica de ser los más visitados por los usuarios de estos módems, este dato es proporcionado por equipos que son parte de la red de Movistar.

Los datos obtenidos en esta prueba son:

- Tiempo de conexión con la dirección URL en milisegundos.
- Tiempo de descarga total en milisegundos.
- Tamaño de la data descargada en bytes.
- Cantidad de objetos descargados.
- Cantidad de objetos totales.

Los objetos descargados se obtienen tanto del código html de la página como de las hojas de estilo asociadas (css del inglés *Cascading Style Sheets*) y se emplean distintos sub-procesos paralelos o threads los cuales descargan los distintos contenidos como se aprecia en la siguiente figura la cual representa la descarga del sitio www.terra.cl.

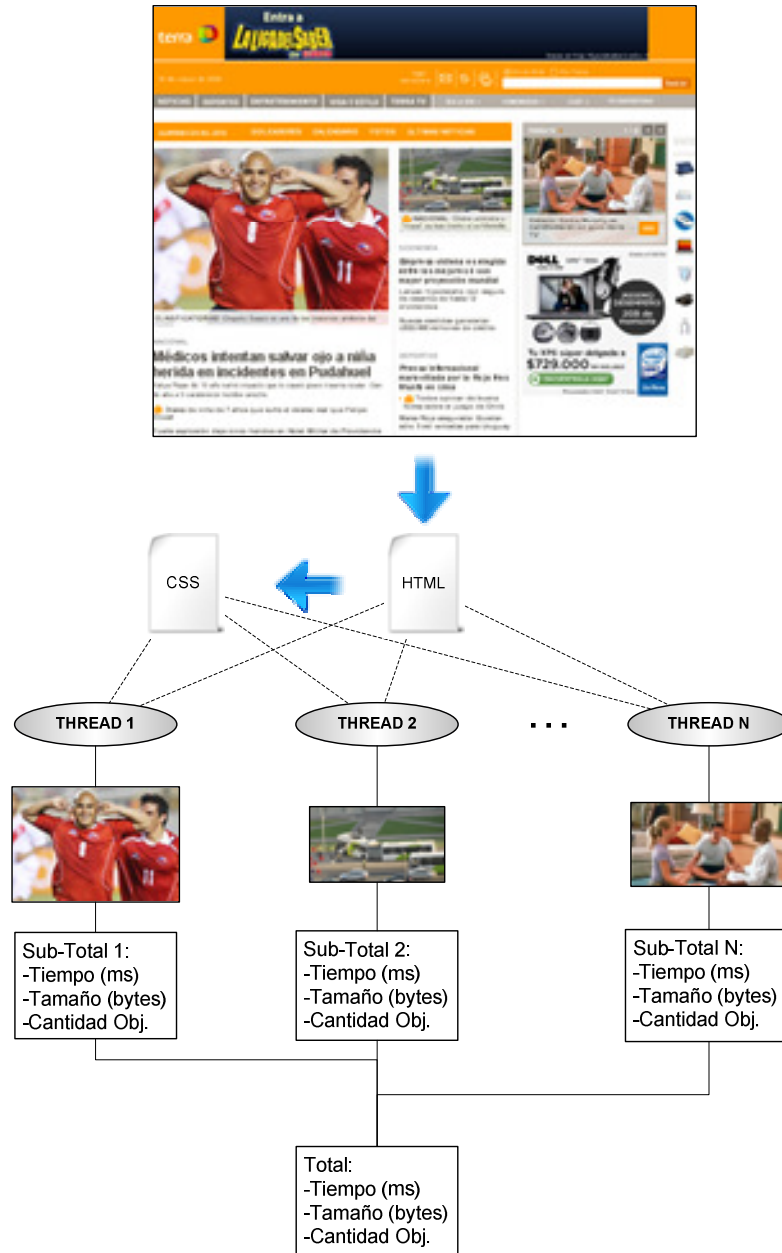


Figura 3.12. Esquema funcionamiento HTTP PING.

Si bien esta prueba no está desarrollada en un cien por ciento ya que no descarga la cantidad exacta de elementos como lo haría un navegador, se acerca alrededor de un 80% y no afecta el objetivo final de comparar el desempeño de los tres módems. Esto se produce porque existen diversas maneras de crear páginas web y cada vez surgen nuevas herramientas que hacen difícil el realizar una simulación perfecta de lo que haría un navegador tradicional.

Una vez que termina el proceso de descarga de los contenidos de la página web, la información obtenida se escribe en un archivo de registro y se almacena en la carpeta de registros. Las siguientes son líneas pertenecientes a uno de estos archivos de registro:

```
007f0101;3218;20090221132854;http://www.terra.cl;22;6771;229355;53;57  
007f0101;3218;20090221132914;http://www.emol.com;22;10617;855335;144;148  
007f0101;3218;20090221132949;http://www.nic.cl;21;26333;129325;40;40
```

En las líneas anteriores están registrados los datos de identificación, la fecha de la medición, y los datos específicos de la prueba como el tiempo de conexión (ms), tiempo total de descarga (ms), tamaño de total de descarga (bytes) y la cantidad de archivos descargados y totales, en ese mismo orden.

3.4.5.4 FTP Download y FTP Upload.

FTP (del inglés *File Transfer Protocol* - Protocolo de Transferencia de Archivos) en informática, es un protocolo de red para la transferencia de archivos entre sistemas conectados a una red TCP, basado en la arquitectura cliente-servidor. Desde un equipo cliente se puede conectar a un servidor para descargar archivos desde él o para enviarle archivos, independientemente del sistema operativo utilizado en cada equipo.

El Servicio FTP es ofrecido por la capa de Aplicación del modelo de capas de red TCP/IP al usuario, utilizando normalmente el puerto de red 20 y el 21. Un problema básico de FTP es que está pensado para ofrecer la máxima velocidad en la conexión, pero no la máxima seguridad, ya que todo el intercambio de información, desde el login y password del usuario en el servidor hasta la transferencia de cualquier archivo, se realiza en texto plano sin ningún tipo de cifrado, con lo que un posible atacante pueda capturar este tráfico, acceder al servidor, o apropiarse de los archivos transferidos.

En la siguiente figura se aprecia un esquema del funcionamiento del protocolo FTP, donde se ve el uso de los puertos 20 y 21 para las conexiones de control y de datos así como también los procesos involucrados en esta aplicación.

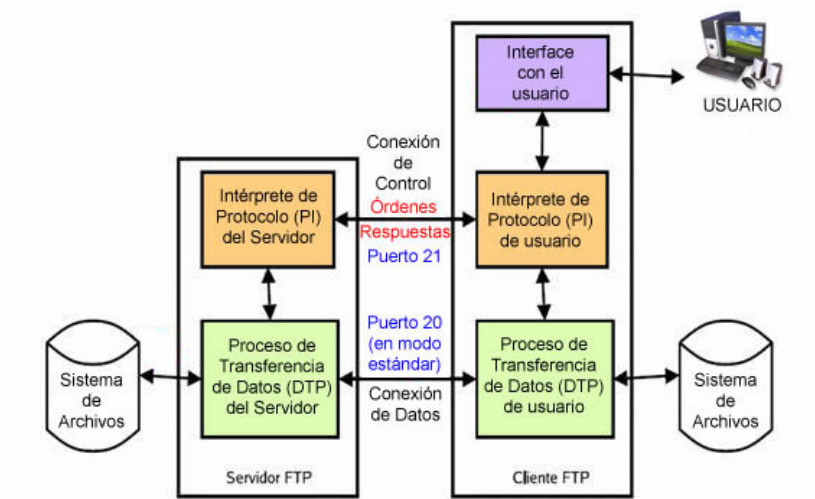


Figura 3.13. Esquema funcionamiento protocolo FTP.

En la prueba FTP Download se realiza la descarga de un archivo alojado en un servidor FTP público y se mide el tiempo que demoró en realizarse la descarga en segundos, de esta forma conociendo el tamaño del archivo en bytes se calcula la tasa de transferencia en kbps (kilo bits por segundo). En el caso de FTP Upload se sube un archivo a un servidor FTP registrándose también el tiempo que demoró la transferencia. El siguiente diagrama ejemplifica estas dos pruebas.

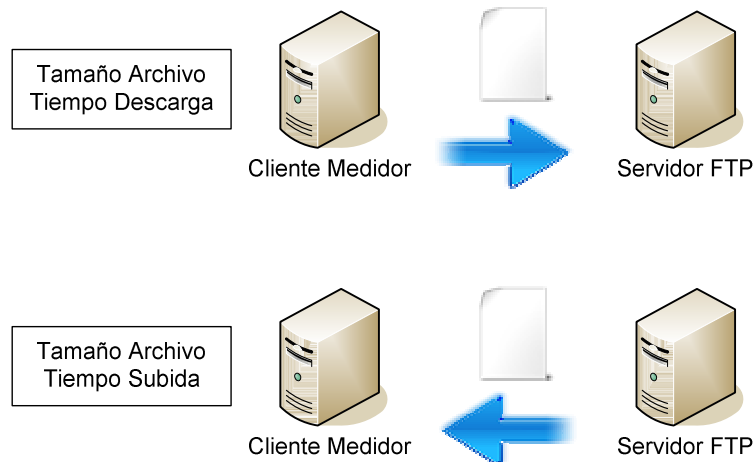


Figura 3.14. Esquema pruebas FTP Download y FTP Upload.

El siguiente es un ejemplo de un log correspondiente a una prueba FTP Download, en él se registran los datos básicos de la medición y el resultado de la transferencia del archivo.

```
CLIENTE=IMS1ab2;10.21.108.110
OPERADOR=73002
CELLID=62100;10;13703;2;25;112
SITIO=ftp.rdc.cl
TINICIO=20090221132222
Connected to ftp.rdc.cl.
220 (vsFTPd 2.0.1)
331 Please specify the password.
230 Login successful.
250 Directory successfully changed.
200 PORT command successful. Consider using PASV.
150 Opening BINARY mode data connection for test-10M (10485760 bytes).
226 File send OK.
10485760 bytes received in 45.43 secs (225.4 kB/s)
221 Goodbye.
TFIN=20090221132318
```

Una vez obtenido este archivo es procesado con tal de obtener solo la información relevante, generando un nuevo archivo con sus valores separados por el carácter “;”.

3.4.5.5 Flash Download.

En esta prueba se simula la descarga y reproducción de un video en formato flash. En particular esta prueba se realiza con videos del sitio web Youtube. No se realiza un análisis a nivel de paquetes, si no que se obtienen los valores del tamaño total del video en bytes y la duración del mismo en segundos, de esta forma se estima cuanto es la tasa de bytes por segundo.

Utilizando este dato, apenas comienza la descarga se inicia un ciclo que incrementa un contador el cual lleva la cantidad de segundos de la supuesta reproducción. En cada iteración del ciclo se calcula a cuantos bytes corresponde el valor del contador de reproducción, este valor se compara con lo que se lleva descargado del video. En caso de que este último valor sea el menor de los dos, se asume que hubo una interrupción en la reproducción.

Al haber una interrupción comienza un ciclo secundario en cuyas iteraciones se comprueba el tamaño de lo que se lleva descargado con el mismo valor en el que se produjo la interrupción. El ciclo secundario termina una vez que la equivalencia en segundos del tamaño de la descarga supera en un segundo al tiempo en que se produjo la interrupción, continuando así con el ciclo principal.

Para descargar el video se ocupa la aplicación youtube-dl¹⁰, la cual está escrita en lenguaje python. La aplicación principal que realiza esta prueba está escrita en c shell. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de ejecución de esta aplicación y su equivalencia con la supuesta reproducción de un video.

¹⁰ <http://bitbucket.org/rg3/youtube-dl/wiki/Home>

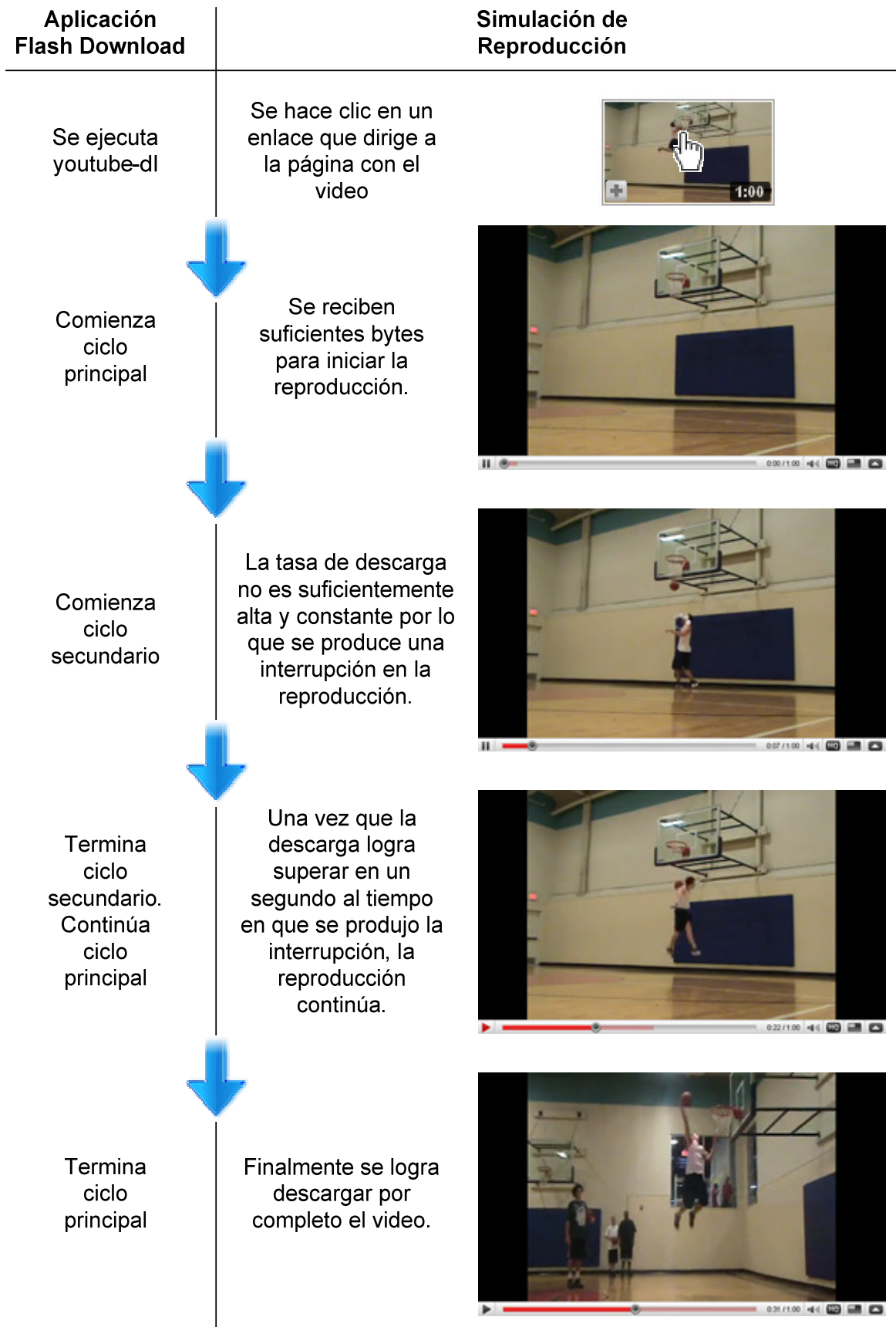


Figura 3.15. Ejemplo ejecución Flash Download.

Los datos que se obtienen a partir de esta prueba son los siguientes:

- Tiempo que demora en iniciarse la descarga: Tiempo medido desde que se ejecuta el programa *youtube-dl* hasta que llegan los primeros bytes de video expresado en segundos.
- Tiempo que demora la descarga: Es el tiempo medido desde que se reciben los primeros bytes de video hasta que se descarga completamente expresado en segundos.
- Número de interrupciones en la reproducción: Es la cantidad total de interrupciones durante la reproducción del video.
- Tiempo total de interrupciones: Suma de todos los tiempos de interrupciones en caso de haber. Se expresa en segundos.
- Tiempo promedio de interrupciones: Es el promedio de los tiempos de las interrupciones expresado en segundos.
- Mínima diferencia entre tiempo descargado y tiempo reproducido: Es el mínimo tiempo entre lo descargado y lo reproducido expresado en segundos. En caso de haber una o más interrupciones este valor es negativo.
- Diferencia entre el tiempo de reproducción y el tiempo de duración del video al terminar la descarga: Corresponde a la diferencia de segundos entre la duración del video y el tiempo de reproducción al momento de terminar la descarga. Se expresa como porcentaje de la duración total del video.

$$\text{Diferencia [\%]} = \frac{\text{Tiempo de reproducción}}{\text{Tiempo de duración del video}} * 100$$

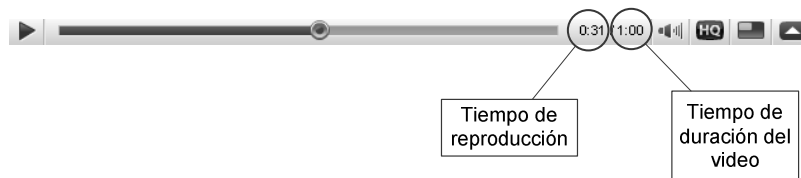


Figura 3.16. Tiempos de reproducción y duración de video flash.

La siguiente tabla resume las distintas pruebas de rendimiento indicando el tipo de aplicación que representa, sus parámetros principales y las unidades de la medición.

Tabla 3. Resumen pruebas de rendimiento.

Prueba de Rendimiento	Tipo Aplicación	Parámetros Principales	Unidades
DNS Check	No Aplica	Tiempo Respuesta	milisegundos
PING Check	No Aplica	Round Trip Time	milisegundos
HTTP PING	Interactiva	Tiempo de Descarga	segundos
		Tasa de Descarga	kbps
FTP Download	Segundo Plano	Tasa de Descarga	kbps
FTP Upload	Segundo Plano	Tasa de Subida	kbps
Flash Download	Streaming	Número de Interrupciones	veces
		Tiempo de Interrupciones	segundos
		Tiempo inicio reproducción	segundos

3.4.6 Algoritmo de Medición de Datos.

Una vez desarrolladas las distintas pruebas de rendimiento se genera un procedimiento en el cual se realizan las mediciones de estas pruebas. Este procedimiento es representado por un pequeño programa o script, el cual se encarga de iniciar la sesión de datos, realizar las pruebas y registrar los resultados. El algoritmo básico de este script se muestra en el siguiente diagrama de flujo.

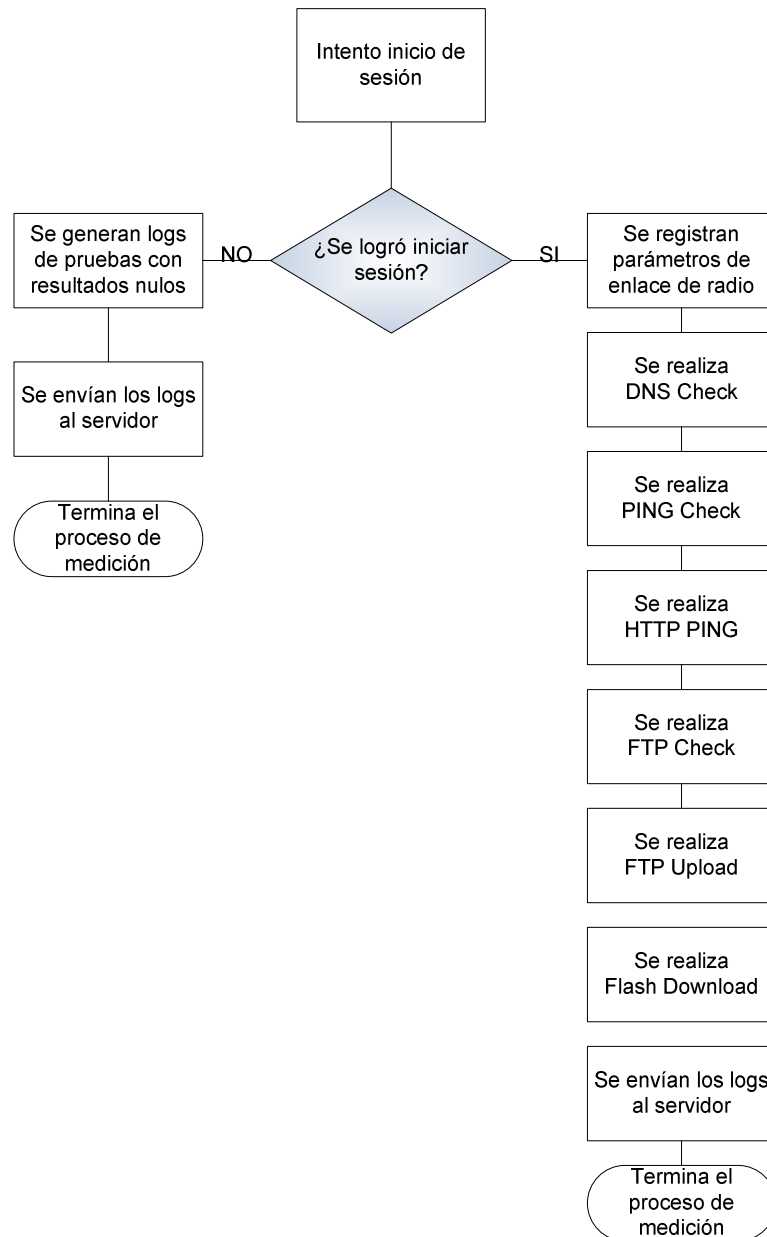


Figura 3.17. Algoritmo básico de proceso de medición.

3.4.7 Algoritmos de Procesamiento de Datos.

Diferentes clientes de medición suben los datos en forma de archivos de texto plano al servidor central en un directorio especial para cada cliente o grupo de clientes de la forma:

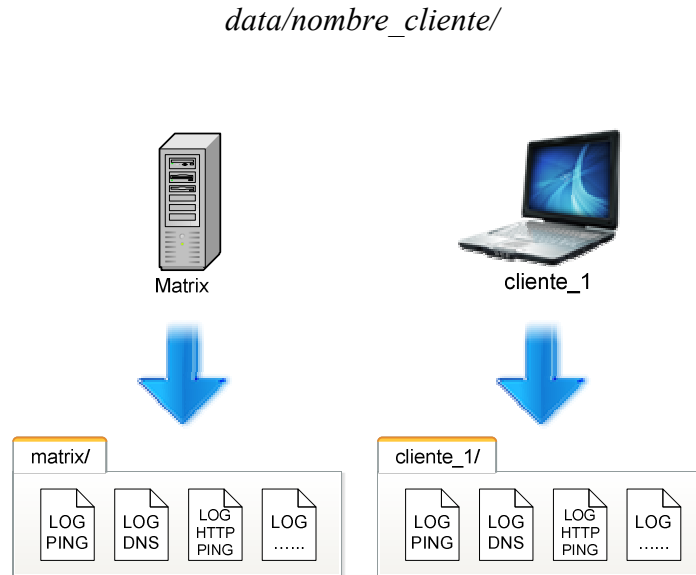


Figura 3.18. Esquema de almacenamiento de archivos de registro.

En la mayoría de los archivos de registro cada línea es un registro y los campos están separados por el carácter “;”. Los archivos de las pruebas FTP Download y FTP Upload tienen un formato distinto por lo que son estandarizados en la misma etapa de medición para que queden con el formato apropiado.

```
20090302175921;siemens-a3f84bf;10.4.87.180;73002....  
20090302175936;siemens-a3f84bf;10.4.87.180;73002....  
20090302175949;siemens-a3f84bf;10.4.87.180;73002....
```

Los logs son procesados mediante scripts csh (C Shell) especiales para cada tipo de dato, los cuales recorren las carpetas de los distintos clientes obteniendo los archivos. Éstos son procesados guardando los datos en variables para luego generar un archivo de extensión sql el cual contiene las sentencias que insertarán todos los registros de los clientes en la base de datos.

Luego de generado el archivo sql los logs son movidos a una carpeta de respaldo. Por último, se ejecutan las instrucciones del archivo sql para subir los registros. Lo anterior es esquematizado en la siguiente figura.

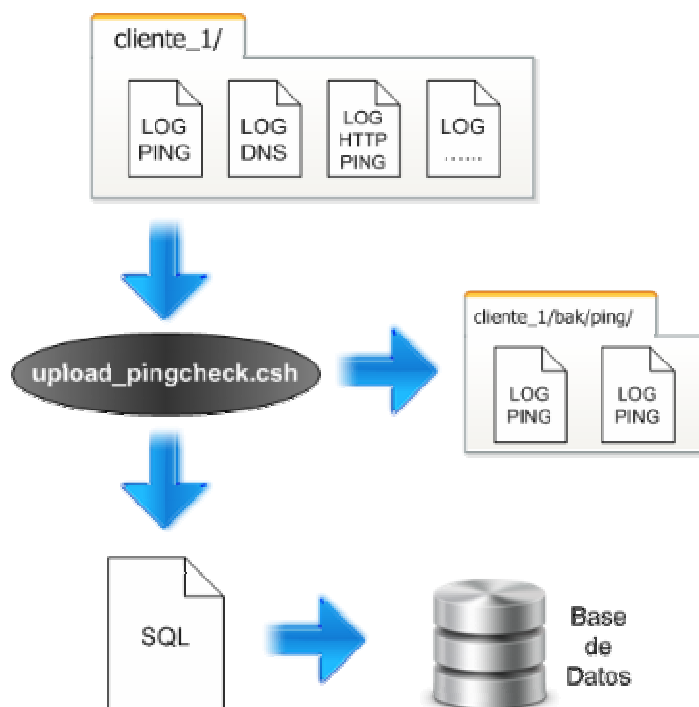


Figura 3.19. Esquema de procesamiento de archivos de registro.

Para la visualización gráfica de los datos obtenidos un script php recopila la información desde la base de datos del servidor Nemesi según sean los criterios de búsqueda y genera un código en formato JSON (*JavaScript Object Notation*). Este código JSON contiene parámetros como el título del gráfico, configuraciones de los ejes, y la data a ser graficada entre otros. El código JSON se traspa al archivo open-flash-chart.swf que se encarga de generar el gráfico en formato flash.

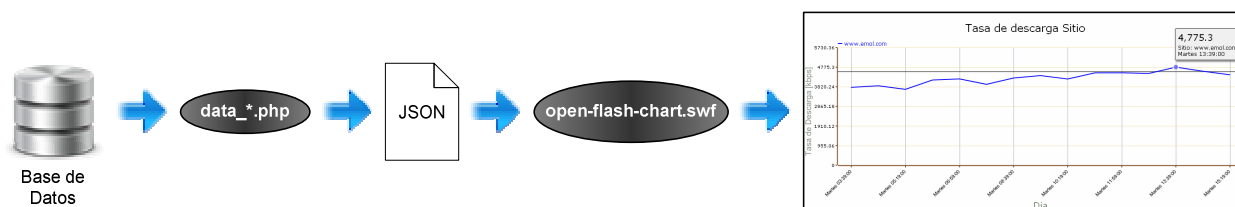


Figura 3.20. Esquema de confección de código JSON para graficar datos.

En el siguiente esquema se resume todo el proceso desde que los equipos encargados de realizar las mediciones depositan la data en el servidor hasta que se despliegan los gráficos y estadísticas en la pantalla de un computador.

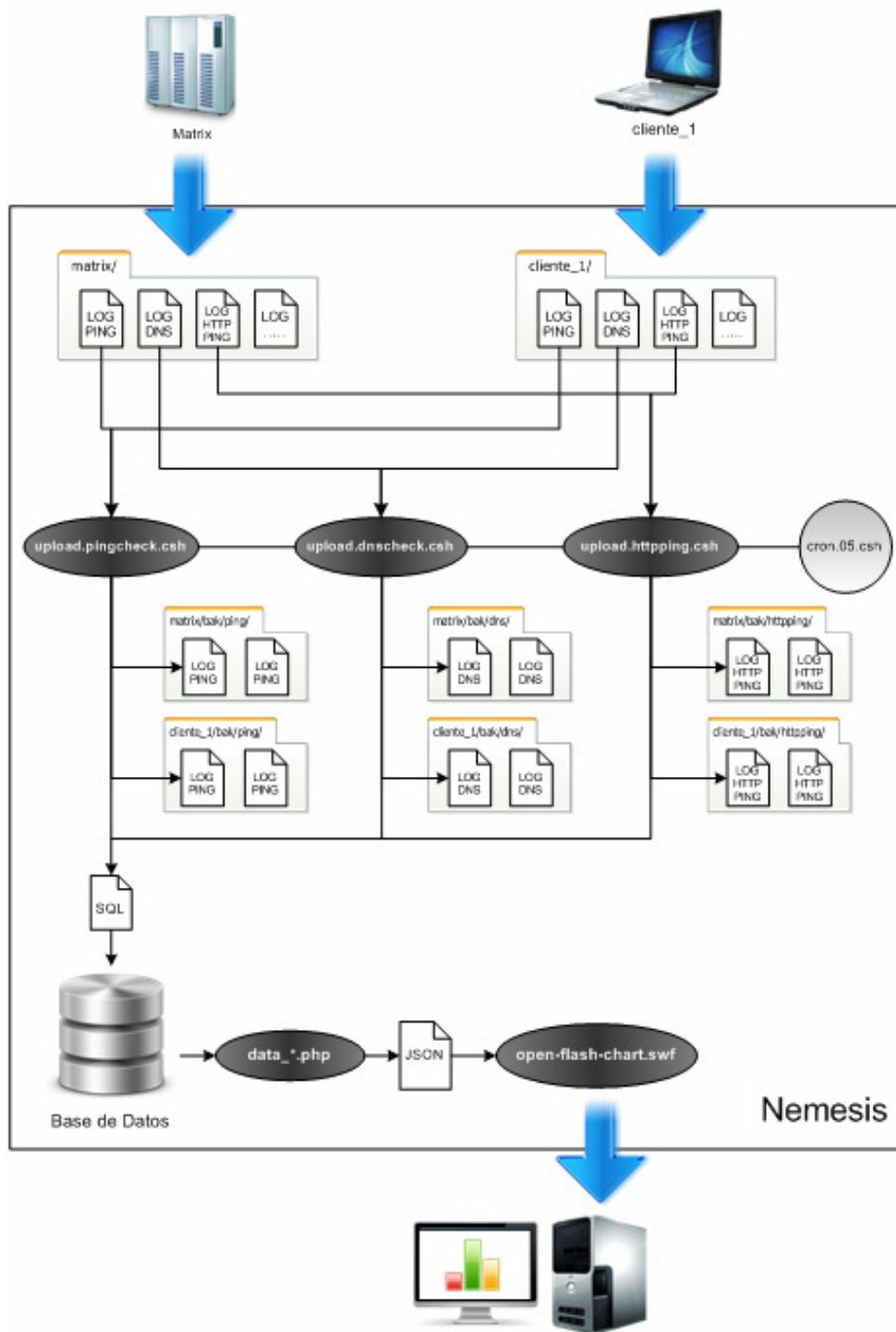


Figura 3.21. Esquema general del procesamiento de datos.

3.5 Software de Medición.

Con tal de llevar a cabo las mediciones, se desarrolla un programa que comprende las pruebas de rendimiento. Debido a que los sistemas operativos de la empresa Microsoft son los más utilizados por los usuarios de Internet como se aprecia en el gráfico con datos de mayo de

2009¹¹, se desarrolla en primera instancia una versión del software para Windows, en particular su versión XP.

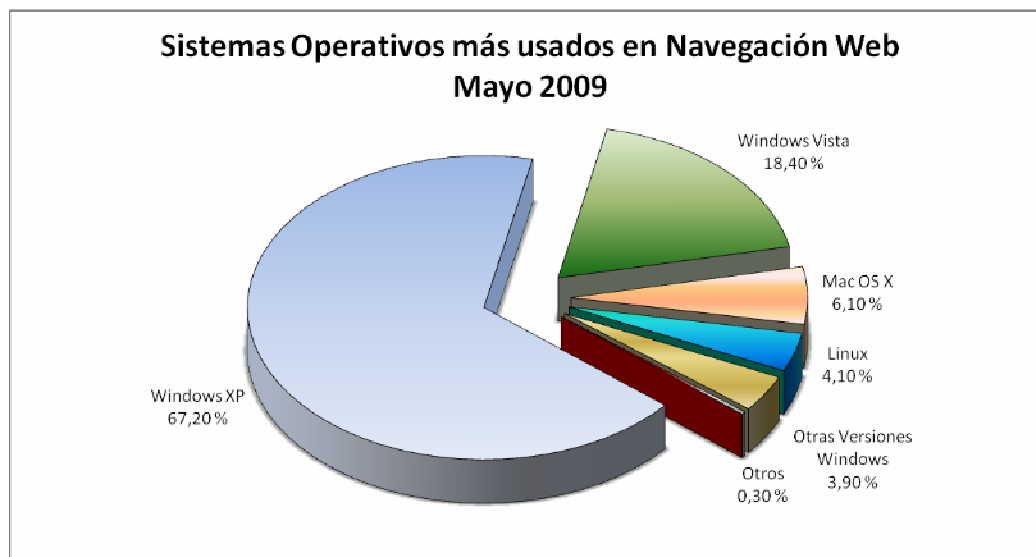


Gráfico 3.1. Sistemas operativos más usados en navegación web.

Si bien las mediciones realizadas bajo el entorno Windows son las más representativas del comportamiento de un usuario común, no se cuenta con herramientas que permitan un desarrollo rápido y flexible, así como también lograr un nivel de automatización completo con múltiples módems USB conectados a un equipo medidor. Para suplir lo anterior se desarrolló además una versión bajo el entorno GNU/Linux, particularmente para la distribución Ubuntu. Ambas versiones del software de medición se detallan a continuación.

3.5.1 Versión Windows.

Se creó un script batch con comandos DOS para realizar las simulaciones. Este programa está orientado para las mediciones hechas en terreno de carácter semi-automático. Antes de comenzar con la ejecución de la rutina se debe conectar el módem USB al computador. Luego se procede a obtener los parámetros del enlace de red mediante comandos AT (Código Operador, Cell ID, etc), de los cuales el más importante es el código del operador, esto debido a que como mínimo debe identificarse el operador al cual pertenece el módem. En caso de no poder obtener dichos parámetros se solicita a quién está ejecutando el script que seleccione manualmente el operador.

¹¹ http://www.w3schools.com/browsers/browsers_os.asp

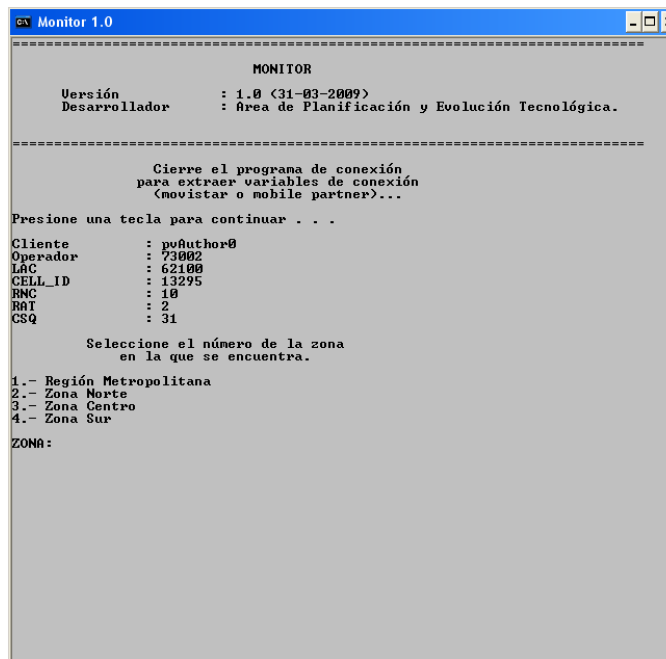


Figura 3.22. Captura ejecución software de medición.

El paso siguiente es identificar el punto geográfico de la medición, para esto se despliega en pantalla un menú que tiene permite seleccionar la zona, el sector y luego el punto. A continuación se solicita a quien mide que inicie la sesión de datos. Una vez hecho esto comienza la etapa automática en la cual se realizan las pruebas de rendimiento antes descritas guardando los datos obtenidos en una carpeta única en el formato de archivo de texto plano.



Figura 3.23. Captura pruebas de rendimiento en software de medición.

Una vez realizadas todas las pruebas de rendimiento el software termina su ejecución pudiendo cambiarse el módem o la tarjeta SIM de su interior por la de otro operador móvil y repetir el procedimiento.

3.5.2 Versión Linux.

Esta versión fue hecha para funcionar completamente en forma automática tanto en la medición de datos como en la transferencia de estos al servidor donde se almacenan en una base de datos. Uno o varios módems se conectan a un computador pudiendo permanecer de esa forma todo el tiempo que se requiera ya que es el software mismo el que se encarga de iniciar y terminar las distintas sesiones de datos para realizar las mediciones.

Para el desarrollo de esta versión se utilizó un lenguaje de programación llamado C Shell, su sintaxis es muy parecida al lenguaje de programación C, el cual permite hacer scripts o rutinas que contienen una serie de comandos que conforman las pruebas de rendimiento. Se tiene un script principal llamado `monitor.csh`, este se encarga de iniciar la sesión de datos mediante el comando `wvdial`. Diversos perfiles de conexión pueden ser configurados para el uso de `wvdial`, en dichos perfiles se establecen opciones como el puerto del módem a ocupar (permite ocupar distintos módems conectados), el nombre del punto de acceso o *Access Point Name* (APN) y varios comandos AT que permiten preguntarle al módem por diversos parámetros del enlace de red. Una vez ejecutado el comando `wvdial` se espera hasta que la sesión sea establecida, esto se define como el momento en que son asignadas tanto la dirección IP del módem como las direcciones IP de los servidores DNS primario y secundario.

El inicio de sesión puede fracasar por diversos motivos entre los cuales están el que el módem esté desconectado, no reciba un nivel de señal adecuado o esté siendo ocupado por otra aplicación entre otros. En caso de suceder lo anterior se registra la causa y se generan de todas formas archivos de registro para cada una de las pruebas en los cuales se refleja el no éxito de la conexión.

En caso de tener un inicio de sesión exitoso, se almacenan los datos básicos de ésta (dirección IP, servidores DNS, nombre de punto de acceso) y los parámetros del enlace de radio (nivel de señal, código de operador, ID de la celda). Luego se procede a realizar las pruebas de rendimiento las cuales corresponden a scripts individuales que son ejecutados por el script principal.

La medición de DNS Check se lleva a cabo con el comando `dig`, este comando permite especificar la dirección IP del servidor DNS al cual se quiere consultar y el nombre del sitio que se quiere resolver. El dato que se obtiene de esta consulta es el tiempo que demoró en milisegundos guardando así el servidor DNS, el sitio consultado y el tiempo que tomó. Un ejemplo de ejecución de este comando para el servidor 200.68.32.180 y el sitio `www.google.cl`.

```
monitor@robotms3:~$ dig @200.68.32.180 www.google.cl
;; Query time: 376 msec
;; SERVER: 200.68.32.180#53(200.68.32.180)
;; WHEN: Fri Jun 12 13:52:57 2009
;; MSG SIZE rcvd: 399
```

Figura 3.24. Ejemplo de ejecución comando `dig`.

Si la consulta falla, ya sea por indisponibilidad del servidor DNS o por cumplirse el timeout de la consulta (puede configurarse), se asignará el valor -1 como resultado.

La prueba de PING Check es ejecutada a través del comando *ping* enviando una cantidad determinada de paquetes ICMP de tamaño fijo (en bytes) a los distintos puntos correspondientes a los más recorridos por los usuarios. Como respuesta a este comando se obtienen valores estadísticos en unidades de milisegundos como el mínimo, el máximo, la media y la desviación estándar. De los valores anteriores sólo se conserva la media, obteniéndose un valor -1 para el caso en que no hay respuesta alguna del sitio que se trata contactar.

Para realizar HTTP PING se emplea el programa descrito anteriormente. Está realizado en JAVA por lo que se puede ejecutar tanto en Windows como en Linux teniendo los mismos resultados. Como parámetros se pasan la dirección del sitio web que se quiere descargar sin el prefijo "http://" y la cantidad de threads o procesos paralelos a ocupar en la descarga. Como resultado de este método se obtienen: el tiempo de conexión con el sitio (milisegundos), el tiempo de descarga total (milisegundos), el tamaño de descarga total (bytes), la cantidad de objetos exitosamente descargados y la cantidad de objetos que se intentaron descargar.

Tanto FTP Download como FTP Upload se llevan a cabo a través del comando *ftp*, el cual permite entregarle un archivo de texto plano con un set de instrucciones a ejecutar. Las primeras instrucciones son para establecer la conexión con el servidor FTP, se suministra la dirección de éste, así como también un nombre de usuario y una contraseña. Dependiendo del servidor puede no ser necesaria una contraseña si el usuario es del tipo anónimo. Una vez realizada la autenticación con el servidor se procede a realizar la transferencia del archivo, para eso primero se indica que será del tipo binario pues de este tipo son los archivos que se emplean en la prueba.

Para la descarga del archivo se emplea el comando *get nombre archivo* el cual crea una copia del archivo en el directorio local del computador con que se trabaja. Para el proceso de upload se utiliza el comando *put nombre archivo* con el cual se crea una copia de un archivo perteneciente al directorio local del computador en un directorio en el servidor FTP. En ambos casos, una vez terminada la transferencia del archivo se almacenan en un archivo de texto plano todas las respuestas recibidas desde el servidor, siendo la más importante la que confirma el éxito de la transferencia indicando el tamaño del archivo y el tiempo en que éste fue transferido.

Por último se realiza la prueba Flash Download descargando un video en formato flv desde el sitio Youtube cuya dirección URL se pasa como parámetro a la aplicación *youtube-dl* almacenando el archivo flv en disco. Antes de comenzar la descarga se elimina cualquier copia de este video que haya sido descargada previamente.

Una vez terminadas las pruebas de rendimiento, el script termina su ejecución dejando como resultado seis archivos de registro correspondientes a las distintas pruebas más un archivo que describe la medición. Estos archivos son de extensión *txt* y su nombre está compuesto por la

prueba que representan y la fecha de creación en formato “AAAAMMDDhhmmss”. Un ejemplo de esto sería lo siguiente:

dnscheck.20090514210854.txt

La ejecución periódica de este script de medición es tarea del administrador de procesos en segundo plano llamado *cron*, éste ejecuta procesos o scripts a intervalos regulares de tiempo (por ejemplo, cada minuto, día, semana o mes). Los procesos que deben ejecutarse y la hora en la que deben hacerlo son especificados en el archivo *crontab*. Aparte de agendar el proceso de medición, también se agregan las acciones de transferencia de los archivos de registro, las cuales por un lado envían estos archivos al servidor central a través del protocolo SSH y completan el proceso trasladando los archivos a una carpeta de respaldo en el mismo computador que realizó la medición. La siguiente figura ejemplifica un ciclo completo de medición que comienza con el inicio de la sesión, prosigue con la ejecución de las pruebas de rendimiento terminando con la transferencia de los archivos de registro al servidor.

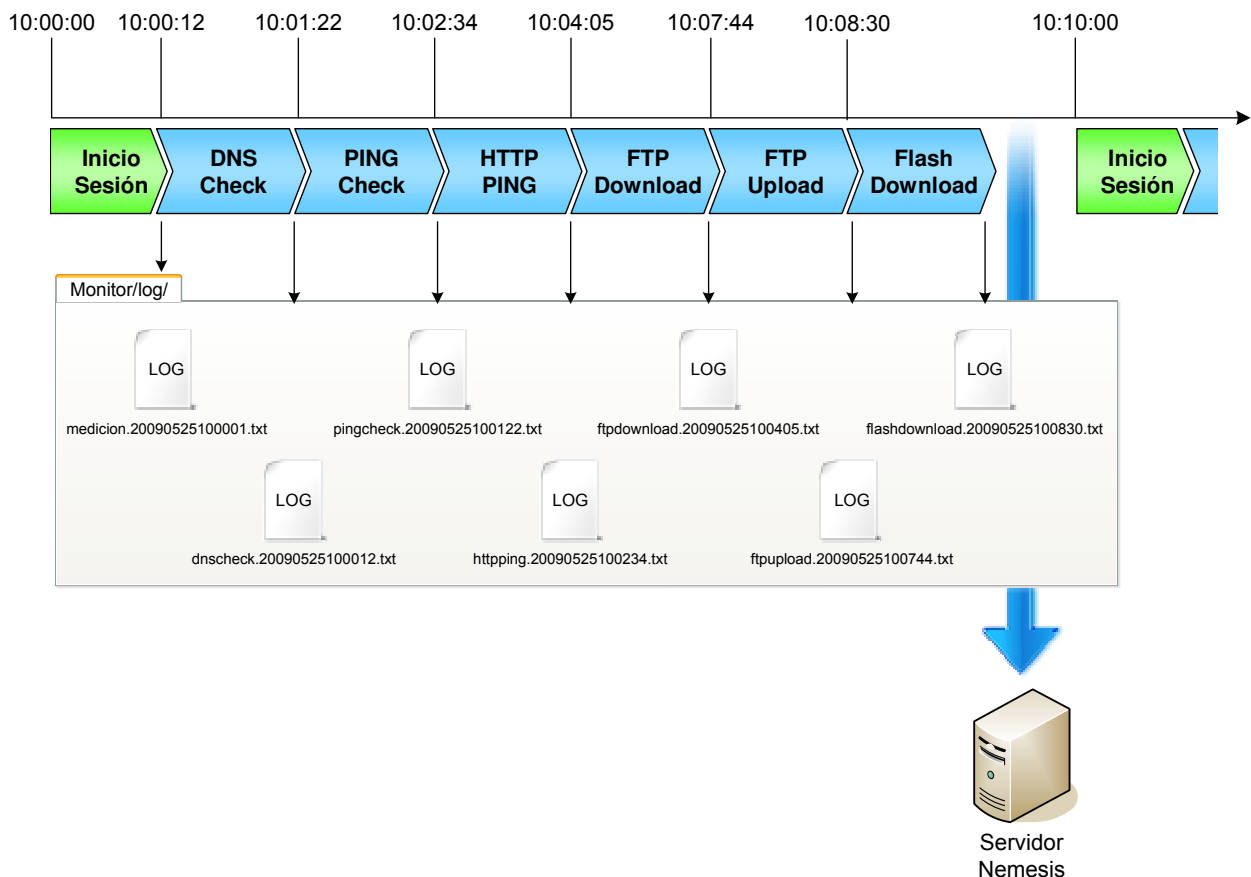


Figura 3.25. Ejemplo de ciclo de medición versión Linux.

3.6 Procesamiento de Datos.

Ya completada la etapa de medición de datos corresponde efectuar el análisis de éstos, proceso que se realiza completamente en el servidor. Consta básicamente de tres etapas, las cuales son descritas en las siguientes secciones.

3.6.1 Script de Transferencia de Archivos.

Es ejecutado una vez que termina una medición y transfiere los archivos de registro de las distintas pruebas al servidor donde se ubica la base de datos. La transferencia es realizada a través del protocolo SSH ocupando una cuenta de usuario creada especialmente para el procesamiento de los datos. Para que no sea necesario introducir una clave para obtener acceso al servidor cada vez que se quieran transferir los archivos, se crea una llave pública por cada máquina que realiza mediciones y se almacena en un listado de claves públicas dentro del servidor. Así la autenticación puede ser realizada de forma automática.

Aparte de transferir los archivos al servidor, este script crea copias de respaldo en la misma máquina que realiza la medición. De esta forma se previene la pérdida de información en caso de que haya problemas durante la transferencia o con los archivos luego de haber sido transferidos.

3.6.2 Almacenamiento en Base de Datos.

Para acceder de forma rápida y confiable a la información obtenida a través de las mediciones, ésta es almacenada en una base de datos relacional. De esta manera se pueden manejar grandes volúmenes de datos y acceder a ellos de manera rápida. Como gestor de base de datos se eligió MySQL principalmente por ser de código libre, compatible con Php, lenguaje usado para el desarrollo de esta plataforma y cumple con los requisitos de tamaño de tablas a almacenar y los tiempos de respuesta necesarios para el análisis de los datos obtenidos.

La estructura de la base de datos está compuesta por nueve entidades: una que representa a las mediciones realizadas en las máquinas, seis entidades que corresponden a las pruebas de rendimiento que conforman una medición, una entidad que almacena los umbrales de cada prueba para el cálculo de indicadores y una entidad de código para los distintos puntos geográficos en que se realizan mediciones. A continuación se presenta el diseño lógico de la base de datos. Tanto el diseño físico como el diagrama de relaciones se encuentran en la sección de Anexos.

3.6.2.1 Diseño Lógico Base de Datos.

La entidad principal es la que representa a una medición, esta almacena los atributos de la conexión establecida y queda definida por un identificador del cliente o máquina que mide y por un identificador de la medición, ambos conforman un índice único, además de ser llaves primarias. Los siguientes son los atributos de la entidad medición.

Tabla 4. Diseño lógico entidad Medición.

MEDICIÓN
ID del cliente
ID de la medición
Fecha medición
Nombre cliente
APN de la conexión
Dirección IP de la conexión
Dirección IP DNS Primario
Dirección IP DNS Secundario
Tiempo inicio sesión
Nombre Operador Móvil
Local Area Code de la celda
Radio Network Controller de la celda
ID de la celda
Radio Access Type de la celda
Calidad de la señal de radio
ID del punto de medición

Cada una de las pruebas de rendimiento está representada por una entidad la cual lleva su nombre, Se relacionan con la identidad de medición a través de los atributos ID_cliente e ID_medición siendo esta relación uno a uno, es decir una instancia de medición se relaciona con solo una instancia de cada prueba y cada instancia de prueba se relaciona con una sola medición.

Tabla 5. Diseño lógico de las entidades de pruebas.

DNS CHECK
ID del cliente
ID de la medición
Fecha medición
Dirección IP servidor DNS
Nombre del sitio consultado
Tiempo promedio de la consulta

HTTP PING
ID del cliente
ID de la medición
Fecha medición
Nombre del sitio descargado
Tiempo de conexión con el sitio
Tiempo total de descarga del sitio
Tamaño total de la descarga
Cantidad de objetos descargados
Cantidad total de objetos del sitio

PING CHECK
ID del cliente
ID de la medición
Fecha medición
Nombre del sitio consultado
Tiempo promedio de PING

FTP DOWNLOAD
ID del cliente
ID de la medición
Fecha medición
Nombre del servidor FTP
Tiempo de conexión con el sitio
Tiempo total de descarga del archivo

FTP UPLOAD
ID del cliente
ID de la medición
Fecha medición
Nombre del servidor FTP
Tiempo de conexión con el sitio
Tiempo total de subida del archivo

FLASH DOWNLOAD
ID del cliente
ID de la medición
Fecha medición
Nombre del video flash
Tiempo de duración del video
Tamaño del video
Tiempo de inicio de la descarga
Tiempo de la descarga
Número de cortes
Tiempo total de cortes
Tiempo promedio de cortes
Mínima diferencia desc./repr.
Máxima diferencia desc./repr.
Promedio de diferencias desc./repr.
Porcentaje última diferencia

Para la generación de indicadores se generan umbrales de las distintas pruebas que sirven para ser comparados con cada una de las muestras obtenidas. Tienen un atributo que contiene los distintos umbrales para cada hora del día para los siete días de la semana. Se relacionan con su respectiva prueba a través del atributo que define el nombre del sitio a cual corresponden los umbrales. Estas tablas son idénticas en cuanto a estructura diferenciándose solamente por su nombre el cual termina con el nombre de la prueba correspondiente.

Tabla 6. Diseño lógico entidad de umbrales.

UMBRALES
Nombre del sitio
Umbrales del sitio

Por último se encuentra la entidad de código que representa a los distintos puntos geográficos donde se realizan mediciones. La finalidad de esta entidad es la de definir el punto en cual se realiza una medición a través de un código numérico, de esta manera se ahorra bastante espacio de memoria al no almacenar información redundante como la zona, sector y nombre del punto. La entidad de medición y la entidad de punto se relacionan a través de la llave primaria de punto y el código del mismo en la tabla de medición.

Tabla 7. Diseño lógico entidad de punto de medición.

PUNTO
ID del punto
Nombre del punto
Sector del punto
Zona del punto

3.6.3 Generación de código JSON para gráficos.

Para generar cada uno de los gráficos disponibles en la plataforma primero es necesario obtener los datos que serán graficados. Esto se realiza a través de un script php que recibe todos los criterios en que se basará la búsqueda desde la interfaz de usuario. Con estos criterios se genera una consulta SQL la cual es enviada a la base de datos obteniéndose los datos en forma de matriz. La matriz con los datos es procesada y distribuida en distintos arreglos que corresponderán a las distintas series del gráfico.

En caso de ser necesario se realizan operaciones con los datos obtenidos desde la base, así como también completar con valores nulos cuando no existan datos para un intervalo de tiempo dado o para un punto de medición debido a que es necesario que cada punto de la serie tenga un valor aunque éste sea nulo.

Una vez creados los arreglos que contienen las series del gráfico, estos son traspasados junto con otras opciones del gráfico a un segundo script Php, el cual creará el código JSON que representará el gráfico mediante la librería Php de Open Flash Chart. El objeto principal es de tipo *chart*, el cual corresponde al gráfico, este a su vez está compuesto por objetos menores que representan a las series de datos, el eje de las ordenadas, el eje de las abscisas, el título, las leyendas de los ejes y la ventana de ayuda contextual o *tooltip*. Cada uno de estos objetos cuenta con sus propios métodos para configurar sus distintas propiedades. Una vez creados todos los componentes del gráfico se agregan al objeto *chart* el cual es posteriormente traspasado a formato JSON y cargado al componente flash que despliega el resultado final en pantalla.

3.7 Interfaz de Usuario.

La interfaz por la cual se puede monitorear el servicio de datos fue desarrollada para ser vista en un navegador de Internet o *Browser*. Su código se genera a través de Php de forma dinámica. Consta de tres grandes secciones: un menú lateral, que contiene las distintas pruebas que se realizan; un formulario de selección de datos, que permite seleccionar los datos a visualizar y los criterios en que se hace; un área de gráficos, donde se ven los datos obtenidos en forma gráfica. La siguiente figura muestra una captura de pantalla de la interfaz de usuario de la aplicación.

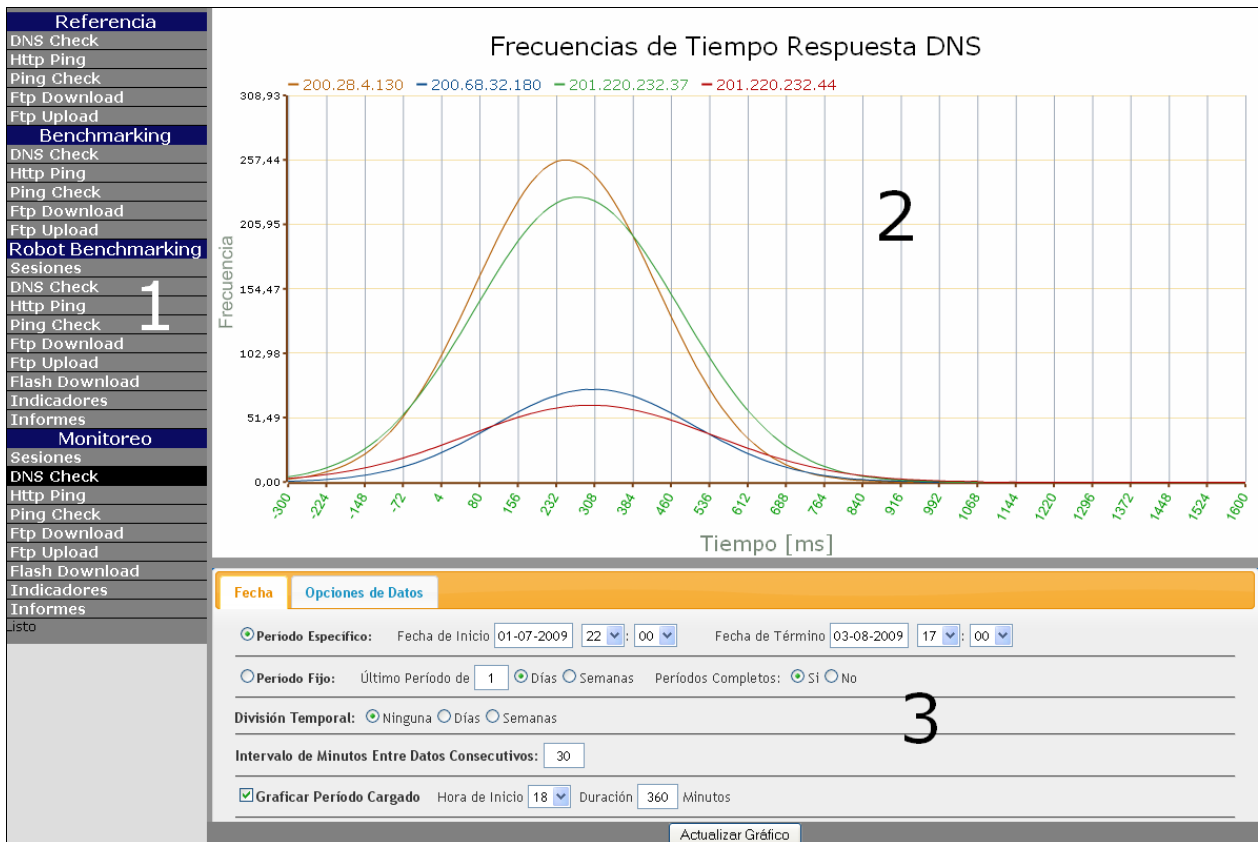


Figura 3.26. Captura de pantalla interfaz de usuario.

En la imagen se destacan las tres grandes zonas, Menú Lateral (1), Área de Gráficos (2) y Formulario de Selección de Datos (3). Estas zonas son descritas a continuación.

3.7.1 Menú Lateral.

Las pruebas de rendimiento se agrupan según el contexto en que fueron realizadas, estos corresponden a los distintos tipos de mediciones: Referencia, Benchmarking, Benchmarking Automático y Monitoreo. Estas cuatro categorías conforman el primer nivel del menú de la interfaz. El segundo nivel del menú corresponde a las distintas pruebas de rendimiento realizadas dentro de cada categoría, agregando una sección en que se muestran los indicadores globales de cada categoría. Cada una de las sub-secciones del segundo nivel es un link que actualiza el área de gráfico y el formulario de selección de datos.

3.7.2 Formulario Selección de Datos.

Todos los criterios para la visualización de los datos se agrupan en un formulario, el cual permite al usuario elegir la forma en que se representan los datos gráficamente. Para enviar estas opciones al servidor se utiliza la librería Xajax, que contiene comandos para recopilarlas y

enviarlas al servidor, el cual retorna el código en formato JSON para que sea desplegado por el objeto flash que representa al gráfico. Esto da la ventaja de no tener que recargar la página completa para modificar un gráfico. El formulario consta de varias pestañas en las cuales se eligen opciones como el intervalo de tiempo a graficar y la variable que se grafica entre otras. Las dos pestañas más importantes son la de opciones de tiempo y de opciones de datos.

3.7.2.1 Opciones de Tiempo.

Contiene las opciones de carácter temporal del grafico, estas se describen a continuación.

The screenshot shows a web form with several tabs: 'Fecha', 'Opciones de Datos', 'DNS Check', 'Http PING', 'PING Check', 'FTP Check', and 'FTP Upload'. The 'Opciones de Datos' tab is active. The form contains the following fields and options:

- Periodo Especifico:** Fecha de Inicio: 01-08-2009 20:30; Fecha de Término: 03-08-2009 15:30
- Periodo Fijo:** Último Período de: 1; Días Semanas; Períodos Completos: Sí No
- División Temporal:** Ninguna Días Semanas
- Intervalo De Minutos Entre Datos Consecutivos:** 30
- Graficar Periodo Cargado:** Hora de Inicio: 18; Duración: 360 Minutos

Figura 3.27. Vista de opciones de tiempo formulario de selección de datos.

Periodo Especifico: Permite especificar un periodo exacto entre Fecha de Inicio y Fecha de Termino. Al cambiar tanto la Fecha de Inicio como la Fecha de Termino lo datos de las otras pestañas del formulario se actualizan de acuerdo al nuevo periodo.

Periodo Fijo: Permite especificar intervalos discretos de tiempo en días o semanas. El atributo de “Periodos Completos” determina el inicio de cada intervalo, si su valor es “Sí” entonces los intervalos comienzan con el día lunes a las 00:00 en caso de que el intervalo este dado en semanas, o comienzan a las 00:00 en caso de que los intervalos sean en días. Si el valor del atributo “Periodos Completos” es “no” entonces los intervalos se definen tomando como fecha final la fecha actual quedando la fecha inicial definida por el tipo de intervalo (día o semana).

División Temporal: Permite dividir las series en distintos grupos separándolas por días o por semanas. De esta forma se pueden comparar distintos sub-periodos dentro del periodo definido en el ítem 1 o 2.

Intervalo de Minutos Entre Datos Consecutivos: Define la duración en minutos del intervalo de tiempo entre dos datos consecutivos. En caso de que este intervalo abarque más de una medición, se promedian dichas mediciones asignando un solo valor a la fecha que representa ese intervalo la cual corresponde al extremo derecho del intervalo.

Graficar Periodo Cargado: Añade al grafico franjas que representan un periodo cargado diario. Se define mediante su “Hora de Inicio” y su “Duración” en minutos.

3.7.2.2 Opciones de Datos.

Contiene opciones del tipo de grafico y los atributos de las pruebas.

The screenshot shows a web form titled 'Opciones de Datos' with an orange header. It contains several sections for configuring data visualization:

- Tipo de Gráfico:** Radio buttons for 'Tiempo Promedio' (selected), 'Desviación Estándar', 'Calidad de Servicio', and 'Disponibilidad'. There is also a 'Frecuencias' option below.
- Graficar Datos agrupados por:** Radio buttons for 'APN' (selected), 'IP DNS', and 'SITIO'.
- APN (todos , ninguno):** A checked checkbox for 'wap.tmovil.cl'.
- IP DNS (todos , ninguno):** Checked checkboxes for '-1', '200.28.4.130', '200.68.32.180', and '201.220.232.44'. There is also a checked checkbox for '201.220.232.37'.
- SITIO (todos , ninguno):** A grid of 12 checked checkboxes for various domains including: -1, ads1.msn.com, ads2.msn.com, ak.facebook.com, c.msn.com, clients.google.com, contacts.msn.com, dl.redtube.com, dlservice.microsoft.com, download.windowsupdate.com, g.ceipmsn.com, g.doubleclick.net, good1212.net, googleads.d.doubleclick.net, images.lun.com, ipv6.microsoft.com, l.google.com, ll.facebook.com, login.facebook.com, login.live.com, mail.google.com, mail.live.com, messenger.hotmail.com, and messenger.live.com.

Figura 3.28. Vista de opciones de datos del formulario.

En esta pestaña se pueden especificar las distintas opciones del grafico, entre ellas:

Dato: Determina la variable que es graficada. Esta opción aparece en aquellas pruebas donde hay más de una variable para graficar como en “Sesiones” o “Flash Download”.

Tipo de Gráfico: Corresponde a la forma en que se grafica el valor de la medición, la primera opción corresponde a la muestra tal cual mientras que en el resto de las opciones se realiza un procesamiento extra para generar el dato.

Graficar Datos agrupados por: Corresponde al criterio por el cual se separan las distintas series del grafico.

Dependiendo de la prueba de rendimiento que se esté viendo se podrán elegir los valores que representan a las muestras como son el punto de acceso de la sesión o APN, la dirección IP del servidor DNS (en el caso de DNS Check) y los sitios en que se realizó la prueba.

3.7.3 Gráficos.

Corresponden a la parte más importante de la interfaz de usuario ya que despliegan en pantalla los datos de las mediciones de forma resumida permitiendo ver el desempeño del servicio de datos desde un punto de vista general, pudiendo ver tendencias de su comportamiento. Además brindan la posibilidad de realizar comparaciones ya sea entre los distintos operadores o para distintos productos del mismo operador.

Los gráficos son generados a través de la herramienta de código libre Open Flash Chart, la cual emplea un objeto flash para desplegar los datos en pantalla. Contiene un gran número de clases y métodos que representan los distintos componentes de un gráfico como ejes, título, leyendas, etc.

El proceso de creación de un gráfico comienza con la obtención de la información desde la base de datos del servidor, estos datos dependerán de la página que se esté visualizando y de las opciones estipuladas en el formulario de datos. Estas opciones son traspasadas a un script escrito en php el cual genera una consulta MySQL de acorde a los requerimientos y se obtienen así los resultados los cuales son procesados por el script formando arreglos que contienen los puntos a graficar. Usando los métodos de la librería Open Flash Chart se asignan los valores al objeto flash así como también todas las propiedades que se pretende que tenga.

Una característica de estos gráficos es que poseen una ventana de ayuda contextual o *tooltip* para cada punto del gráfico, la cual aparece cuando el *mouse* se posa sobre un determinado punto. De esta manera se puede anexar gran cantidad de información para complementar el gráfico sin saturarlo con texto o líneas.

3.8 Indicadores Claves de Calidad.

Cuando ya se tiene implementado el sistema de medición, obteniendo una gran cantidad de datos, resulta necesario resumirlos en valores que sean representativos de toda la muestra y a la vez reflejen de manera rápida la calidad del servicio de datos. Estos valores se denominan Indicadores Claves de Calidad o *Key Quality Indicators* (KQI). A continuación se describen los indicadores que se definieron para esta plataforma.

3.8.1 Cobertura de Servicio.

A través de las mediciones realizadas en terreno es posible tener una buena percepción del nivel de cobertura que tiene el servicio de datos a lo largo del país. Antes de evaluar la calidad del servicio es imprescindible que éste sea accesible en cualquier sitio donde pueda ser requerido por los usuarios, dándole sentido al concepto de movilidad, lo cual genera una buena percepción de calidad.

Es calculada como el porcentaje de puntos geográficos en los que se logró establecer la sesión de datos sobre el total de la muestra en un determinado período. Como hay sitios en los cuales existe una mayor afluencia de usuarios, es necesario ponderar la medición obtenida en cada sitio por el porcentaje de usuario que representan del total, de esta forma se tiene una visión de usuarios con cobertura.

$$\text{Cobertura } [\%] = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N f(\text{sitio}_i)$$

$N = \text{Número total de sitios.}$

$$f(\text{sitio}_i) = \left\{ \begin{array}{l} 1 \quad \text{se logra iniciar sesión en el sitio } i \\ 0 \quad \text{no se logra iniciar sesión en el sitio } i \end{array} \right\}$$

3.8.2 Disponibilidad de Servicio.

Así como es importante que el usuario tenga acceso al servicio donde sea que lo quiera utilizar, también es fundamental que éste se encuentre disponible en todo momento. Para analizar esta condición se utilizan las pruebas realizadas automáticamente, ya que permiten realizar mediciones de forma permanente y entre intervalos pequeños de tiempo.

Se calcula como el porcentaje de conexiones exitosas sobre el total de intentos en un determinado período de tiempo, descartando los intentos fallidos producidos por causas ajenas al servicio como que el módem esté ocupado al momento de la medición o no responda.

$$\text{Disponibilidad } [\%] = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N f(\text{medición}_i)$$

$N = \text{Número total de mediciones.}$

$$f(\text{medición}_i) = \left\{ \begin{array}{l} 1 \quad \text{se logra iniciar sesión en la medición } i \\ 0 \quad \text{no se logra iniciar sesión en la medición } i \end{array} \right\}$$

Es posible diferenciar la causa de falla de conexión gracias a las respuestas que produce el comando utilizado para establecer la sesión de datos. Se distinguen las siguientes causantes de falla de inicio de sesión:

- No hay módem conectado: Se detecta la ausencia del módem en el puerto USB.
- El módem se encuentra ocupado: Otra aplicación está haciendo uso del módem, pudiendo ser el mismo software de medición.
- No hay carrier: El módem no logra detectar la red.

Otra causante de indisponibilidad es la incorrecta asignación de servidores DNS al momento de iniciar la sesión, lo cual incapacita resolver nombres de dominio mermando el correcto uso de aplicaciones como navegación web entre otras.

3.8.3 Tiempo de Inicio de Sesión.

Corresponde al tiempo promedio en segundos que toma iniciar la sesión de datos, es medido desde que se ejecuta el comando de conexión hasta que se reciben las direcciones IP de los servidores DNS primario y secundario, momento en que termina el proceso de inicio de sesión y es posible utilizar el servicio. El objetivo de este indicador es que sea lo más bajo posible ya que en caso de ser muy elevado puede llevar a un usuario a pensar que la conexión ha fallado causándole una sensación de mala experiencia.

Es calculado como el promedio de la relación entre un umbral de tiempo definido y los distintos intentos de inicio de sesión. Esta relación corresponde al cociente entre el umbral y el tiempo medido con valores posibles dentro del intervalo $[0,1]$, de esta manera, si el tiempo es mayor que el umbral, se tendrá un valor menor a 1 y en el caso de que el tiempo sea menor que el umbral se asigna el valor 1. Este promedio se multiplica por 100 para expresarlo como porcentaje. Este cálculo se representa en la siguiente fórmula.

$$\text{Tiempo de Inicio de Sesión } [\%] = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N f(\text{medición}_i)$$

$N = \text{Número total de mediciones.}$

$$f(\text{medición}_i) = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & \text{si tiempo medición} \leq \text{umbral tiempo} \\ \frac{\text{umbral tiempo}}{\text{tiempo medición}} & \text{si tiempo medición} > \text{umbral tiempo} \end{array} \right\}$$

3.8.4 Tasa de Transferencia.

Corresponde a la cantidad de kilobits por segundo (kbps) que son transmitidos al realizar una transferencia a través del enlace, la cual puede ser la descarga de un página web o descarga y subida de un archivo FTP.

En el caso de la navegación web, es necesario diferenciar las distintas páginas que se descargan, ya que por una parte se encuentran alojadas en servidores distintos, pudiendo ser nacionales o internacionales, y por otro, no representan la misma cantidad de bytes de tamaño, por lo que no en todos los casos se podrá alcanzar la mayor tasa de descarga posible. Lo mismo ocurre con las transferencias mediante FTP, las cuales varían considerablemente dependiendo del período del día.

Es por esto que en base a las muestras obtenidas durante un período de tres meses (marzo a mayo de 2009) se calcularon los promedios de las tasas de transferencia para las 24 horas del día correspondientes a los siete días de la semana para cada uno de los sitios. De esta forma se incluye el efecto de horarios con alto tráfico así como también la diferencia de días laborales y no

laborales. Al realizar lo anterior se tiene una matriz de promedios, los cuales al ser ponderados por un coeficiente determinado se traducen en umbrales.

Para el cálculo de este indicador se compara el valor entre una muestra y su correspondiente umbral, en caso de que la muestra sea mayor o igual que el umbral se asigna el valor 1, en caso contrario se asigna el cociente entre la muestra y su umbral. El promedio de todos estos valores se multiplica por cien para expresarlo como porcentaje.

$$Tasa\ de\ Transferencia\ [\%] = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N f(medición_i)$$

$N =$ Número total de mediciones.

$$f(medición_i) = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & \text{si tasa medición} \geq \text{umbral tasa} \\ \frac{\text{tasa medición}}{\text{umbral tasa}} & \text{si tasa medición} < \text{umbral tasa} \end{array} \right\}$$

De esta forma se tiene un porcentaje que refleja la calidad de la tasa de transferencia para un conjunto de sitios y en un intervalo de tiempo dado. Este porcentaje corresponde al indicador que normaliza las mediciones de los distintos sitios web y transferencias ftp.

3.8.5 Delay Punto-a-Punto.

Para este indicador se fijan umbrales en milisegundos de la misma manera que para la tasa de transferencia y se comparan con cada una de las mediciones, asignando el valor 1 en caso de que el tiempo de la medición sea menor que su umbral y, el cociente entre el umbral y el tiempo de la medición en caso contrario. El promedio de estos valores es luego multiplicado por 100, de esta manera se tiene un porcentaje de la relación entre el Delay que existe hacia los sitios y el umbral correspondiente.

$$Delay\ punto\ a\ punto\ [\%] = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N f(medición_i)$$

$N =$ Número total de mediciones.

$$f(medición) = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & \text{si delay medición} \leq \text{umbral delay} \\ \frac{\text{umbral delay}}{\text{delay medición}} & \text{si delay medición} > \text{umbral delay} \end{array} \right\}$$

3.8.6 Tiempo de Respuesta Servidores DNS.

La resolución de nombre es necesaria para el correcto funcionamiento de varias aplicaciones del servicio de datos, en especial para la navegación web ya que los usuarios manejan nombres de sitios en vez de direcciones IP, las cuales pueden ir cambiando con el tiempo mientras que un nombre de dominio se mantiene constante.

Es por esta razón que se espera en primer lugar que los servidores DNS sean capaces de resolver cada uno de los sitios por los cuales sean consultados (siempre y cuando estos existan) y también se pretende que esta resolución sea realizada en un tiempo breve ya que influyen directamente en varias aplicaciones pudiendo contribuir a generar una percepción de buena calidad de experiencia.

Se calcula de la misma manera que como se hace con el delay, salvo que la variable es el tiempo de respuesta de los servidores DNS.

$$Tiempo Respuesta DNS [\%] = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N f(medición_i)$$

$N = \text{Número total de mediciones.}$

$$f(medición_i) = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & \text{si tiempo medición} \leq \text{umbral tiempo} \\ \frac{\text{umbral tiempo}}{\text{tiempo medición}} & \text{si tiempo medición} > \text{umbral tiempo} \end{array} \right\}$$

3.8.7 Número de Interrupciones Video Flash.

En la reproducción de un video en formato flash, uno de los aspectos más importantes en cuanto a calidad, es que ésta sea fluida, es decir que no ocurran cortes o interrupciones en la reproducción. Por esto se ocupa el dato registrado en la prueba de Flash Download sobre el número de cortes en la reproducción. Se considera como una buena calidad de experiencia la no existencia de cortes en la reproducción, por lo que con cada interrupción que se produzca, la calidad de experiencia disminuirá su valor.

Al ocurrir una interrupción dependiendo de su duración, es posible que el usuario deje de estar concentrado en ver el video y examine el resto del contenido de la página mientras se reanuda la reproducción, lo que puede demorar más de un segundo. Si una vez que continúa la reproducción vuelve a producirse una interrupción, es más probable que el usuario observe el contenido adicional de la página, aumentando esto con cada nueva interrupción, llegando a un momento en el cual el usuario preferirá pausar la reproducción y esperar a que se termine la descarga del flash lo cual sería similar a la descarga de un archivo de video para su posterior reproducción, o simplemente cambiará de página.

Es por esto que se adoptó una relación inversamente proporcional para calcular el valor del indicador, ocupando la siguiente expresión:

$$\text{Número de Interrupciones Flash Download } [\%] = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{1 + NI_i}$$

$N = \text{Número total de mediciones.}$

$NI_i = \text{Número de Interrupciones de medición } i.$

De esta forma cuando no se producen interrupciones se obtendrá el valor 1, para una interrupción el valor 0,5 y así sucesivamente. Es importante notar que al ocurrir 5 interrupciones ya se tiene un quinto del valor total reflejando un 20 % de calidad experiencia lo cual ya se considera bastante bajo, con lo que para cantidades de interrupciones mayores se tiene que no influyen tanto como las primeras pensando que el usuario ya dejó de intentar de ver el video.

3.8.8 Indicador Global de Calidad de Experiencia.

Ocupando los indicadores antes descritos, es posible agruparlos para generar un solo indicador que represente al servicio de datos. Como todos son representados mediante un porcentaje de calidad, pueden ser ponderados en base a la incidencia que tienen en la calidad de experiencia del usuario y así al sumarse obtener un único porcentaje.

Al tener un solo indicador se simplifica el hecho de tener que observar varios valores a la vez para establecer el grado de calidad del servicio y además permite incorporar fácilmente nuevas pruebas de rendimiento ya que solo deberá asignárseles un ponderador y ajustar los ya existentes para agregarla a este indicador global.

$$\text{Indicador Global } [\%] = \sum_{i=1}^N k_i * \text{Indicador}_i$$

$k_i = \text{Constante Ponderación Indicador } i$

Con esto se tienen todos los elementos para el monitoreo del servicio de banda ancha móvil, desde las mediciones, el almacenamiento de los datos y el posterior análisis de éstos. En el próximo capítulo se presentan los resultados más importantes obtenidos a través del uso de la plataforma.

4

Resultados y Discusiones

4.1 Mediciones Realizadas.

4.1.1 Benchmarking.

Se realizaron mediciones mensuales partiendo en el mes de Marzo, en más de cien puntos a lo largo del país los cuales correspondían a los sitios con mayor tráfico de datos, información obtenida de los equipos de la red interna de Movistar. Se dividieron en cuatro grandes zonas: Zona Norte, Zona Centro, Zona Sur y Región Metropolitana. Cada zona a su vez se divide en sectores, los cuales pueden ser ciudades, pueblos o en el caso de la Región Metropolitana en Santiago Oriente y Santiago Poniente. Por último cada sector se dividía en los distintos puntos de medición, tales como aeropuertos, centros comerciales entre otros. El listado completo de los puntos de medición se encuentra en la sección de Anexos.

Para el proceso de medición se utilizaron 15 módems Huawei E226 cada uno con tres SIM Cards de los tres operadores móviles (Entel, Movistar y Claro) repartidos a lo largo del país para cubrir todos los puntos del Benchmarking. Las mediciones son realizadas por supervisores de red los cuales se dirigen con un computador portátil, un módem y las SIM Cards a un punto de medición. Una vez en el sitio se conecta el módem USB con una de las SIM Card en su interior al computador y se ejecuta el software desarrollado para Windows. Una vez terminada la ejecución del software se obtienen los archivos de registro o logs. Este proceso se repite con el resto de las SIM Cards completando así la medición en dicho punto. Luego los logs de los distintos puntos son recopilados para su procesamiento.

Como estas mediciones son realizadas una vez al mes en cada punto y no precisamente en el mismo horario, no reflejan estadísticamente el comportamiento del servicio de banda ancha móvil. Para que así fuera, sería necesario un mayor número de muestras, evitando así cometer errores por muestras anormales que no representan verdaderamente la calidad del servicio. Sin embargo, el hecho de que la medición en un punto se realice para los tres operadores en forma consecutiva y que cada medición no demore más de 15 minutos en promedio, permite realizar una comparación para dicho instante de tiempo. Más que el análisis puntual de un sitio, el objetivo de estas pruebas es el de analizar los datos obtenidos de manera global, esto es, a nivel de zona y de sector, agrupando así varias muestras, tratando de atenuar el efecto de muestras

erróneas. Por último al realizar estas mediciones con una frecuencia mensual es posible ver una tendencia en el tiempo de las muestras obtenidas.

Para efectos de confidencialidad en la presentación de los resultados, los operadores móviles serán representados por un número, es decir se mencionarán como Operador 1, Operador 2 y Operador 3.

En la mayoría de los sitios de medición se logró iniciar una sesión de datos para realizar las distintas pruebas, sin embargo hubo puntos en los cuales esto no fue posible, a continuación se presentan los porcentajes de cobertura de servicio sobre el total de puntos, separados según la zona y el mes de la medición.

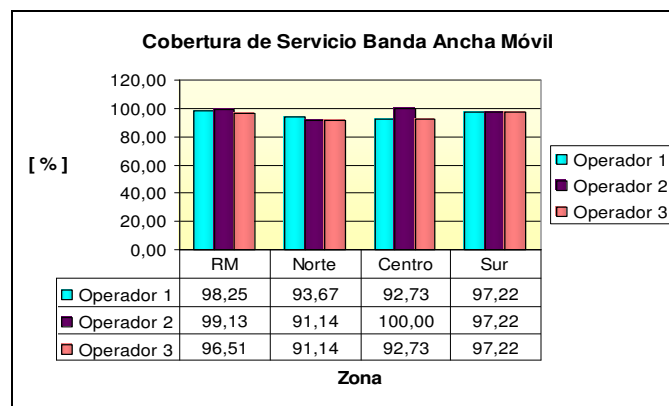


Gráfico 4.1. Cobertura de servicio banda ancha móvil por zona.

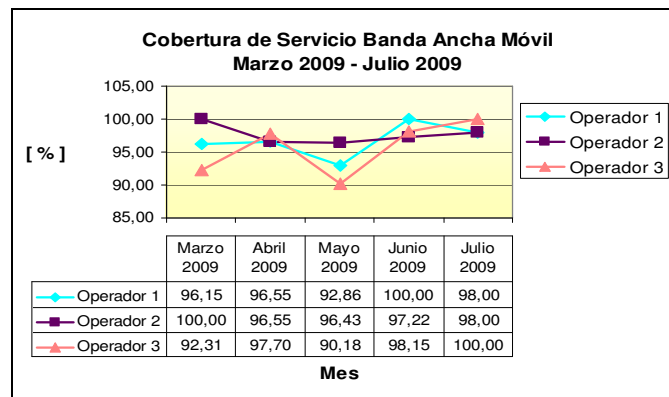


Gráfico 4.2. Cobertura de servicio banda ancha móvil por mes.

En general la cobertura de servicio fue adecuada con los tres operadores sobretodo en la Región Metropolitana y la Zona Sur donde ésta superó el 96,5 %. En cuanto a los distintos meses, Operador 2 presentó un valor de cobertura más constante siempre sobre el 96 %. A continuación se presentan los resultados obtenidos de las mediciones exitosamente realizadas en los meses de Marzo, Abril, Mayo, Junio y Julio de 2009 separados en las distintas pruebas de rendimiento.

4.1.2 Pruebas de Rendimiento.

4.1.2.1 DNS Check.

Las consultas de resolución de nombre se hicieron para los 60 sitios más consultados según estadísticas de Movistar. Ambos servidores DNS (primario y secundario) son consultados por la dirección IP de cada sitio. Los resultados de esta prueba de las mediciones hechas entre Marzo y Julio de 2009 se resumen en el siguiente gráfico separado por zona.

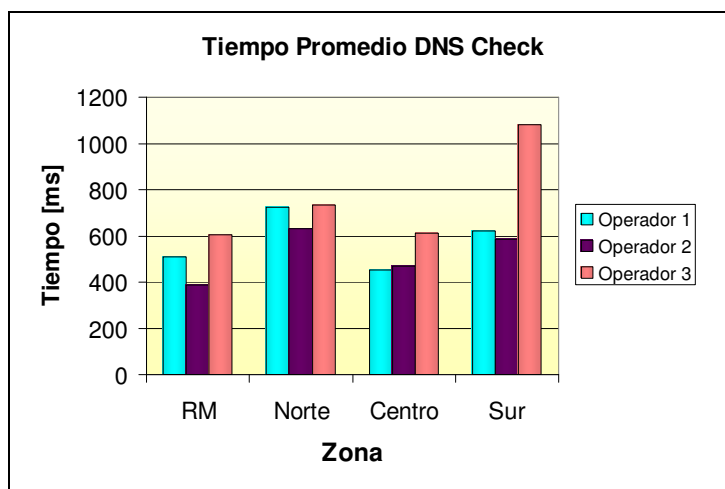


Gráfico 4.3. Tiempo promedio DNS Check por zona.

Se puede apreciar que todos los promedios están por sobre los 400 milisegundos teniéndose las mediciones más bajas en la Región Metropolitana y la Zona Centro. Los tiempos más bajos fueron obtenidos con Operador 2 en tres de las cuatro zonas presentando su menor tiempo en la Región Metropolitana donde supera a Operador 1 y Operador 3 por 100 y 200 milisegundos respectivamente. Destaca el caso de la resolución de nombre de Operador 3 en la Zona Sur, lugar donde el promedio de consultas demoró más de un segundo, alrededor de un 70 por ciento más que los otros operadores. Es importante resaltar que en zonas extremas existen efectos de retardo asociados a la transmisión desde los Nodos B a los RNC y desde los RNC a los SGSN.

Otro aspecto importante es el hecho de que en las mediciones del mes de Marzo hechas con Operador 3, fue asignado un solo servidor DNS en cada sesión de datos realizada, esto presenta un riesgo en caso de que falle dicho servidor ya que deja totalmente fuera de servicio aplicaciones como la navegación web y otras que requieren de resolución de nombre.

Separando las distintas mediciones de acuerdo al mes en que fueron realizadas se aprecia que tanto Operador 1 como Operador 2 mantienen tiempos de respuestas entre los 400 y 600 milisegundos a diferencia de Operador 3 que presentó un promedio en los tiempos de resolución de nombre superior a los mil cien milisegundos en el mes de Mayo.

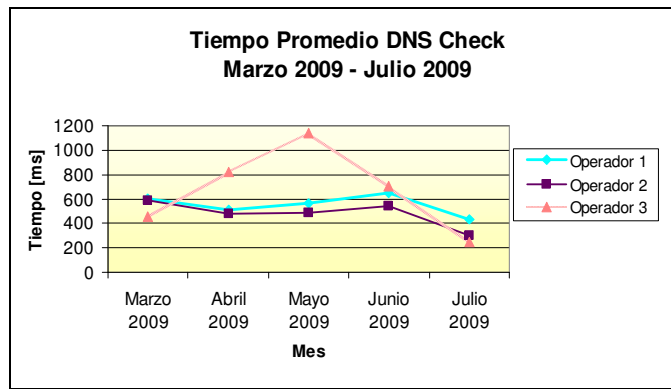


Gráfico 4.4. Tiempo promedio DNS Check por mes.

Dicho tiempo llega a ser superior al diez por ciento del tiempo total que toma en descargar algunos sitios como por ejemplo <http://www.terra.cl> con el cual la resolución de nombre demora 1033 milisegundos en promedio y su tiempo de descarga promedio es de 8873 milisegundos, con lo que el tiempo de la resolución de nombre corresponde al 10,4 % del total desde que el usuario ingresa la dirección en el navegador hasta que se descarga el último elemento de la página.

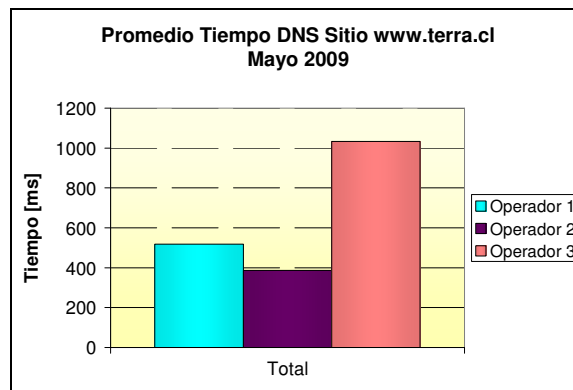


Gráfico 4.5. Promedio tiempo DNS www.terra.cl.

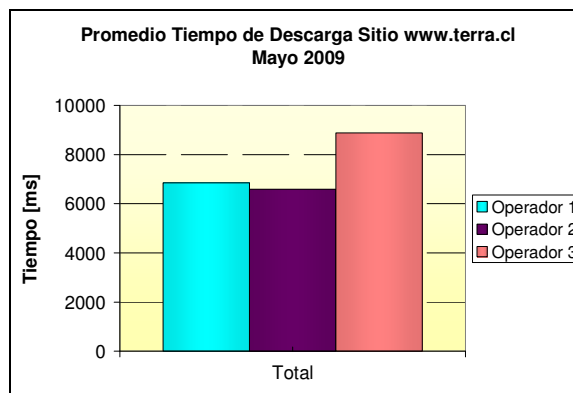


Gráfico 4.6. Promedio tiempo de descarga www.terra.cl.

Este factor puede ser aún más influyente en sitios más livianos que demoran menos en ser descargados empeorando la calidad de experiencia del usuario.

4.1.2.2 PING Check.

En esta prueba se midió el delay en milisegundos desde el cliente de medición a los sitios web más visitados por los usuarios. Viendo el promedio de los tiempos obtenidos por zona, en tres de las cuatro zonas Operador 3 presenta los tiempos más bajos sobretodo en la Región Metropolitana donde la diferencia es notoria con respecto a los otros dos operadores. Lo anterior puede deberse a varios factores entre los que están la infraestructura de la red, la carga de la red y el tipo de tecnología del enlace, ya que si bien en un principio es HSDPA, esto a veces no se mantiene durante toda la sesión, oscilando entre HSDPA, WCDMA y GPRS en algunos casos.

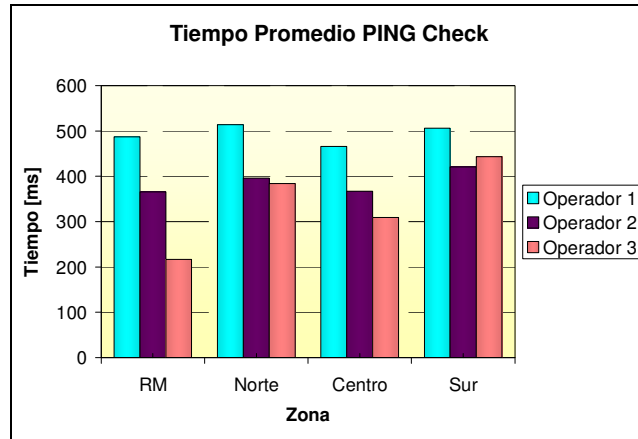


Gráfico 4.7. Tiempo promedio PING Check por zona.

Observando los tiempos de RTT para los distintos meses, se aprecia una clara tendencia entre los tres operadores siendo Operador 1 el que tiene los mayores tiempos seguido luego por Operador 2 y finalmente Operador 3 el cual presenta los menores tiempos.

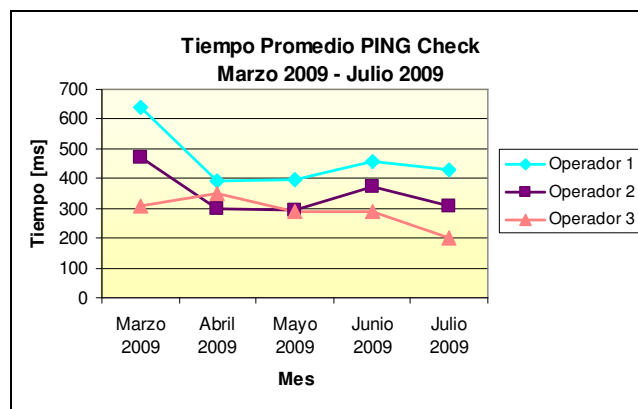


Gráfico 4.8. Tiempo promedio PING Check por mes.

4.1.2.3 HTTP PING.

La simulación de descarga de un sitio web se realizó para 12 de los páginas más solicitadas por los usuarios entre las que se encuentran www.emol.com, www.fotolog.com y www.youtube.com. Esta descarga intenta simular lo que realiza un navegador tradicional, el cual hace peticiones GET por la página principal y por cada elemento de esta, descargando estos elementos de forma paralela usando threads.

En las zonas Norte y Sur se aprecia una mayor tasa de transferencia por parte de Operador 2, con más de 50 kbps de diferencia en promedio con los otros dos operadores. Esto puede llegar a producir distintas percepciones de velocidad de la conexión ya que por ejemplo para una página de tamaño igual a 400 Kbytes, la diferencia de tiempo en la descarga entre Operador 2 y Operador 3 sería aproximadamente de 4 segundos en la Zona Sur. En la Región Metropolitana la ventaja la tiene Operador 3 con alrededor de 60 kbps sobre los otros operadores, lo que se traduce en 1,6 segundos de diferencia en la descarga de una página web de 400 Kbytes.

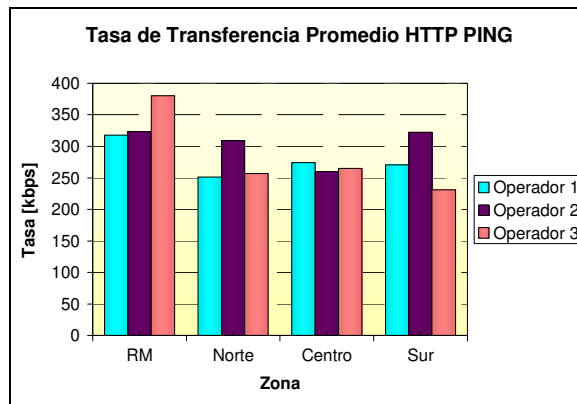


Gráfico 4.9. Tasa de transferencia promedio HTTP PING por zona.

A lo largo de los distintos meses no se logra ver que alguno de los operadores sobresalga, siendo Operador 2 el más estable de los tres. En los dos últimos meses de mediciones, Operador 3 presentó un alza en sus tasas de transferencia llegando alrededor de los 350 kbps.

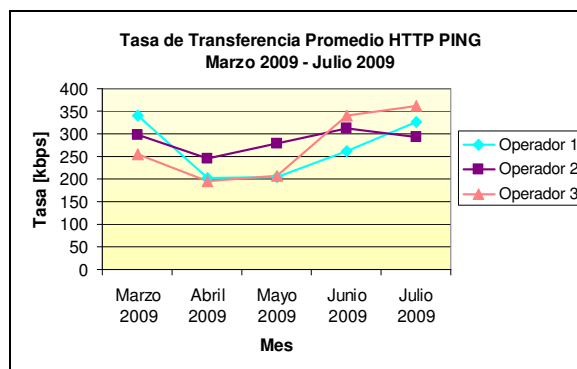


Gráfico 4.10. Tasa de transferencia promedio HTTP PING por mes.

4.1.2.4 FTP Download.

Esta prueba se realizó descargando un archivo binario de tamaño equivalente a 10 MBytes desde el servidor público ftp.rdc.cl. Operador 1 presentó el mayor throughput de los tres operadores presentando tasas sobre 1 Mbps en las cuatro zonas de medición, esto debido en gran parte a la mayor infraestructura que le permite tener un mayor ancho de banda para los usuarios.

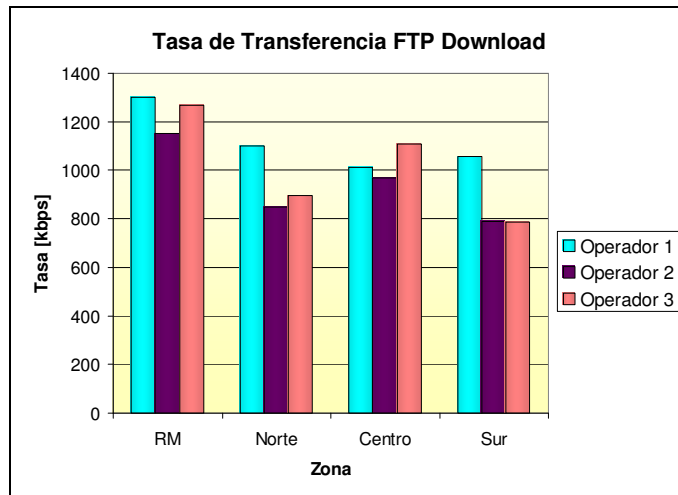


Gráfico 4.11. Tasa de transferencia FTP Download por zona.

Los tres operadores sin embargo, tuvieron tasas de transferencia sobre los 700 kbps, tasa que establecen en sus distintos sitios web como promedio bajo condiciones favorables para sus planes ilimitados de mayor capacidad. Este nivel de throughput se asemeja al obtenido con una conexión de banda ancha fija básica.

Durante los distintos meses de mediciones tanto Operador 2 como Operador 3 mantuvieron los valores de tasa de transferencia alrededor de 1 Mbps en promedio, mientras que con Operador 1 se obtuvieron valores mayores a los 1,2 Mbps en los meses de Junio y Julio en forma creciente.

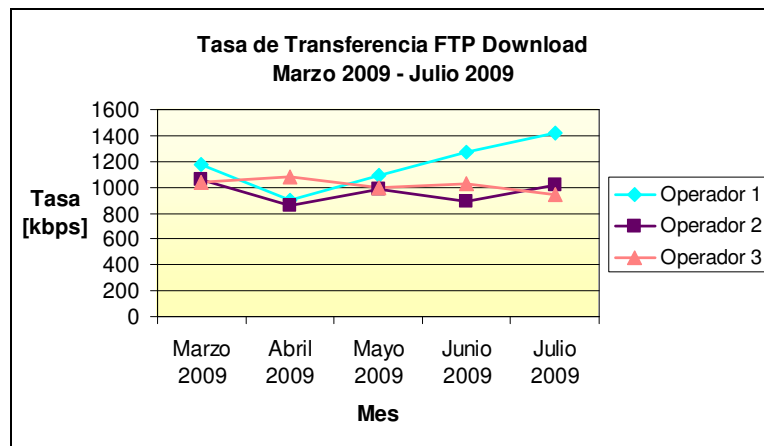


Gráfico 4.12. Tasa de transferencia FTP Download por mes.

4.1.2.5 FTP Upload.

En esta prueba se subió un archivo binario de tamaño igual a 2 Mbytes al servidor FTP `intelec.dyndns.org`, para la transferencia se ocupó una sola conexión TCP. Al separar los resultados obtenidos por la zona de medición, se ve claramente la aplicación de una política de control de tráfico más estricta por parte de Operador 1 y Operador 3, el primero limitando la velocidad de subida en 64 kbps y el segundo estableciendo un límite en los 128 kbps.

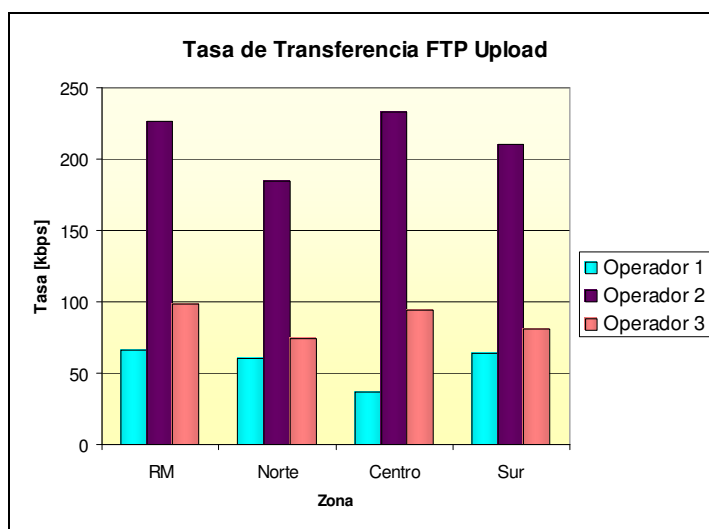


Gráfico 4.13. Tasa de transferencia FTP Upload por zona.

Esta limitación no afecta de gran manera la experiencia de los usuarios considerando que éstos mayoritariamente realizan acciones de descarga al usar el servicio de banda ancha móvil. Sin embargo en ciertas aplicaciones como el envío de un correo electrónico con un archivo adjunto esta limitación puede producir una mala experiencia dependiendo del tamaño del archivo. Por ejemplo con una tasa de subida de 64 kbps, adjuntar un archivo de 500 Kbytes demora 64 segundos y un archivo de 2 Mbytes demora 4 minutos y 22 segundos.

Esta prueba comenzó a realizarse a partir del mes de abril de 2009, mes en el que se notó la diferencia en los límites de velocidad por parte de Operador 1 y Operador 3 con respecto a Operador 2, este último con un límite máximo de 256 kbps. Esta situación se mantuvo hasta el mes de julio, cuando Operador 2 comenzó a aplicar también un límite para el tráfico de subida.

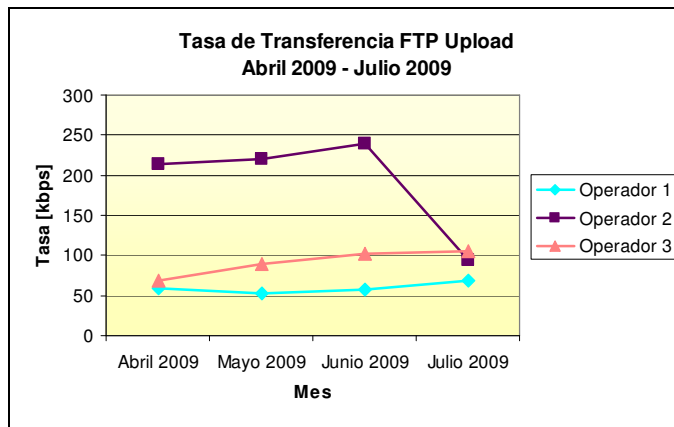


Gráfico 4.14. Tasa de transferencia FTP Upload por mes.

Ya con los tres operadores aplicando un límite en el tráfico de subida de datos, Operador 2 y Operador 3 quedaron con un límite cercano a los 120 kbps mientras que Operador 1 continuaba con los 64 kbps de velocidad máxima.

4.1.3 Benchmarking Automático.

Esta prueba no fue realizada en forma permanente ya que todos los módems destinados para realizar Benchmarking fueron utilizados para efectuar las mediciones que se presentaron en la sección anterior. Sin embargo por un breve periodo de tiempo fue posible efectuar pruebas con tres módems, uno de cada operador, conectados simultáneamente a una máquina realizando mediciones alternadas cada 20 minutos. Las mediciones resultaron exitosas midiendo de la misma manera como si estuviera un solo módem conectado. Debido al breve periodo de tiempo en que se efectuaron estas pruebas, la información recolectada no fue suficiente como para ser analizada adecuadamente. Las muestras no permitieron efectuar conclusiones, por lo que a continuación se muestran un par de gráficos con el fin de mostrar el funcionamiento de la aplicación.

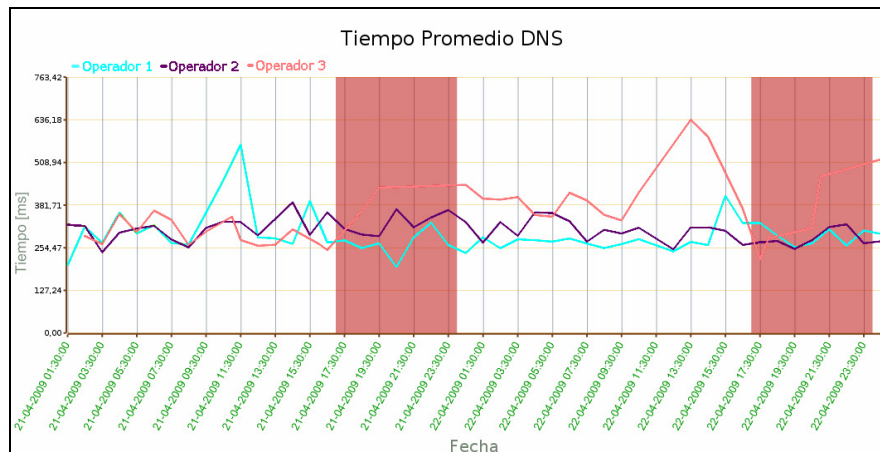


Gráfico 4.15. Tiempo de respuesta DNS Check benchmarking automático.

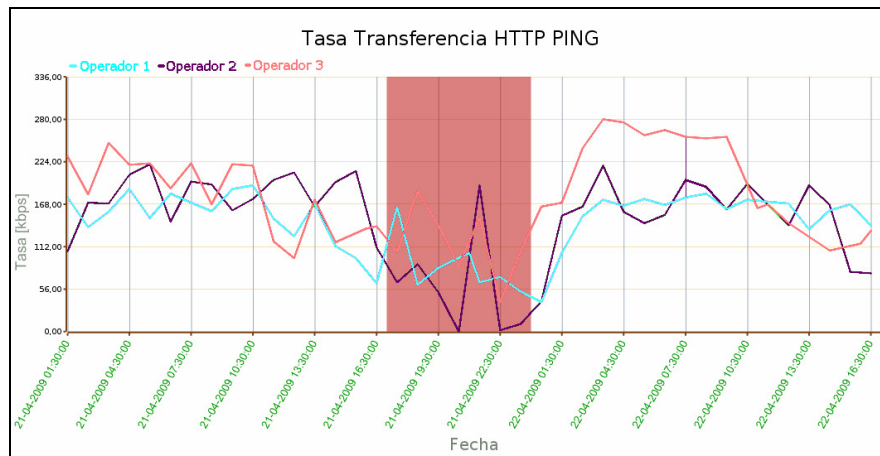


Gráfico 4.16. Tasa de transferencia HTTP PING benchmarking automático.

4.1.4 Monitoreo Automático.

Utilizando la aplicación de medición desarrollada en entorno Unix se realizaron mediciones periódicas de forma automática a partir del mes de Marzo de 2009. Para las mediciones se empleó un computador de escritorio con un módem USB del operador Movistar conectado de manera permanente. Para establecer la conexión se usaron dos puntos de acceso, web.tmovil.cl y wap.tmovil.cl. El primero es el que se ocupa para el servicio de banda ancha a través de los módems USB y el segundo que se ocupa para la navegación WAP, este se agregó para aprovechar el software de medición ya que las pruebas de rendimiento son de utilidad para este punto de acceso. Como solo se contaba con un módem USB, las mediciones se realizaban alternando el punto de acceso entre web.tmovil.cl y wap.tmovil.cl, separados por un intervalo de tiempo configurable el cual fue para la mayoría de las mediciones equivalente a 15 minutos, tiempo suficiente para que el software de medición lleve a cabo todas las pruebas de rendimiento en condiciones normales del servicio.

4.1.4.1 Validación estadística de las muestras obtenidas.

Como el intervalo de tiempo entre mediciones es de tan solo de unos minutos, en cosa de días ya se tienen bastantes muestras como para poder definir el comportamiento de las distintas variables que se registran. Para poder analizar estas grandes cantidades de datos, aparte de graficarlos cada uno de ellos en un gráfico temporal, es necesario poder representar como se distribuyen estadísticamente con el objetivo de tener un panorama más general y poder comparar distintos grupos de muestras en un mismo gráfico.

Se supone que las variables que representan tiempos o throughputs, que tienen una desviación relativamente simétrica alrededor de su media siguen una distribución Normal. Para corroborar esto se realizan test de normalidad sobre un grupo de muestras.

Utilizando el software estadístico Minitab¹² se realizó el test de Kolmogorov–Smirnov para determinar la normalidad de las variables que se estudian. Los siguientes gráficos muestran este análisis.

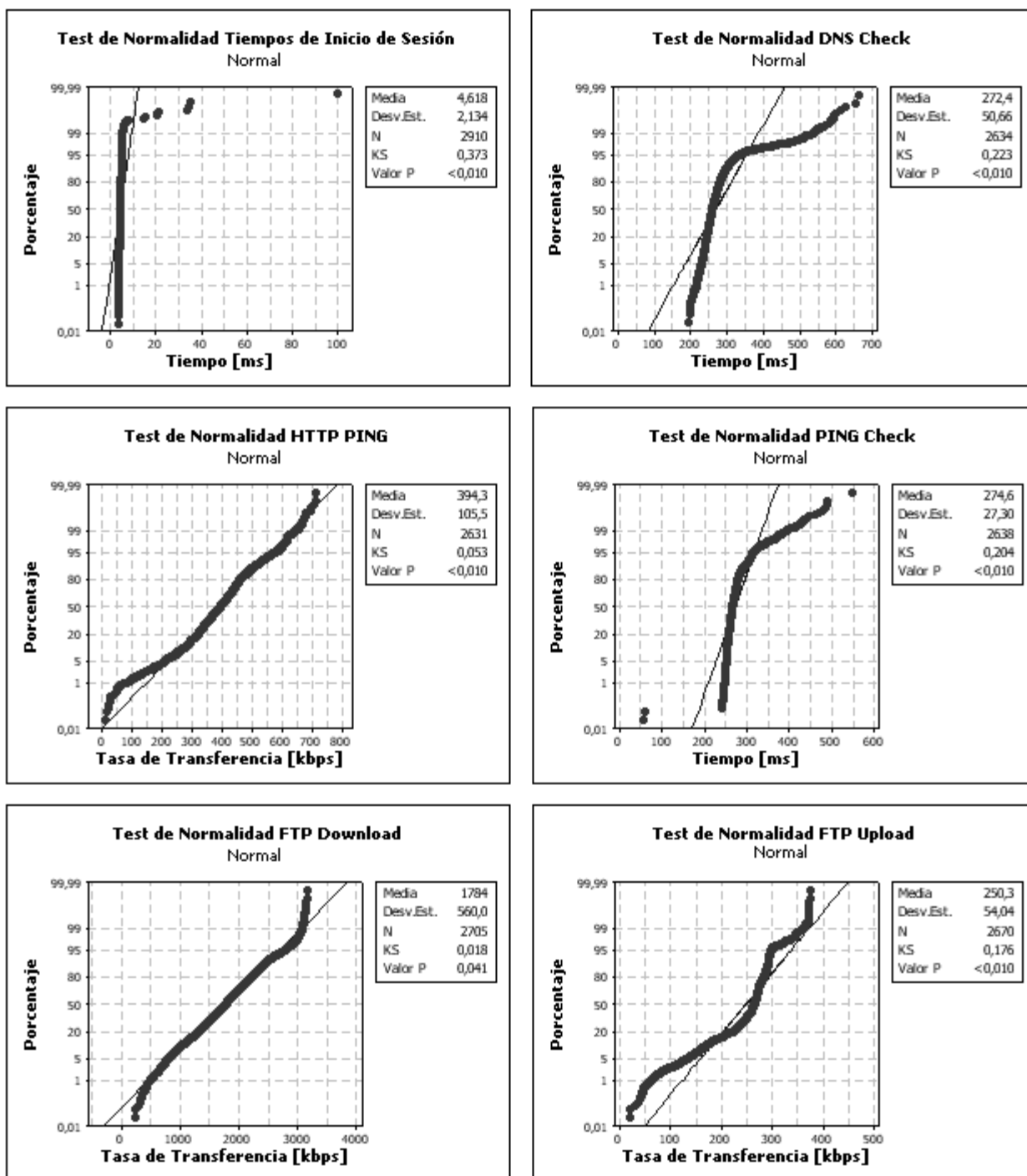


Figura 4.1. Test de Kolmogorov–Smirnov para las distintas variables medidas.

¹² <http://www.minitab.com>

Las pruebas arrojaron que todas las variables siguen una distribución normal, por lo que se usarán los parámetros de media (μ) y desviación estándar (σ) para caracterizarlas.

Una vez definida la distribución de las variables, es necesario saber un número de muestras mínimo que se deben obtener para que los parámetros que se quieren medir sean correctos con un porcentaje de confianza. Para este propósito se ocupa la siguiente fórmula [3]:

$$n = \frac{\sigma(\alpha)^2}{(a)^2} \left(\frac{s}{\bar{x}} \right)^2$$

donde a es el error de muestreo supuesto, α es el error porcentual del intervalo de confianza, $\sigma(\alpha)$ es el percentil $(1-\alpha/2)*100$ de la distribución $N(0,1)$ (que se obtiene de tablas), s es la desviación estándar esperada que se calcula de muestras anteriores con:

$$s = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

y \bar{x} corresponde al valor medio esperado calculado con:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

A continuación se presenta una tabla con el número de mediciones necesarias para tener intervalos de confianza con una probabilidad de 95% para las variables antes mencionadas.

Tabla 8. Número de muestras para intervalo de confianza de 95%.

Variable	Media	Desv. Estandar	Error de muestreo	α	$\sigma(\alpha)^2$	Número de muestras	Días de medición (cada 15 min)
Tiempo de Inicio de Sesión [seg]	4,618	2,134	0,02	0,05	3,841	2051	21
Tiempo Respuesta DNS [ms]	272,4	50,66	0,02	0,05	3,841	332	3
Tasa de Transferencia HTTP [kbps]	394,3	105,5	0,02	0,05	3,841	687	7
Tiempo PING [ms]	274,6	27,3	0,02	0,05	3,841	95	1
Tasa de Transferencia FTP Download [kbps]	1794	560	0,02	0,05	3,841	936	10
Tasa de Transferencia FTP Upload [kbps]	250,3	54,04	0,02	0,05	3,841	448	5

De la tabla se desprende que el mayor período de días de medición para evaluar el tiempo de inicio de sesión debe ser de 21 días y para el resto de las variables están por debajo de los 10 días.

4.1.4.2 Pruebas de rendimiento.

Se registró el tiempo que tarda cada sesión en ser establecida, para esto se consideró como tiempo de partida el momento en que se ejecuta el comando *wvdial* para realizar la conexión en el software de medición automática y como tiempo final, el momento en que son asignados a la máquina los servidores DNS primario y secundario. El siguiente gráfico muestra los valores obtenidos para los inicios de sesión usando los puntos de acceso *wap.tmovil.cl* y *web.tmovil.cl* durante la semana del 21 al 27 de julio.

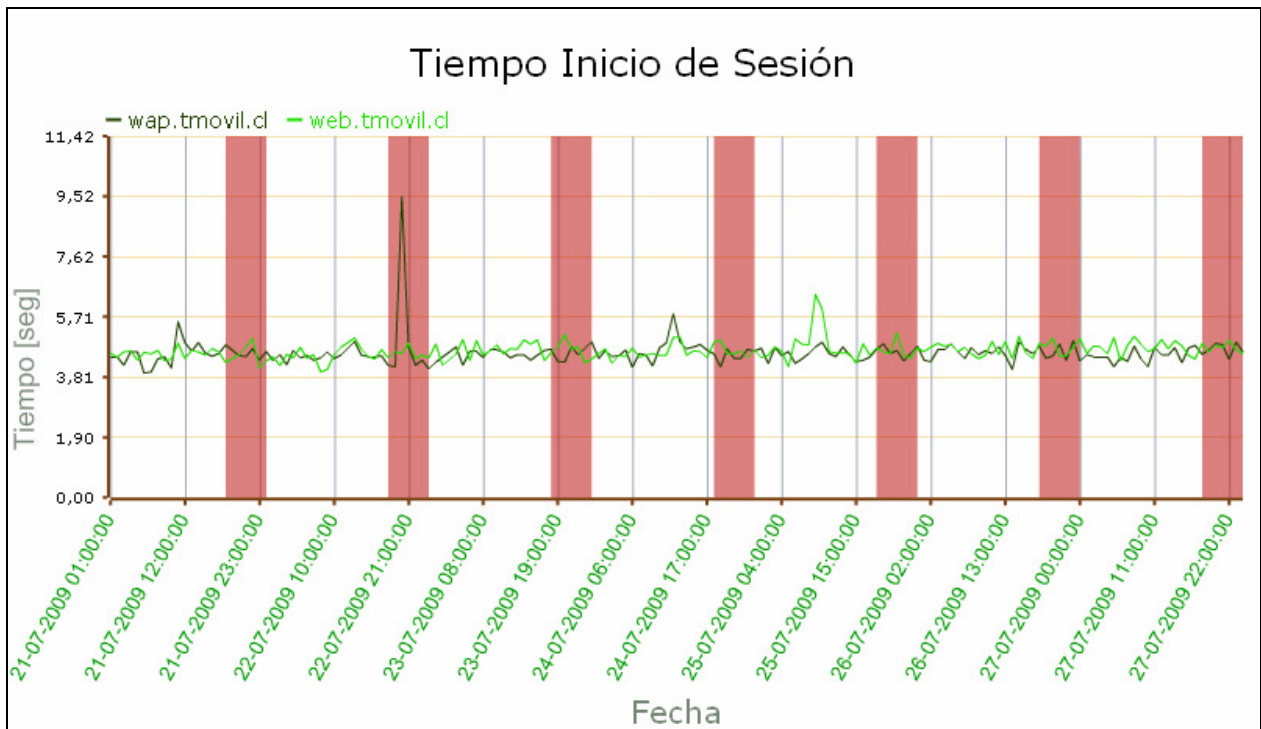


Gráfico 4.17. Tiempo de Inicio de sesión monitoreo automático.

Los tiempos obtenidos fueron bastante estables con un valor promedio de 4.26 ms. Tanto en este gráfico como en los sucesivos, las franjas de color rojizo corresponden al período de mayor tráfico durante cada día o período cargado. Para todas las pruebas realizadas, este período cargado estuvo aproximadamente entre las 6 de la tarde y las 12 de la noche.

Otro valor obtenido sobre la conexión fue el de la calidad de señal del enlace de radio, si bien este valor no representa mayormente la calidad de señal durante la medición completa debido a que se registra al momento de iniciar la sesión, proporciona una idea cercana del enlace de radio en dicho momento. Además al realizarse estas mediciones con un solo equipo ubicado en el mismo edificio en el que se encuentra una estación base, no se tienen valores muy distintos como se ve en el siguiente gráfico.

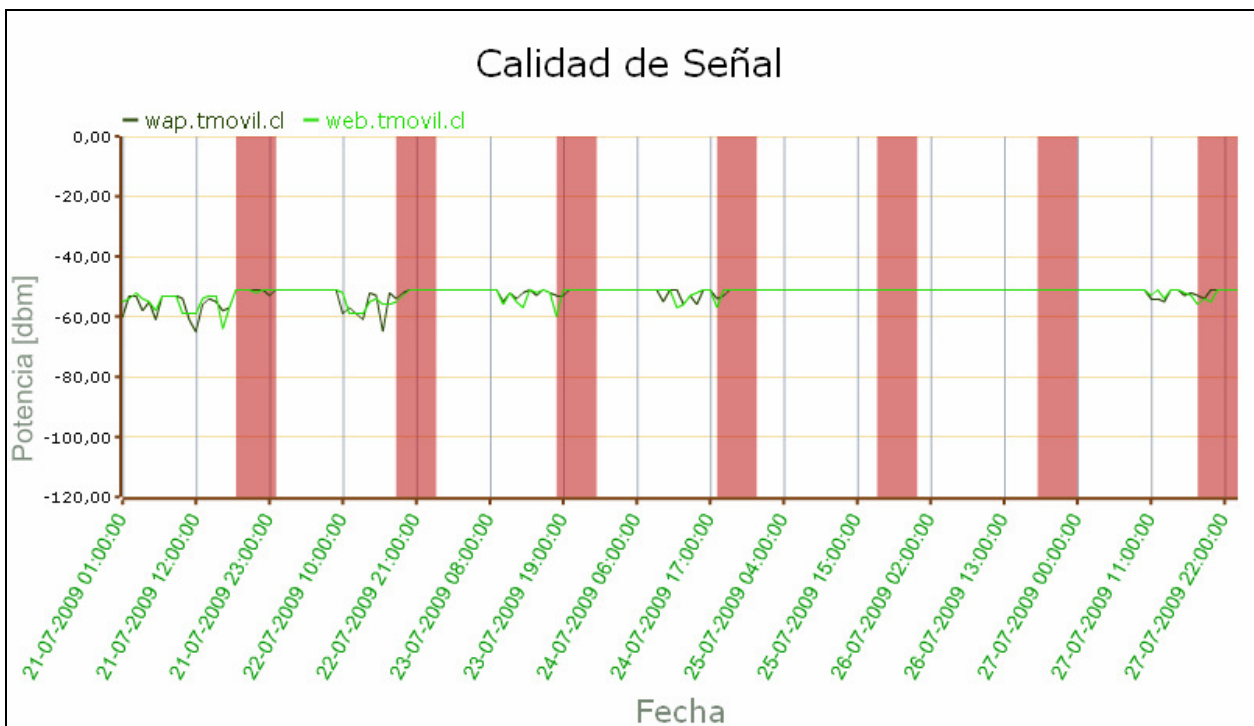


Gráfico 4.18. Calidad de señal monitoreo automático.

La mayor parte del tiempo la potencia de la señal de radio correspondió al máximo valor posible de -51 dbm con un valor medio de -53.43 dbm por lo que se tuvieron buenas condiciones de intensidad de señal para la realización de las pruebas.

A continuación se presentan los resultados más importantes de estas mediciones separados por los distintos test realizados concluyendo con el indicador global generado a partir de las muestras.

4.1.4.2.1 DNS Check.

Los sitios consultados en esta prueba fueron los 60 con mayor cantidad de peticiones de resolución de nombre en los servidores DNS de Movistar. Para ambos puntos de acceso (APN) los tiempos promedio están alrededor de los 270 milisegundos sin tener gran influencia el período del día, esto se puede apreciar en el Gráfico 4.19 con datos entre el 06 y 12 de julio.

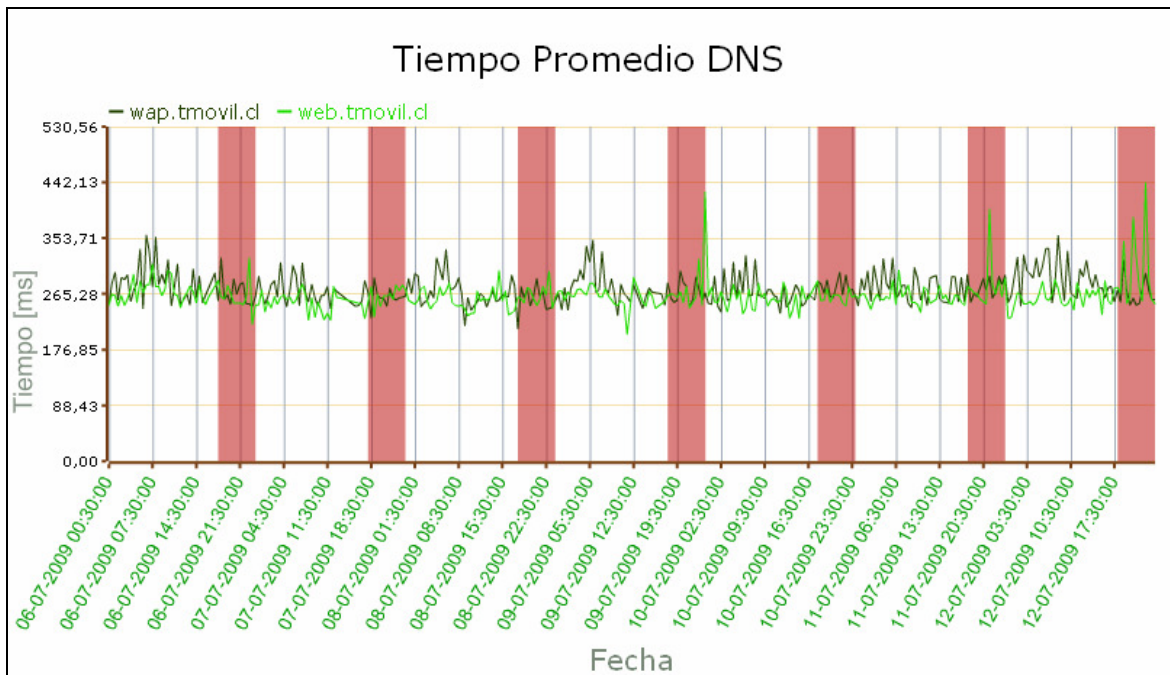


Gráfico 4.19. Tiempo promedio DNS monitoreo automático.

Al separar las mediciones obtenidas por los servidores DNS que fueron consultados se nota la diferencia que existe entre ellos por factores entre los que pueden estar su ubicación geográfica, la carga a la cual están sometidos y la rapidez de procesamiento de la máquina. En el Gráfico 4.20 se presenta la distribución de las muestras por servidor DNS, siendo el 200.28.4.130 el que tiene la menor media así como también la menor desviación estándar. Cabe destacar el caso del servidor 201.220.232.44 que si bien tiene un valor medio aceptable cercano a los 300 [ms], su desviación estándar es un 20% mayor a la del servidor 200.68.32.180.

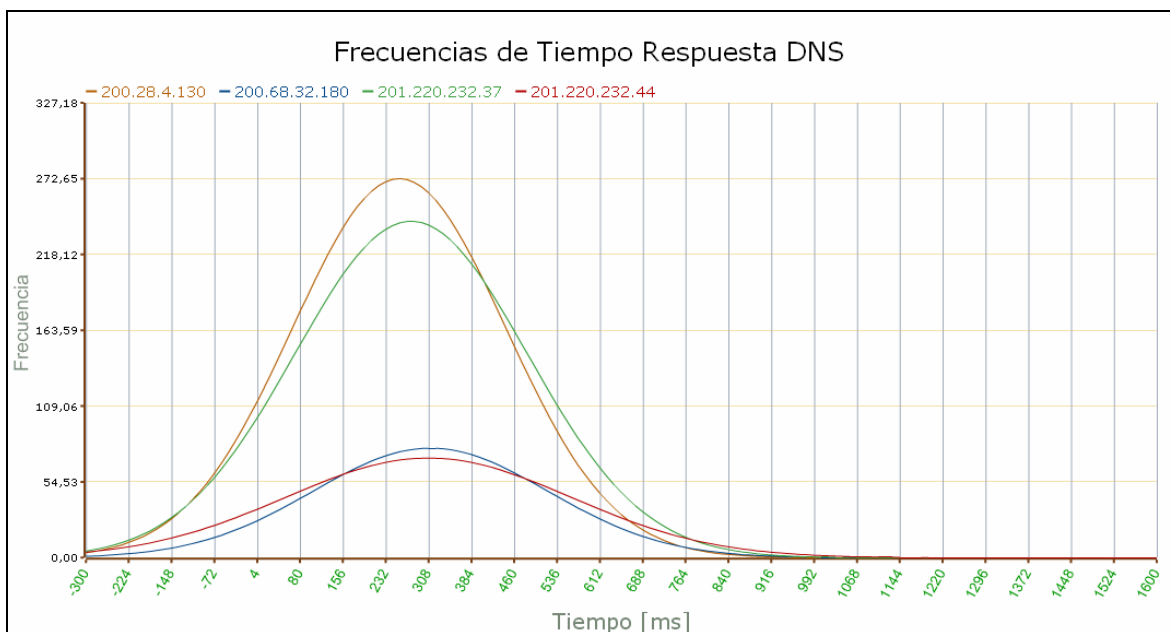


Gráfico 4.20. Frecuencias de tiempo de respuesta servidores DNS monitoreo automático.

Entre los distintos sitios web que fueron consultados también existen diferencias en el tiempo que demoró la consulta. Se puede ver en el siguiente gráfico que hay sitios que presentan un tiempo promedio menor a los 200 [ms] y desviación estándar menor a 100 [ms] mientras que otros como www.youtube.com y www.facebook.com tienen valores promedio de 422 y 528 [ms] respectivamente además de altas desviaciones estándar, subiendo el valor promedio general.

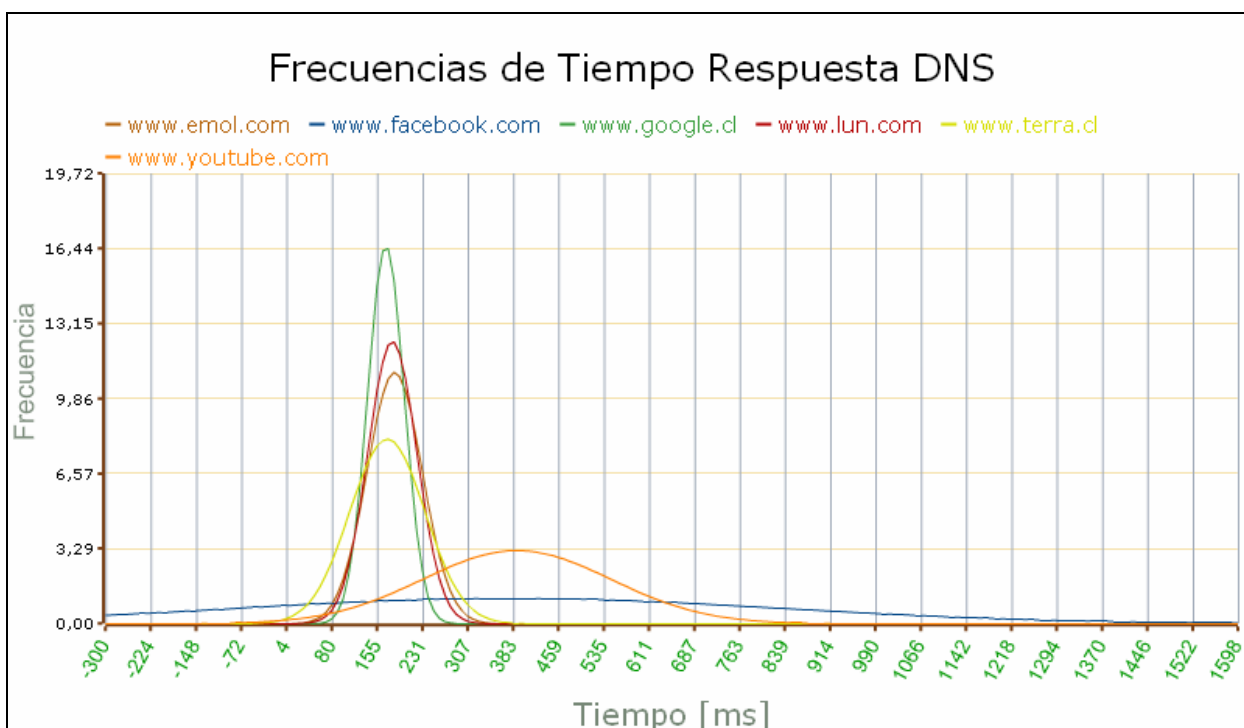


Gráfico 4.21. Frecuencias de tiempo de respuesta DNS monitoreo automático por sitio.

4.1.4.2.2 HTTP PING.

Se descargaron constantemente ocho sitios de entre los más visitados por los usuarios tratando de simular a un navegador (*browser*) cualquiera. A diferencia del test anterior en este se producen mayores volúmenes de tráfico, alrededor de 3 Mbytes sumando a todos los sitios. Es por esto que se hace notorio el efecto del período cargado (o de mayor tráfico) en el resultado de las mediciones, observándose curvas que van oscilando de acuerdo al momento del día.

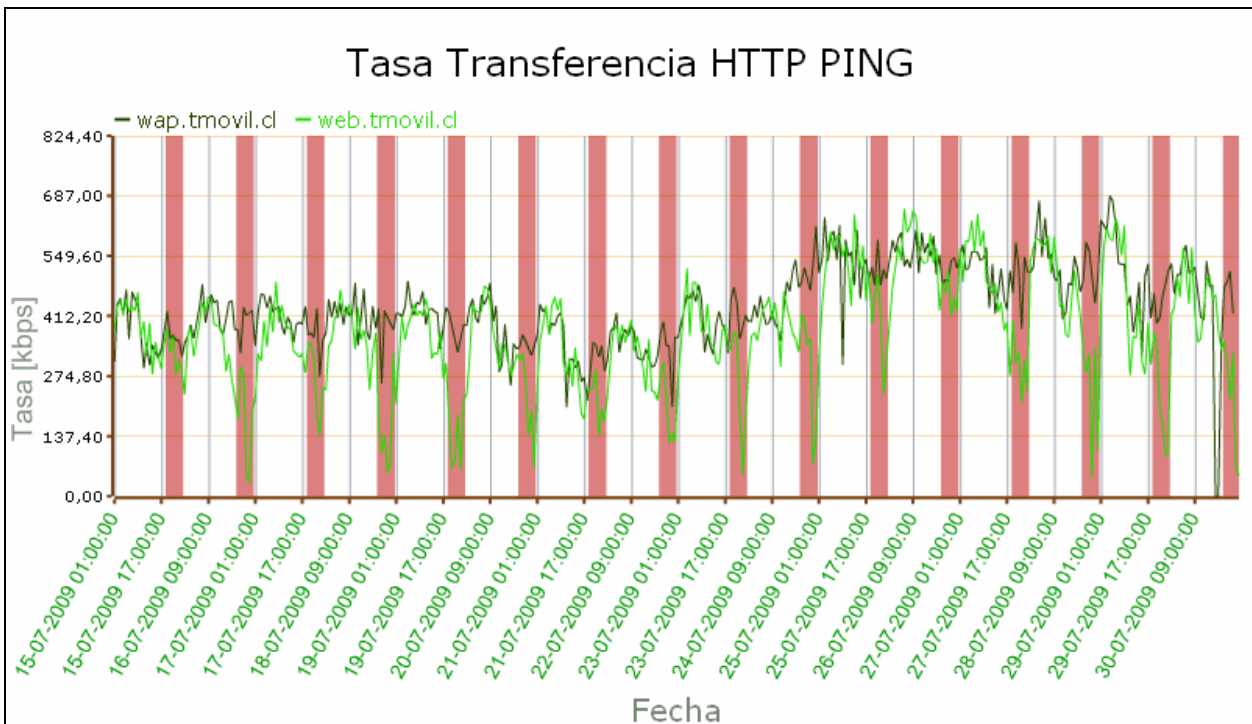


Gráfico 4.22. Tasa de transferencia HTTP PING monitoreo automático.

Por lo general los valores registrados fueron menores en el período cargado (entre 18 y 24 hrs.) como se puede observar en el Gráfico 4.22 correspondiente a la segunda quincena del mes de julio. Una de las cosas que destacan es que el tráfico más afectado es el que tiene como punto de acceso a web.tmovil.cl, esto se da básicamente por que el APN wap.tmovil.cl se utiliza para navegación WAP en la cual los volúmenes de páginas son bastante menores comparados con los que se transfieren a través de web.tmovil.cl.

Los distintos sitios también presentan diferencias entre ellos, destacándose el sitio www.emol.com el cual presenta un throughput promedio de un poco más de 1 Mbps, más de 500 kbps que el sitio que le sigue www.terra.cl. Esto se debe en gran parte a la relación que existe entre el Round Trip Time de un sitio y el throughput efectivo en su descarga además del tamaño de los componentes del mismo, esta relación se aborda más en detalle más adelante.

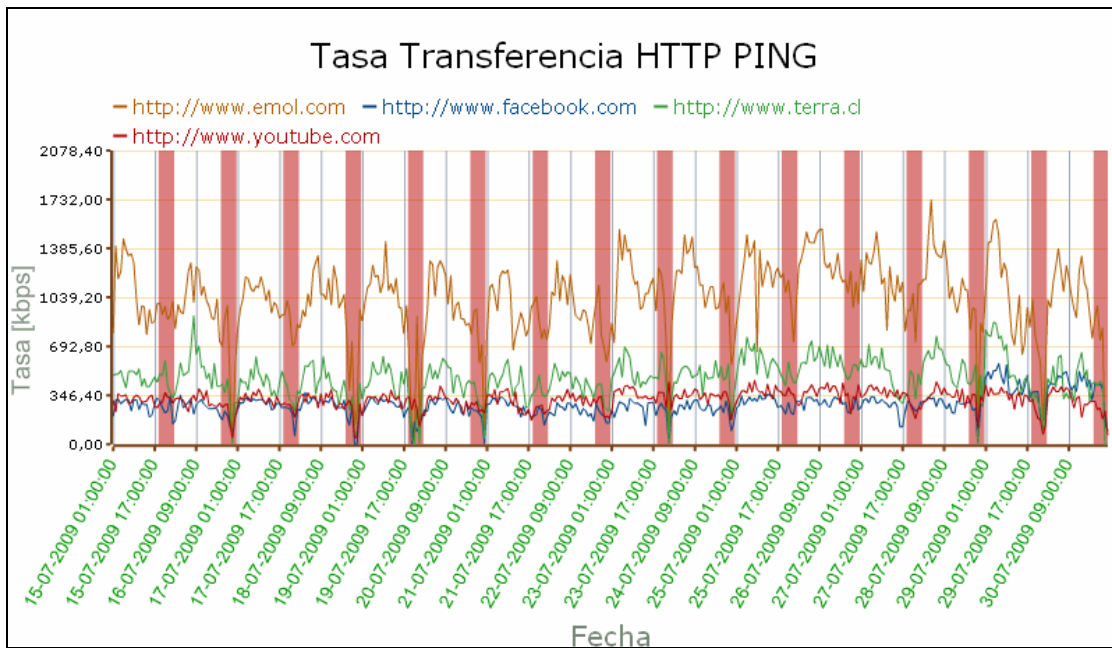


Gráfico 4.23. Tasa de transferencia HTTP PING monitoreo automático por sitio.

Esta diferencia entre sitios se aprecia mejor al graficar las muestras siguiendo una distribución normal viéndose que www.youtube.com y www.facebook.com tienen una mejor desviación estándar a pesar de su bajo valor medio a diferencia de www.emol.com que tiene una desviación estándar de 341 kbps, sin embargo utilizando la propiedad de la distribución normal en la cual alrededor del 95 % de las muestras se encuentra en el intervalo $[\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma]$ lo que en este caso sería el intervalo [372 kbps, 1736 kbps] lo cual es adecuado con respecto al resto de los sitios.

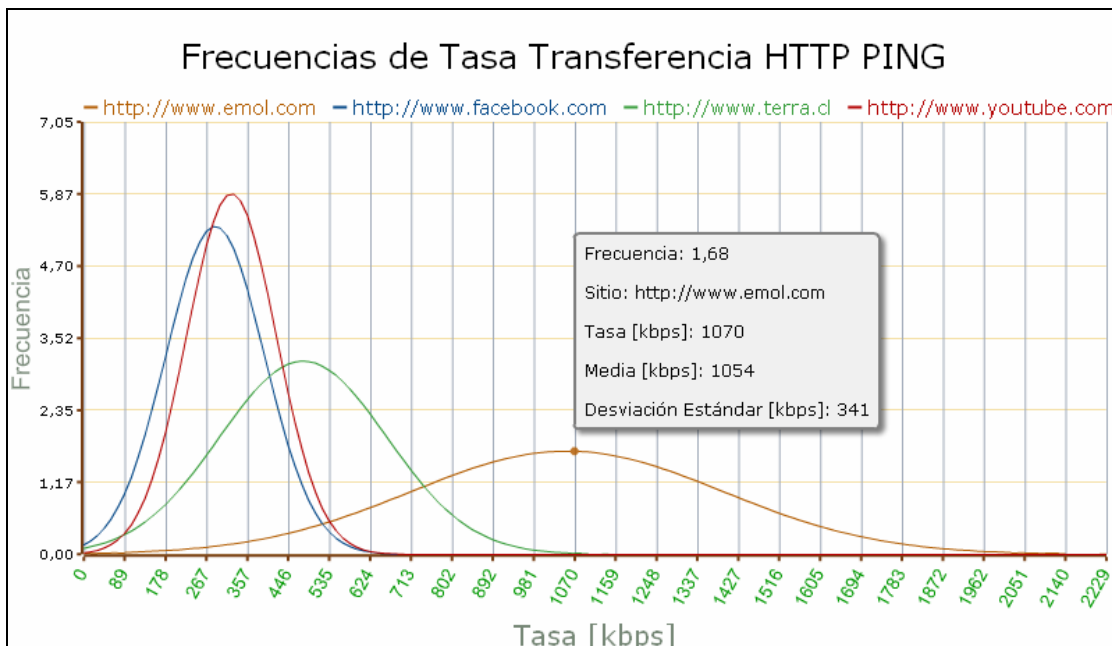


Gráfico 4.24. Frecuencias tasa de transferencia HTTP PING monitoreo automático por sitio.

Otro factor importante además de la tasa de transferencia de los sitios es el tiempo en que éstos son descargados ya que pueden presentar un bajo throughput por el motivo de que gran parte de su contenido sea texto y además tener pocas imágenes, pero se descargan en un tiempo breve que es lo que el usuario finalmente percibe. Como la navegación web es una aplicación interactiva, estos tiempos no deben ser mayores a unos cuantos segundos. En el siguiente gráfico se muestran los tiempos promedio que demoraron en descargarse algunos de los sitios. Cabe destacar que corresponde al tiempo completo de descarga, el tiempo que tarda en aparecer parte del contenido dentro del área visible del navegador por lo general es menor que el tiempo total.

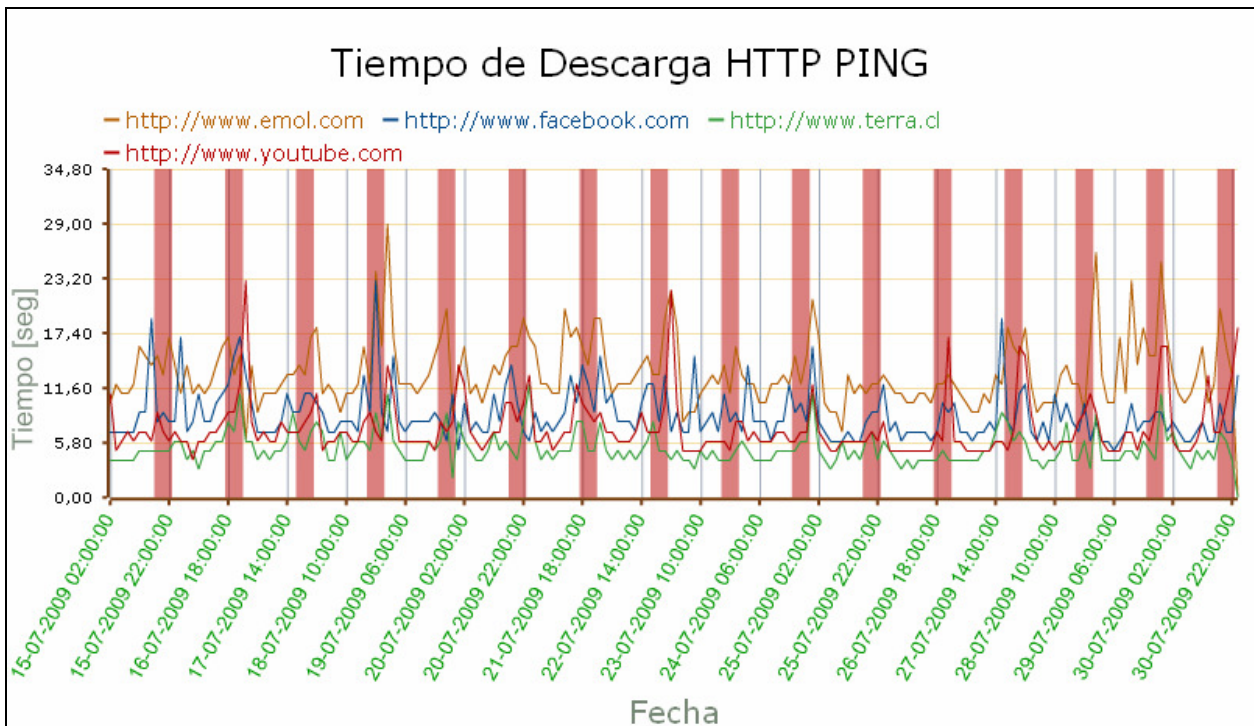


Gráfico 4.25. Tiempo de descarga HTTP PING monitoreo automático por sitio.

En promedio todos los tiempos están bajo los 12 segundos, el más alto es www.emol.com lo que se puede entender porque es un sitio con gran contenido de imágenes teniendo una extensión de aproximadamente 7 a 8 áreas visibles del navegador.

4.1.4.2.3 PING Check.

También realizada sobre los sitios con mayor demanda por los clientes, en esta prueba se aprecia el tiempo promedio que demoran los paquetes de datos en ir y volver a los distintos sitios. Este tiempo resultó ser bastante estable, estando en promedio alrededor de los 300 ms. No se observa influencia aparente del período del día en los tiempos registrados.

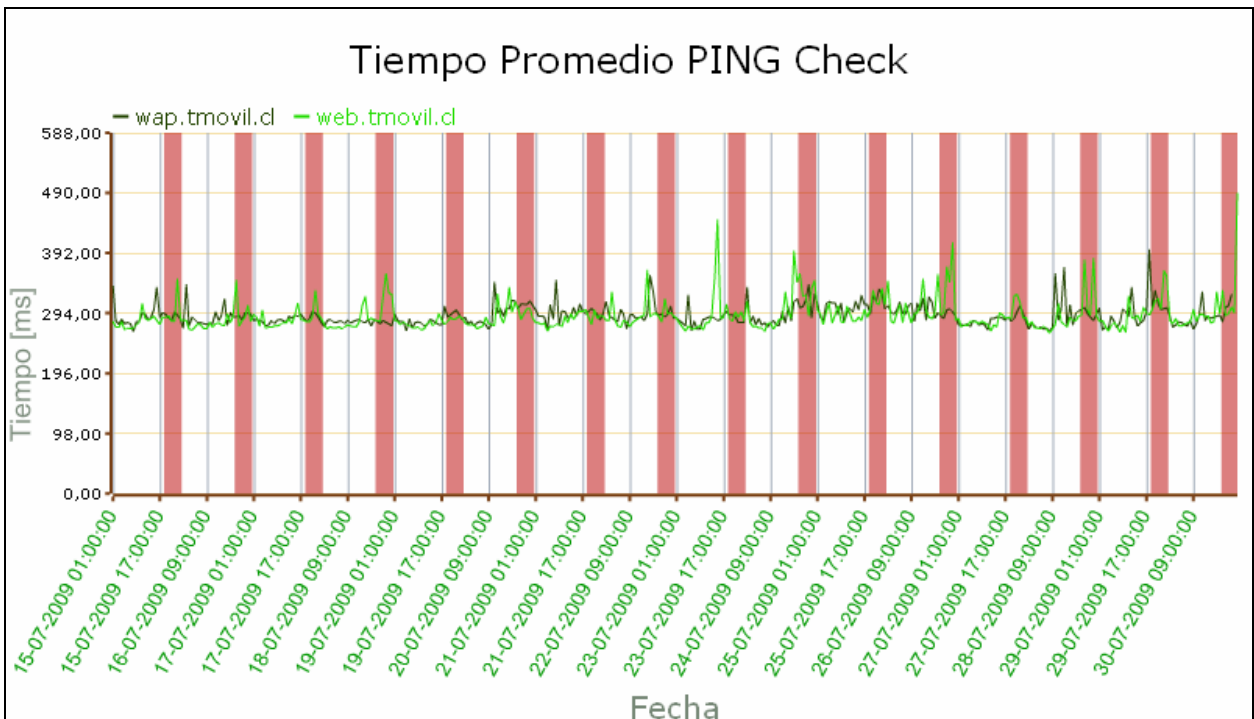


Gráfico 4.26. Tiempo promedio PING Check monitoreo automático.

El tiempo de cada sitio es independiente del acceso de radio considerando que esta prueba no demora más de 2 minutos, descartando que algún cambio en el enlace de radio pueda influir, por lo que las diferencias se producen tanto en la red interna como también en Internet.

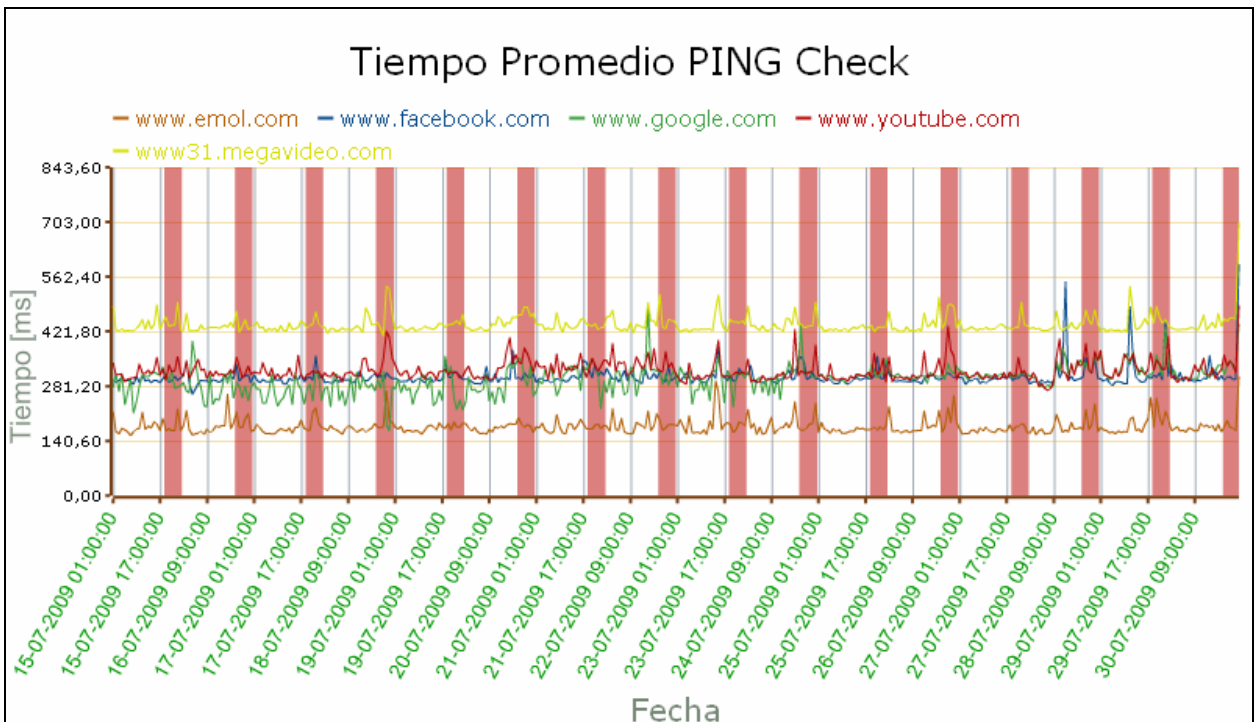


Gráfico 4.27. Tiempo promedio PING Check monitoreo automático por sitio.

Por tal motivo es que se pueden ver diferencias como las del Gráfico 4.27 donde un sitio nacional como www.emol.com con su servidor central ubicado en Santiago de Chile tiene un RTT de 170 ms, alrededor de la mitad que sitios como www.facebook.com y www.youtube.com (con servidores centrales en California, USA) con tiempos promedios de 310 y 327 ms respectivamente.

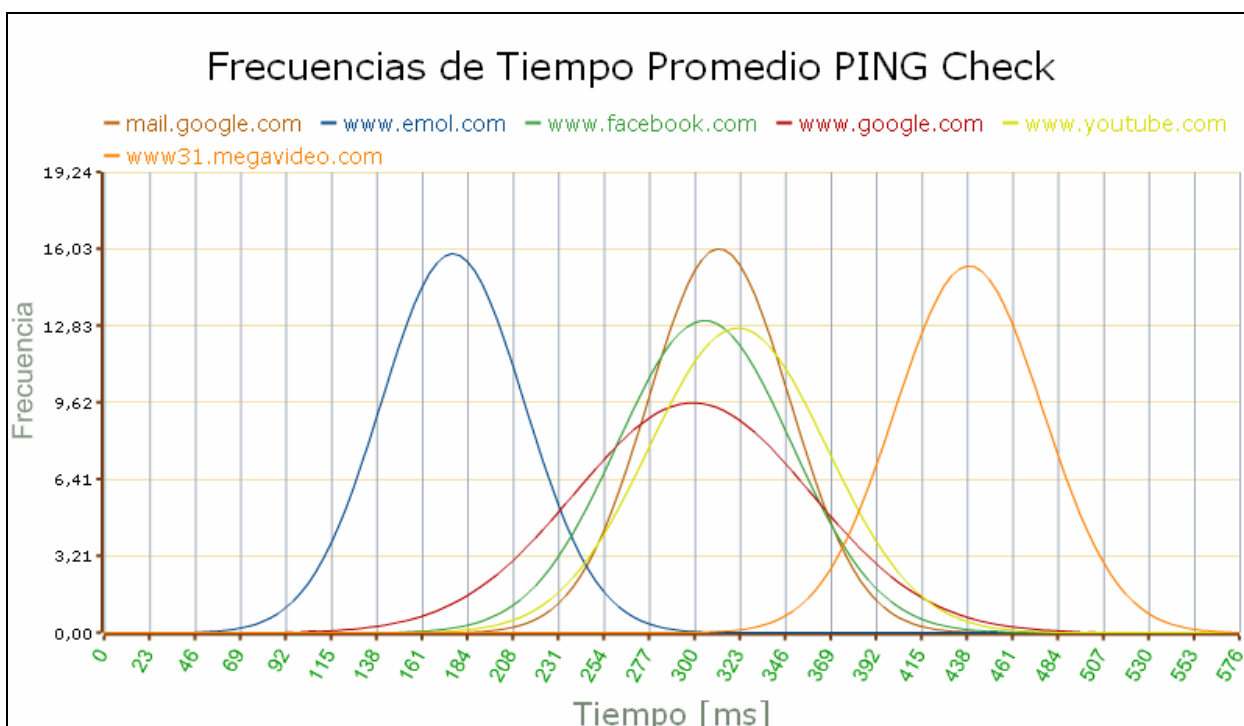


Gráfico 4.28. Frecuencias tiempo promedio PING Check monitoreo automático por sitio.

Estas desigualdades de tiempo influyen directamente sobre la de experiencia de navegación web que pueda tener un usuario ya que para páginas web relativamente similares en contenido, la diferencia en los tiempos que estas se despliegan en pantalla pueden llegar a varios segundos.

4.1.4.2.4 FTP Download.

Al igual que en la prueba realizada para Benchmarking, se descargó el mismo archivo de 10 Mbytes desde el servidor FTP <ftp.rdc.cl>. El efecto del mayor tráfico de red en el período cargado se refleja claramente en las mediciones obtenidas produciéndose incluso diferencias mayores a 2 Mbps entre mediciones del período cargado y el no cargado.

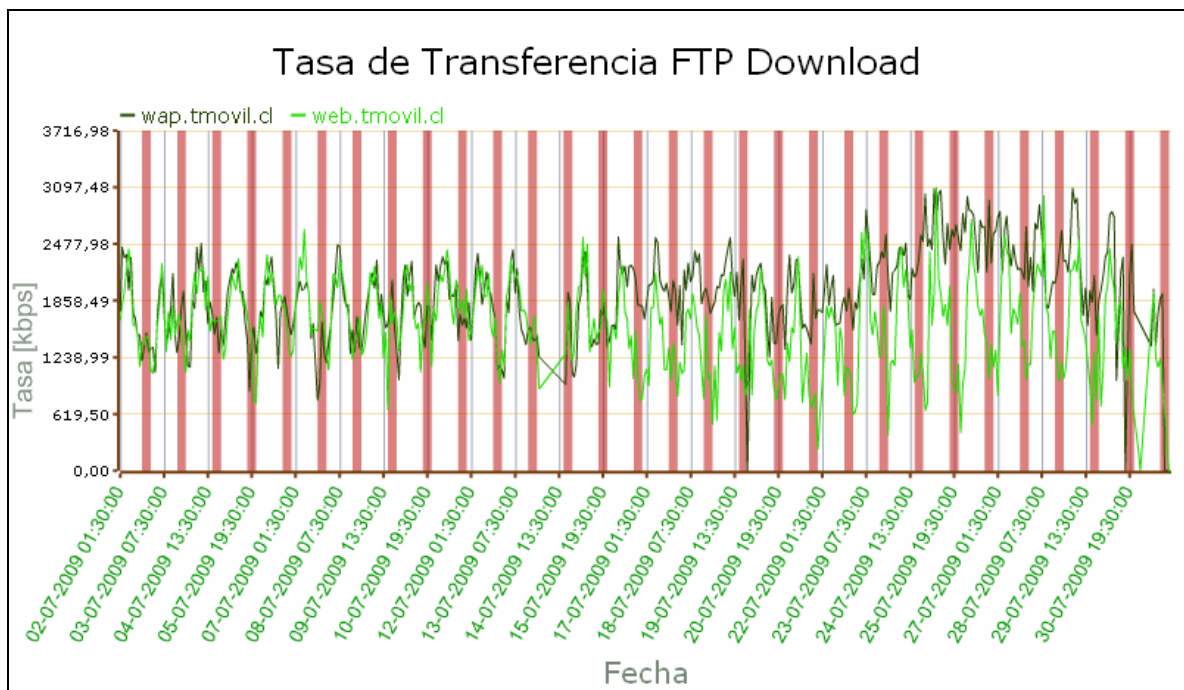


Gráfico 4.29. Tasa de transferencia FTP Download monitoreo automático.

En la última semana de julio se nota un incremento en la tasa máxima alcanzada así como también una mayor diferencia entre los valores de los distintos APN durante el periodo cargado. Esta diferencia se aprecia en el siguiente gráfico en que se muestra el indicador de calidad de servicio reflejando la relación entre el valor las distintas mediciones y un umbral calculado a partir de las muestras obtenidas como se explica en la sección 3.8 de este documento.

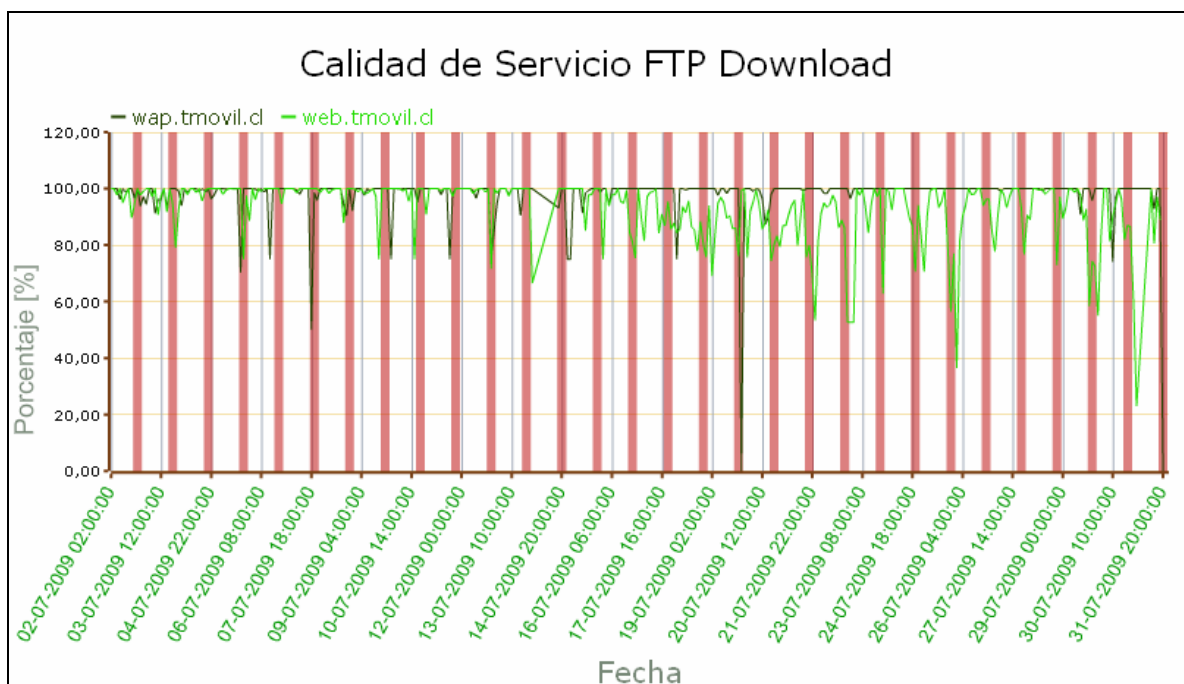


Gráfico 4.30. Calidad de servicio FTP Download monitoreo automático.

En el gráfico se aprecia que mientras las descargas a través del APN wap.tmovil.cl se mantienen la mayoría del tiempo en un 100 % a diferencia de las que se realizan con el APN web.tmovil.cl varían continuamente llegando hasta valores por debajo del 60 % del umbral.

4.1.4.2.5 FTP Upload.

En esta prueba se subió un archivo de 500 Kbytes de tamaño al servidor intelc.dyndns.org. Si bien existe una disminución en el throughput en el período cargado, ésta no es tan marcada como en FTP Download. Las muestras obtenidas alcanzan un valor máximo entre 280 y 300 kbps que disminuye en las horas de alto tráfico, por lo que no se percibe una estrategia de limitación de velocidad como se comentó en las pruebas de Benchmarking.

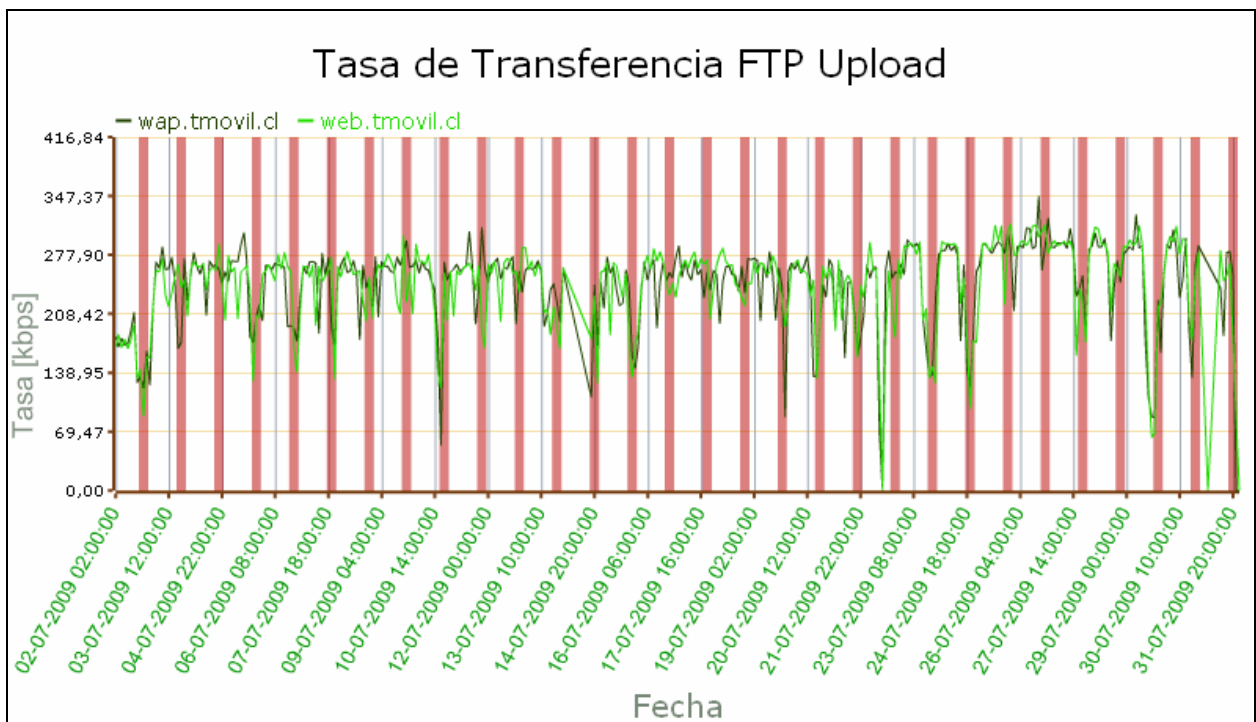


Gráfico 4.31. Tasa de transferencia FTP Upload monitoreo automático.

4.1.4.2.6 Flash Download

En esta prueba se simuló la reproducción de un video flash de youtube de una duración de 60 segundos y un tamaño de 2,3 Mbytes. En el siguiente gráfico se aprecia el tiempo promedio que demoró en iniciarse la reproducción, esto es desde que se hace clic en un link que conduce a la página del video (o se ingresa la URL en el navegador) hasta que se reciben los primeros bytes del video.

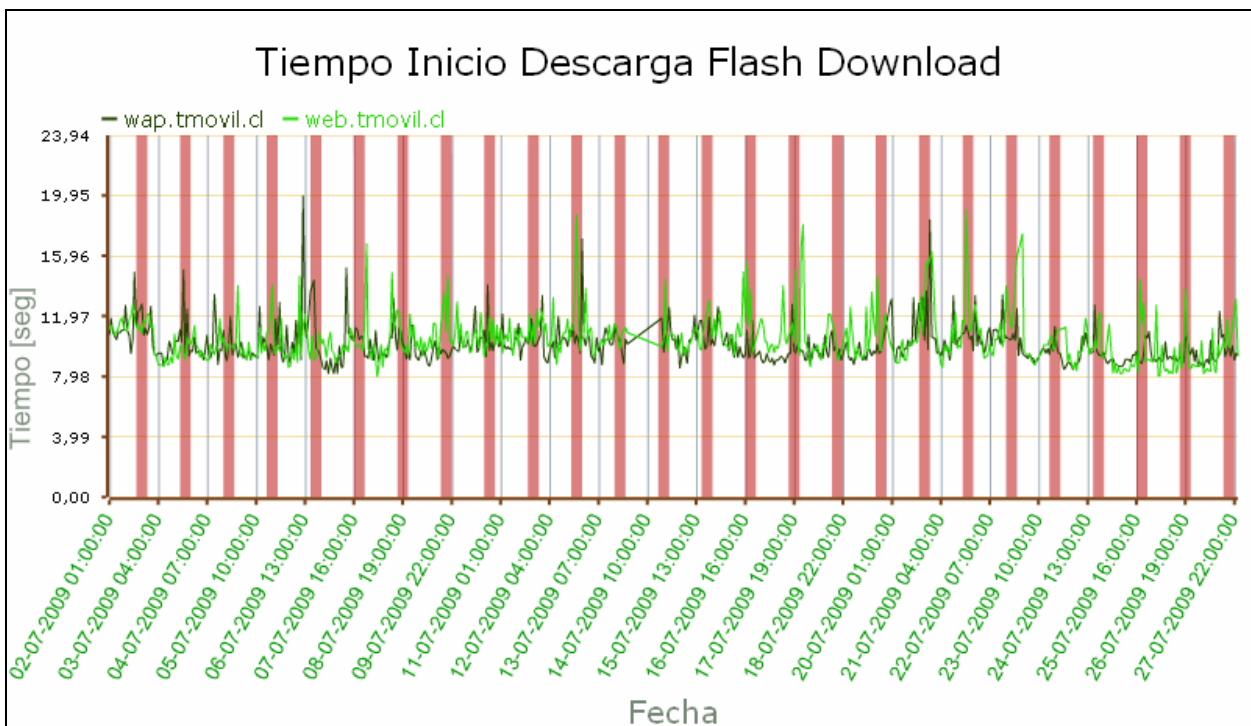


Gráfico 4.32. Tiempo de inicio de descarga Flash Download monitoreo automático.

En el mes de julio el promedio de tiempo de inicio de descarga (reproducción) fue de 9.37 segundos, presentando algunos valores mayores durante las horas de mayor tráfico de algunos días pero en general fue bastante estable. Este tiempo promedio es mayor que el que demoran en descargarse la mayoría de las páginas web (Gráfico 4.25), esto podría producir una baja percepción por parte del usuario al comparar los tiempos de una página completa con los de un único elemento como es un video flash, sin embargo esto es estrictamente así, ya que el componente flash está inserto dentro de una página web la cual contiene gran cantidad de elementos descargados en paralelo que pueden mantener la atención del usuario ocupada mientras se espera a que comience la reproducción del video.

Otro factor importante es el número de cortes o interrupciones en la reproducción, una muestra de esto se aprecia en el Gráfico 4.33. En aquellos casos en que la tasa de transferencia no se mantiene por sobre un valor específico de manera constante, ocurre que el volumen de video descargado no logra ser suficiente para que la reproducción del video sea completamente fluida, es decir se produce una interrupción. Cuando esta situación se mantiene durante la reproducción se producen múltiples interrupciones.

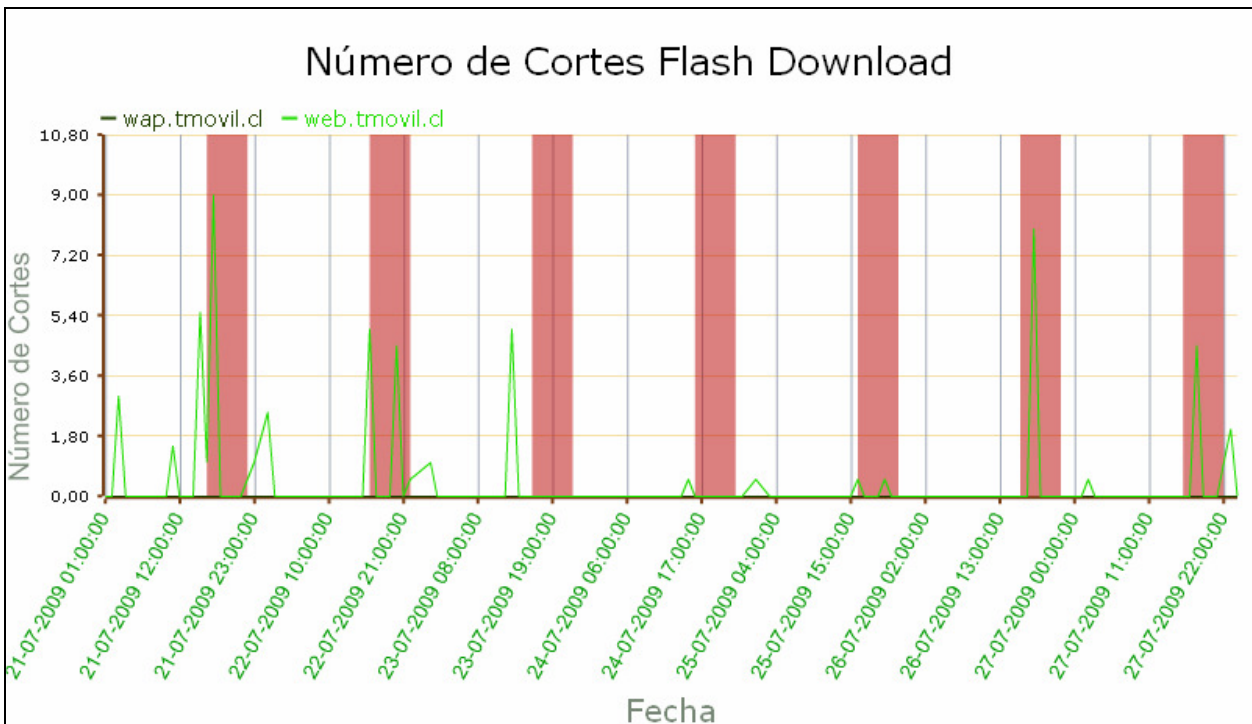


Gráfico 4.33. Número de cortes Flash Download monitoreo automático.

Cabe destacar que esta prueba es una aproximación de una descarga de video flash, no siendo del todo precisa.

4.1.4.2.7 Indicadores.

En base a los resultados de las mediciones se confeccionó un indicador global de calidad servicio. Se calcularon indicadores individuales para cada prueba con un valor decimal entre 0 y 1, luego, a cada uno de estos indicadores se le asignó un porcentaje de influencia en el indicador global sumando entre todos un 100 %. A continuación se mencionan los indicadores utilizados y su respectivo porcentaje.

- Tiempo de Inicio de Sesión : 5 %
- Tiempo respuesta DNS : 20 %
- Tiempo promedio PING : 20 %
- Tasa de transferencia HTTP : 40 %
- Tasa de transferencia FTP Download : 5 %
- Tasa de transferencia FTP Upload : 5 %
- Número de Cortes Flash Download : 5 %

Para graficar este indicador global se apilan los valores de cada indicador individual formando una sola columna, además a cada componente del indicador se le asignó un color

específico para poder observar su influencia en el total. Los siguientes gráficos corresponden al indicador global para la semana del 20 al 26 de julio.

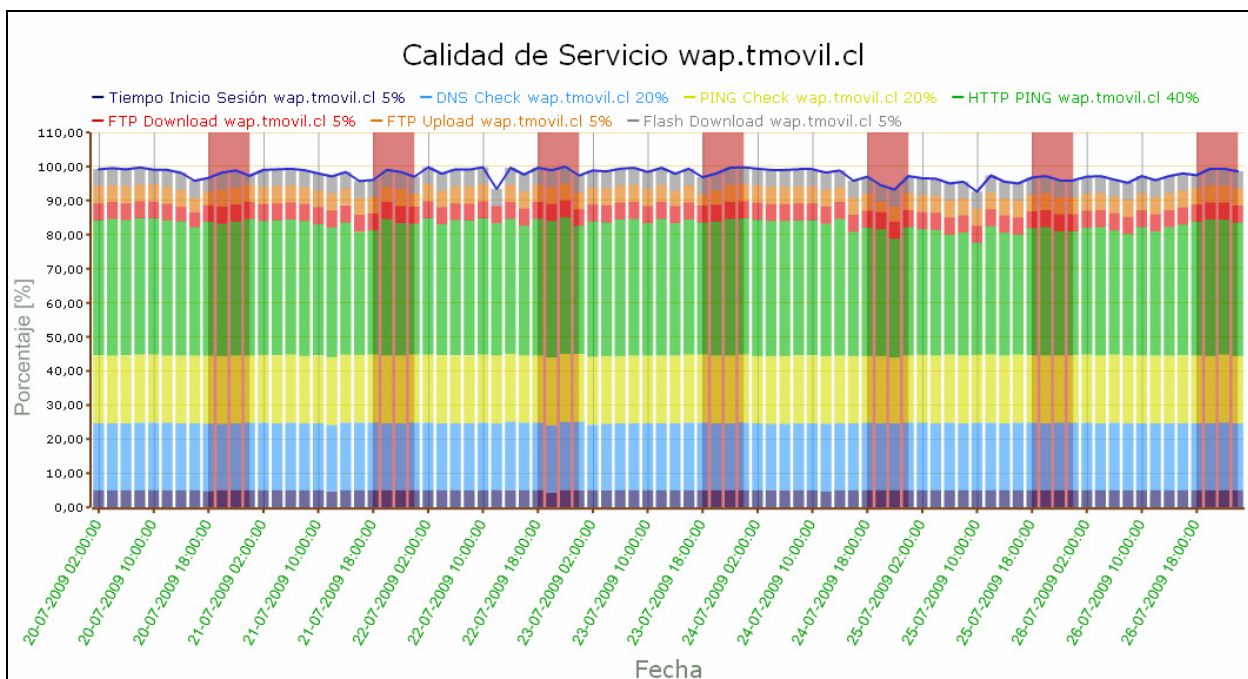


Gráfico 4.34. Indicador de calidad de servicio con APN wap.tmovil.cl.

En general el indicador estuvo por sobre el 95 % para las conexiones realizadas a través del punto de acceso wap.tmovil.cl siendo la navegación web o HTTP PING el factor que mayor influía debido al porcentaje que representa. Por otro lado en las conexiones con web.tmovil.cl como punto de acceso, se tuvieron valores inferiores al 80 %, esto debido principalmente a las disminuciones en las tasas de transferencia de la navegación web y las transferencias mediante FTP en las horas cargadas. Se debe recordar que se definió un umbral para cada hora del día, para los siete días de la semana, por lo que el efecto de la existencia de horas con mayor tráfico es considerado en estos indicadores.

Es necesario destacar que si bien la navegación web es la que más aporta en las disminuciones del indicador, esto no se debe exclusivamente a congestión en la red del operador móvil. Una parte puede ser producida por sobrecarga de tráfico en el proveedor de contenido ya que debe atender una gran cantidad de usuarios no solo de dicho operador móvil, sino que de otros usuarios que tienen acceso a Internet, ya sea con conexión fija o móvil. Es posible hacer esta suposición por el hecho de que los valores de DNS y PING mantienen un nivel más constante que el de HTTP PING.

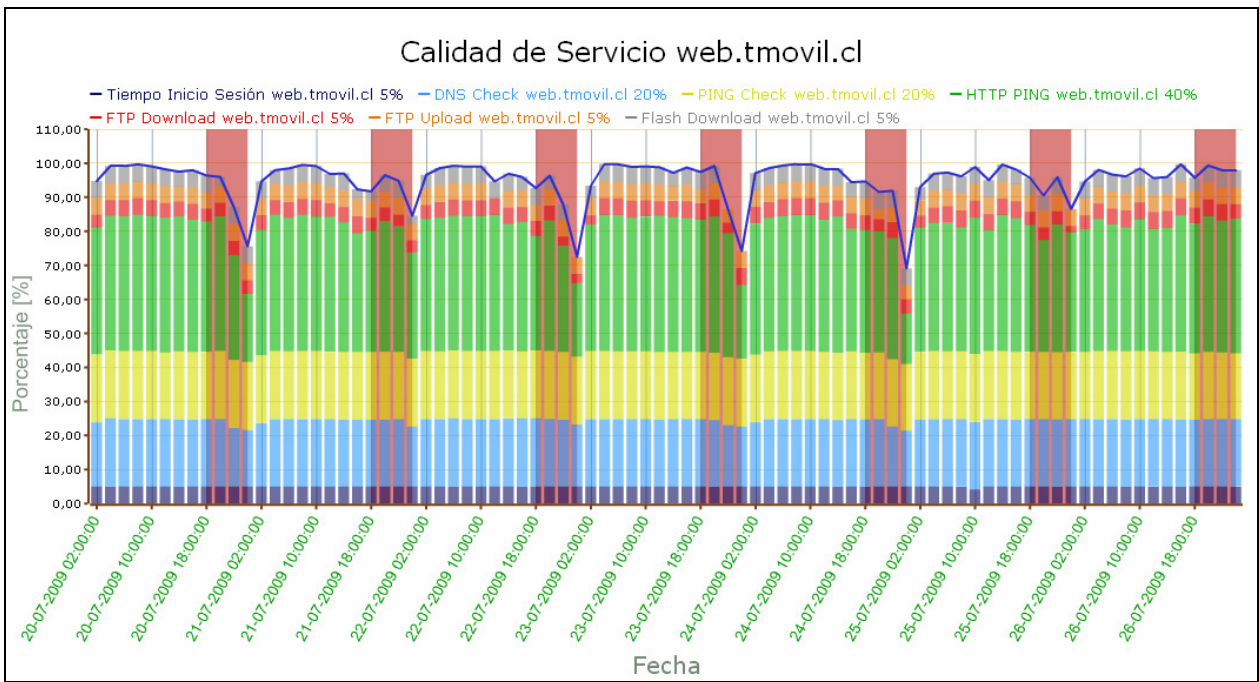


Gráfico 4.35. Indicador de calidad de servicio con APN web.tmovil.cl.

Como la red evoluciona constantemente, es necesario ajustar estos indicadores. Los que se muestran en los gráficos tienen una holgura de una desviación estándar tanto para los throughputs (HTTP y FTP) como para los tiempos (DNS y PING), debiendo quizás disminuirla o aumentarla en el caso de que se quiera ser más estricto con el nivel de calidad de experiencia que se desea para el servicio.

4.2 Relación entre Round Trip Time y Throughput en Navegación Web.

En el protocolo TCP los valores bajos de RTT aceleran tanto la sincronización como la partida lenta de una sesión debido a que el intercambio de información es más rápido. Esto incrementa la experiencia del usuario ya que mientras antes concluyan estas fases, antes se podrá lograr la máxima tasa de bits de la conexión. Durante el estado estable de la conexión el RTT no afecta el rendimiento siempre y cuando el buffer del cliente transmisor sea lo suficientemente grande como para almacenar todos los paquetes que están viajando a través de la red sin tener que detenerse a esperar una confirmación.

Con valores de RTT menores a 100 ms como los de las redes fijas, el usuario no percibe en general los efectos de la partida lenta de TCP. Para valores más altos de RTT como entre 200 y 700 ms, la experiencia del usuario puede verse afectada debido a que esta partida lenta puede llegar a durar segundos. Esto es más notorio cuando se descarga un sitio web con múltiples objetos cada uno necesitando de una partida lenta como en el caso de HTTP 1.0. Para lidiar con este problema se usa HTTP 1.1 el cual permite transferir múltiples objetos bajo una sola sesión TCP.

Una propiedad adicional de TCP es que se puede terminar una conexión si el valor de RTT excede el tiempo de Timeout, debiendo establecer nuevamente la sesión. Generalmente esto no debiera ocurrir para los tiempos de la tecnología HSDPA ocupada en estas pruebas, aunque cuando se cambia la tecnología de acceso de radio puede darse esta situación.

A continuación se muestra la relación obtenida entre el RTT y Throughput obtenido a para cuatro de los sitios que fueron parte de las mediciones de Benchmarking, estos son: www.emol.com, www.facebook.com, www.megavideo.com y www.youtube.com. Se utilizó el promedio de las muestras de las pruebas PING Check y HTTP PING de noventa puntos de medición a lo largo del país. En el siguiente gráfico se presentan estos valores junto con su regresión exponencial y la curva teórica.

Para la curva teórica se ocupó la fórmula de Mathis [13]:

$$\text{MáxTasa} = \frac{MSS}{RTT} \cdot \frac{1}{\sqrt{p}}$$

donde MSS es el máximo tamaño de segmento que se consideró igual a 1460 Bytes, p es la probabilidad de pérdida de paquetes que se tomó como un 0,6 % en base a capturas realizadas con el analizador de redes Wireshark¹³, y donde RTT corresponde al Round Trip Time.

¹³ <http://www.wireshark.org/>

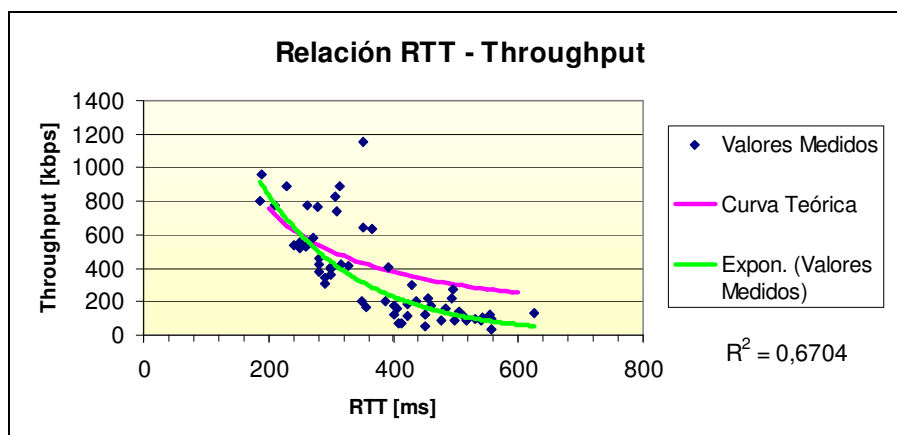


Gráfico 4.36. Relación RTT – Throughput en mediciones de Benchmarking.

Del gráfico se aprecia que existe una correlación entre estas dos variables. El coeficiente de determinación de las muestras (R^2) es equivalente a 0,6704 reflejando un grado de correlación que permite afirmar esta relación. Es por esto que el usuario puede experimentar una baja velocidad en la red a pesar de que exista una gran tasa de transferencia en el enlace de radio que se ve mermado por el RTT de la red completa.

Es necesario destacar que esta es una comparación a grandes rasgos ya que estos son sitios que presentan características similares como el hecho de tener gran cantidad de objetos entre los que están imágenes y animaciones flash. Para realizar una comparación más detallada y con otros tipos de sitios, se debería tener en cuenta el número de objetos de cada sitio y el tamaño de estos entre otros factores para ver el efecto del RTT en el throughput de la navegación web.

4.3 Influencia escalamiento de ventana TCP.

Como se describió en el capítulo 3, el sistema operativo más utilizado por los usuarios que navegan en Internet es Windows XP. En cuanto al uso de los recursos de red, este sistema operativo no es muy eficiente, un ejemplo de esto es que la opción de escalamiento de la ventana TCP no viene activada por defecto con lo cual se podrá aspirar a un tamaño máximo de ventana igual a 65535 bytes. En sistemas Linux esta opción si viene activada por defecto aprovechando de mejor manera la conexión TCP.

Se realizaron pruebas alternadas entre un computador con la opción de escalamiento de ventana desactivada y otro con esta opción activada, en ambos se utilizó el mismo módem y ejecutando las mismas pruebas de rendimiento durante un periodo de 2 horas. Paralelamente cada descarga fue capturada con el analizador de redes Wireshark. A continuación se muestra parte de esas capturas y los resultados de las pruebas realizadas.

```

TCP      contentserver > ftp-data [ACK] Seq=1 Ack=80301 |win=65535|
FTP-DATA FTP Data: 1460 bytes
FTP-DATA FTP Data: 1460 bytes
TCP      contentserver > ftp-data [ACK] Seq=1 Ack=83221 |win=65535|
FTP-DATA FTP Data: 1460 bytes
FTP-DATA FTP Data: 1460 bytes
TCP      contentserver > ftp-data [ACK] Seq=1 Ack=86141 |win=65535|
FTP-DATA FTP Data: 1460 bytes
FTP-DATA FTP Data: 1460 bytes
TCP      contentserver > ftp-data [ACK] Seq=1 Ack=89061 |win=65535|
FTP-DATA FTP Data: 1460 bytes
FTP-DATA FTP Data: 1460 bytes
TCP      contentserver > ftp-data [ACK] Seq=1 Ack=91981 |win=65535|

```

Figura 4.2. Captura de paquetes sin utilizar escalamiento de ventana.

```

TCP      38320 > ftp-data [ACK] Seq=1 Ack=2737849 |win=208512|
FTP-DATA FTP Data: 1448 bytes
TCP      38320 > ftp-data [ACK] Seq=1 Ack=2739297 |win=211456|
FTP-DATA FTP Data: 1448 bytes
TCP      38320 > ftp-data [ACK] Seq=1 Ack=2740745 |win=214336|
FTP-DATA FTP Data: 1448 bytes
TCP      38320 > ftp-data [ACK] Seq=1 Ack=2742193 |win=217216|
FTP-DATA FTP Data: 1448 bytes
TCP      38320 > ftp-data [ACK] Seq=1 Ack=2743641 |win=220096|
FTP-DATA FTP Data: 1448 bytes
TCP      38320 > ftp-data [ACK] Seq=1 Ack=2745089 |win=223040|

```

Figura 4.3. Captura de paquetes utilizando escalamiento de ventana.

En las figuras se puede apreciar el parámetro “Win” correspondiente al tamaño de la ventana TCP, con la opción de escalamiento desactivada este parámetro fue constante y equivalente a 65535, que es el valor por defecto, en cambio al activar esta opción, se aprecia el efecto del escalado de ventana donde este parámetro se adecua de acuerdo a las condiciones de la red llegando a valores mayores que los 65535.

En cuanto a las pruebas de rendimiento efectuadas en estas condiciones, los resultados fueron los siguientes:

Tabla 9. Mejora en pruebas de rendimiento al aplicar escalamiento de ventana.

Item	SIN Escalamiento de Ventana	CON Escalamiento de Ventana	Porcentaje de Mejora [%]
Tasa de descarga Página Web [kbps]	323,41	438,54	26,25
Tiempo de descarga Página Web [seg]	9,66	8,15	18,46
Tasa de transferencia descarga FTP [kbps]	1232,36	1618,87	23,88

En los tres ítems referentes a descargas se obtienen mejoras de hasta un 26,25 % al ocupar el escalamiento de ventana, produciendo en el caso del tiempo promedio en que se descarga una página web una diferencia de 1,5 segundos.

Sin duda que el efecto del escalado de la venta TCP influyó de forma notoria en el rendimiento del servicio, tal como es de esperar por la teoría. En las pruebas el tiempo promedio de PING fue de 310 ms por lo que con un tamaño de ventana fijo de 65535 bytes, el máximo ancho de banda posible sería de $65535 * 8 / 0.310 = 1691225 \text{ bps} = 1,69 \text{ Mbps}$. Si bien son varios

los factores que influyen en la descarga, la diferencia es significativa como para afirmar la influencia de este factor.

El parámetro de escalamiento de ventana podría ser una opción a considerar para mejorar la experiencia del usuario ya que por defecto no se aplica en Windows XP y el común de los usuarios no modificaría esta situación por su cuenta.

4.4 Comparación Servicio Banda Ancha Móvil con Banda Ancha Fija.

Se realizaron mediciones con el mismo software desarrollado para Windows, en un computador con una conexión fija (cable) a Internet de 2 Mbps de bajada y 512 kbps de subida, uno de los planes más básicos que ofrece una empresa proveedora de banda ancha. Estas mediciones se realizaron en el período de un día, y su propósito es mostrar una referencia en cuanto a los valores estudiados para la banda ancha móvil. Los resultados obtenidos y su comparación con los obtenidos con la Banda Ancha Móvil se aprecian en la siguiente tabla.

Tabla 10. Comparación mediciones Banda Ancha Móvil / Banda Ancha Fija.

Item	Banda Ancha Móvil HSDPA	Banda Ancha Fija 2 Mbps / 512 kbps
Tiempo de Respuesta DNS [ms]	279,68	163,38
RTT [ms]	294,13	90,80
Tasa de descarga Página Web [kbps]	413,16	670,64
Tiempo de descarga Página Web [seg]	10,25	3,49
Tasa de transferencia descarga FTP [kbps]	1784,43	1421,00
Tasa de transferencia subida FTP [kbps]	250,33	491,00

El valor que más destaca es el de RTT el cual es de 90 ms en la conexión fija, esto sin duda influye en la tasa de descarga de páginas web produciéndose una diferencia de poco menos de 7 segundos entre los tiempos de descarga de las páginas. Sin duda ese es un aspecto que marca una diferencia en la percepción del usuario, el cual está acostumbrado a los tiempos de la banda ancha fija y esperaría algo similar al usar la banda ancha móvil sin dejar de notar que la banda ancha móvil tiene la ventaja de la movilidad.

Estos resultados demuestran que el servicio de Banda Ancha Móvil se encuentra en un nivel que permite hacer uso de algunas de las aplicaciones de Internet de forma similar a una conexión por cable, debiendo ponerse énfasis en la disminución de los tiempos de RTT.

5

Conclusiones

5.1 Acerca de las Herramientas Utilizadas.

Las herramientas de código abierto utilizadas en el desarrollo de la plataforma cumplieron con los requisitos necesarios para lograr un adecuado funcionamiento de ésta. No existieron grandes inconvenientes al momento de utilizarlas facilitando el proceso de desarrollo.

Php demostró ser una herramienta muy eficiente para el desarrollo de páginas web dinámicas especialmente si se trata de una aplicación que interactúa con bases de datos a través de formularios en pantalla. Es fácil de aprender y acelera los tiempos de desarrollo además de poseer una completa documentación en línea que permite solucionar problemas de forma rápida.

La librería Xajax permitió hacer más fluido el uso de la interfaz de usuario al actualizar la data a desplegar en los gráficos usando AJAX sin tener que recargar la página completa con cada actualización, así como también modificar el formulario de selección de datos de forma asíncrona con las distintas acciones de quien la utiliza.

MySQL demostró ser el uno de los mejores sistemas de gestión de bases de datos relacionales, suplió con creces las necesidades de almacenamiento de información y las consultas sobre grandes cantidades de datos con breves tiempos de respuesta. Funciona correctamente en conjunto con Php y el servidor Apache. Además presenta una completa documentación resolviendo todas las dudas durante el desarrollo del proyecto.

A pesar de ser desarrollada por un número reducido de personas y no ser masiva, la librería gráfica Open Flash Chart fue una muy buena herramienta para generar gráficos interactivos de alta calidad para mostrar los distintos resultados obtenidos a través de las pruebas de monitoreo. Con un gran número de opciones, está a la altura de la mayoría de las soluciones propietarias que ofrecen interfaces gráficas para sitios web.

5.2 Acerca de la Plataforma.

Las aplicaciones utilizadas para realizar mediciones fueron herramientas de gran ayuda para el análisis del desempeño del servicio de banda ancha móvil desde la perspectiva del usuario. Las mediciones semi-automáticas de Benchmarking realizadas en más de cien puntos a lo largo del país no requirieron de un personal dedicado cien por ciento a esta tarea, pudiendo efectuarse con una frecuencia mensual sin ocupar mucho tiempo a quienes las realizaban. Además la aplicación resultó ser fácil de instalar, utilizar y actualizar, generando valiosa información sobre el panorama general del servicio y permitiendo realizar una comparación con los otros operadores pudiendo distinguir acciones como limitaciones en las velocidades de la conexión.

La aplicación que realiza mediciones automáticas funcionó correctamente produciendo una gran cantidad de información de manera continua sin necesitar de una persona para el proceso de medición. Esto posibilitó el hecho de tener muestras válidas estadísticamente que permiten ver la evolución detallada de distintas variables del servicio de banda ancha móvil así como también apreciar funcionamientos incorrectos del servicio.

Con respecto a la interfaz gráfica, cabe destacar que facilitó el análisis de los datos obtenidos al resumirlos de manera gráfica pudiendo observar grandes periodos de tiempo de muestreo en un solo gráfico y cambiar las variables a analizar con tan solo seleccionar las opciones en el formulario de datos. En resumen la aplicación permitió acceder a toda esta información de manera simple.

En su conjunto la plataforma posibilitó obtener mediciones de manera confiable sobre la calidad del servicio de Banda Ancha Móvil, automatizando gran parte de los procesos de muestreo, post-procesamiento y visualización. Esto permite enfocarse en el análisis de los datos obtenidos, ver la conducta del servicio y tomar acciones para mejorarlo que es el objetivo principal del operador.

5.3 Acerca de Parámetros de Red que influyen en la Calidad del Servicio.

El Round Trip Time influye de manera notoria en el desempeño de las aplicaciones que hacen uso del protocolo TCP. En redes fijas esta influencia no es tan marcada debido a que los tiempos de RTT son menores a los 100 milisegundos, en cambio como se pudo apreciar gracias a las mediciones realizadas este tiempo fue en promedio superior a los 250 ms, cuando según la teoría estos tiempos debieran ser cercanos a los 100 ms. Este debe ser un factor a considerar ya que no servirá de mucho el aumentar el ancho de banda de los usuarios con mejoras en tecnologías si es que el valor del RTT no disminuye también ya que debido a las características del protocolo TCP, este ancho de banda adicional no podrá ser aprovechado en su totalidad.

La opción de escalamiento de ventana de TCP, mejoró las tasas de transferencia tanto en la navegación web como en la descarga a través de FTP al ocupar de manera más eficiente los recursos disponibles. En la red que se analizó, esto fue posible debido a que presentó valores de

RTT sobre los 300 ms con lo que se podría aspirar a un máximo de 1,7 Mbps con una ventana de 64 Kbytes. Al estar desactivada esta opción por defecto en el sistema operativo Windows XP, la mayor parte de los usuarios no podrá hacer uso de manera eficiente de los recursos que le son asignados pudiendo llegar a producir una mala percepción del servicio. Es por esto que también al aumentar el ancho de banda de las conexiones es importante disminuir los valores de RTT con tal de que el producto ancho de banda x RTT pueda ser abarcado por el tamaño máximo de ventana permitido (sin escalamiento).

5.4 Acerca del Servicio de Banda Ancha Móvil en Chile.

En cuanto al servicio entregado por los distintos operadores de telefonía móvil, no existen grandes diferencias que permitan determinar que un servicio es mejor que otro de manera absoluta, presentándose casos como el de Operador 1 que presenta altas capacidades de ancho de banda por un lado, pero por otro tiene una latencia más alta en comparación a los otros dos operadores. Por ejemplo, Operador 3 presenta bajos tiempos de RTT en algunas zonas como la Región Metropolitana sin embargo presentaba una menor cobertura de servicio. Como los tres operadores están ofreciendo este servicio utilizando la misma tecnología y realizando grandes inversiones en sus redes, cobra gran importancia el tratar de proveer una buena calidad de experiencia para el usuario de manera constante, así de esta forma podrán lograr diferenciarse de los otros.

Gracias a las tecnologías de tercera generación este servicio ofrece tasas de transferencias y retardos suficientes para utilizar de manera normal aplicaciones como correo electrónico y navegación web siendo de gran utilidad en ambientes laborales y educacionales, esto ayudado con el aumento en la adquisición de computadores personales. Sin duda el avance de las tecnologías en las redes móviles permitirá acceder a mayores tasas de transferencia junto con mínimos retardos que permitirán utilizar de manera adecuada aplicaciones tales como streaming de video en alta calidad.

5.5 Acerca de las Proyecciones del Trabajo de Título.

En cuanto a la proyección de esta plataforma está la alternativa de replicar las pruebas de monitoreo automático en varios computadores y ubicarlos en distintos puntos del país con tal de tener un mayor número de puntos involucrados en este tipo de mediciones, aprovechando además la capacidad de realizar conexiones de manera alternada con los módems de los tres operadores.

Aprovechando el hecho de que las mediciones pueden ser efectuadas de forma reiterada a intervalos de tiempo de tan solo minutos, sería posible diseñar criterios adecuados para evaluar los datos registrados y generar alarmas que avisen algún mal funcionamiento del servicio distinguiendo entre distintos tipos de alerta de acuerdo a la magnitud de dicha falla.

Las pruebas realizadas por las herramientas de medición solo cubren una parte de las distintas aplicaciones que se pueden utilizar a través del servicio de banda ancha móvil, por ende

nuevas pruebas de rendimiento pueden ser desarrolladas e integradas a los software de medición para ir incluyendo estas otras aplicaciones. Un ejemplo de esto serían las aplicaciones peer-to-peer.

6

Referencias

6.1 Bibliografía.

- [1] KERSTIN BENGTTSSON. *How to Enable Better Service Assurance Using the PCRF*. Master of Science Thesis Stockholm, Sweden, 2006.
- [2] ETSI EG 202 057-4: *Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); User related QoS parameter definitions and measurements*; Part 4: Internet access.
- [3] DAVID SOLDANI, MAN LI, RENAUD CUNY. *QoS and QoE Management in UMTS Cellular Systems*. John Wiley & Sons. 2006.
- [4] MIIKKA POIKSELKA, GEORG MAYER, HISHAM KHARTABIL, AKI NIEMI. *The IMS Ip Multimedia Concepts and Services*. Segunda Edición. John Wiley & Sons. 2006.
- [5] ROBERT LLOYD-EVANS. *QoS in Integrated 3G Networks*. ARTECH HOUSE, INC. 2002.
- [6] HARRI HOLMA, ANTTI TOSKALA. *HSDPA/HSUPA for UMTS, High Speed Radio Access for Mobile Communications*. John Wiley & Sons. 2006.
- [7] Php Hypertext Pre-processor, Wikipedia <<http://es.wikipedia.org/wiki/.php>>.
- [8] Mysql, Wikipedia <<http://es.wikipedia.org/wiki/Mysql>>.
- [9] Servidor Apache, Wikipedia <http://es.wikipedia.org/wiki/Servidor_HTTP_Apache>.
- [10] Librería Xajax, Wikipedia <<http://es.wikipedia.org/wiki/Xajax>>.
- [11] Ubuntu, Wikipedia <[http://es.wikipedia.org/wiki/Ubuntu_\(distribuci%C3%B3n_Linux\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Ubuntu_(distribuci%C3%B3n_Linux))>.
- [12] RFC 1323. *TCP Extensions for High Performance*. <<http://tools.ietf.org/html/rfc1323>>.
- [13] TCP Performance and the Mathis Equation
<http://connection.netcordia.com/blogs/terrys_blog/archive/2009/08/10/tcp-performance-and-the-mathis-equation.aspx>

6.2 Acrónimos.

3GPP	3rd Generation Partnership Project
ACK	Positive Acknowledgment
ADSL	Asynchronous Digital Subscriber Line
AJAX	Asynchronous JavaScript And XML
APN	Access Point Name
CDMA	Code Division Multiple Access
CSS	Cascading Style Sheet
DNS	Domain Name System
DSL	Digital Subscriber Line
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
EGPRS	Enhanced GPRS
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FTP	File Transfer Protocol
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access
HSPA	High-Speed Packet Access
HSUPA	High-Speed Uplink Packet Access
HTML	HyperText Markup Language
HTTP	Hyper Text Transfer Protocol
ICMP	Internet Control Message Protocol
IMS	IP Multimedia Subsystem
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Service Digital Network
JSON	JavaScript Object Notation
KPI	Key Performance Indicator
KQI	Key Quality Indicator
LAC	Local Area Code
MMS	Multimedia Messaging Service
OMA	Open Mobile Alliance
P2P	Peer-to-peer
PDP	Packet Data Protocol
PHP	PHP: Hypertext Pre-processor
PSTN	Public Switched Telephone Network
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
RAT	Radio Access Type
RFC	Request For Comments
RNC	Radio Network Controller
RTP	Real Time Protocol
RTSP	Real Time Streaming Protocol
RTT	Round Trip Time
SDP	Session Description Protocol
SGSN	Serving GPRS Support Node
SIM	Subscriber Identity Module
SMS	Short Messaging Service

SSH	Secure Shell Protocol
TCP	Transmission Control Protocol
TDMA	Time Division Multiple Access
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
USB	Universal Serial Bus
UTRA	UMTS Terrestrial Radio Access
VOIP	Voice over IP
WAP	Wireless Application Protocol
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access

7

Anexos

7.1 Diseño Físico Base de Datos de la Plataforma.

En las siguientes tablas se detallan las propiedades de los atributos de cada entidad de la base de datos. En la columna relativa al tipo de llave del atributo se utiliza la letra P para designar una llave primaria y la letra F para una llave foránea, esto es, una llave de otra entidad.

Tabla 11. Diseño físico entidad Mediciones.

Llave	Nº	Atributo	Descripción	Tipo	Largo	Oblig.	Dupl.	Dominio
P	1	ID_cliente	ID del cliente	Char	8	SI	SI	00000000 a FFFFFFFF
P	2	ID_medicion	ID de la medición	mediumint	8	SI	SI	0 a (2 ⁸ -1)
	3	fecha	Fecha medición	datetime	19	SI	SI	1000-01-01 00:00:00 a 9999-12-31 23:59:59
	4	nombre_cliente	Nombre cliente	char	30	SI	SI	
	5	apn_cliente	Apn de la conexión	varchar	15	SI	SI	
	6	ip_cliente	Dirección IP de la conexión	char	15	SI	SI	0.0.0.0 a 255.255.255.255
	7	dns_pri	Dirección IP DNS Primario	char	15	SI	SI	0.0.0.0 a 255.255.255.255
	8	dns_sec	Dirección IP DNS Secundario	char	15	SI	SI	0.0.0.0 a 255.255.255.255
	9	t_in_sesion	Tiempo inicio sesión	float	(4,2)	SI	SI	0,00 a 99,99
	10	operador	Nombre Operador Móvil	char	10	SI	SI	
	11	cell_LAC	Local Area Code de la celda	smallint	5	SI	SI	0 a 2 ⁵ -1
	12	cell_RNC	Radio Network Controller de la celda	smallint	6	SI	SI	0 a 2 ⁶ -1
	13	cell_ID	ID de la celda	smallint	5	SI	SI	0 a 2 ⁵ -1
	14	cell_RAT	Radio Access Type de la celda	tinyint	4	SI	SI	0 a 255
	15	cell_CSQ	Calidad de la señal de radio	tinyint	4	SI	SI	0 a 255
F	16	ID_punto	ID del punto de medición	smallint	5	SI	SI	0 a 65535

Tabla 12. Diseño físico entidad DNS Check.

Llave	Nº	Atributo	Descripción	Tipo	Largo	Oblig.	Dupl.	Dominio
F	1	ID_cliente	ID del cliente	Char	8	SI	SI	00000000 a FFFFFFFF
F	2	ID_medicion	ID de la medición	mediumint	8	SI	SI	0 a (2 ⁸ -1)
	3	fecha	Fecha medición	datetime	19	SI	SI	1000-01-01 00:00:00 a 9999-12-31 23:59:59
	4	ip_dns	Dirección IP servidor DNS	char	15	SI	SI	0.0.0.0 a 255.255.255.255
	5	sitio	Nombre del sitio consultado	char	30	SI	SI	
	6	tiempo_promedio	Tiempo promedio de la consulta	smallint	6	SI	SI	-32768 a 32767

Tabla 13. Diseño físico entidad HTTP PING.

Llave	Nº	Atributo	Descripción	Tipo	Largo	Oblig.	Dupl.	Dominio
F	1	ID_cliente	ID del cliente	Char	8	SI	SI	00000000 a FFFFFFFF
F	2	ID_medicion	ID de la medición	mediumint	8	SI	SI	0 a (2 ⁸ -1)
	3	fecha	Fecha medición	datetime	19	SI	SI	1000-01-01 00:00:00 a 9999-12-31 23:59:59
	4	sitio	Nombre del sitio descargado	char	30	SI	SI	
	5	t_conex	Tiempo de conexión con el sitio	tinyint	3	SI	SI	0 a 255
	6	t_desc	Tiempo total de descarga del sitio	mediumint	9	SI	SI	-8388608 a 8388608
	7	tam_desc	Tamaño total de la descarga	mediumint	8	SI	SI	0 a 16777215
	8	obj_desc	Cantidad de objetos descargados	smallint	5	SI	SI	0 a 65535
	9	obj_tot	Cantidad total de objetos del sitio	smallint	5	SI	SI	0 a 65535

Tabla 14. Diseño físico entidad PING Check.

Llave	Nº	Atributo	Descripción	Tipo	Largo	Oblig.	Dupl.	Dominio
F	1	ID_cliente	ID del cliente	Char	8	SI	SI	00000000 a FFFFFFFF
F	2	ID_medicion	ID de la medición	mediumint	8	SI	SI	0 a (2 ⁸ -1)
	3	fecha	Fecha medición	datetime	19	SI	SI	1000-01-01 00:00:00 a 9999-12-31 23:59:59
	4	sitio	Nombre del sitio consultado	char	30	SI	SI	
	5	tiempo_promedio	Tiempo promedio de PING	float	(6,2)	SI	SI	0 a 9999,99

Tabla 15. Diseño físico entidad FTP Download.

Llave	Nº	Atributo	Descripción	Tipo	Largo	Oblig.	Dupl.	Dominio
F	1	ID_cliente	ID del cliente	Char	8	SI	SI	00000000 a FFFFFFFF
F	2	ID_medicion	ID de la medición	mediumint	8	SI	SI	0 a (2 ⁸ -1)
	3	fecha	Fecha medición	datetime	19	SI	SI	1000-01-01 00:00:00 a 9999-12-31 23:59:59
	4	sitio	Nombre del servidor FTP	char	30	SI	SI	
	5	tam_arch	Tiempo de conexión con el sitio	mediumint	8	SI	SI	0 a 16777215
	6	t_desc	Tiempo total de descarga del archivo	float	(6,2)	SI	SI	0 a 9999,99

Tabla 16. Diseño físico entidad FTP Upload.

Llave	Nº	Atributo	Descripción	Tipo	Largo	Oblig.	Dupl.	Dominio
F	1	ID_cliente	ID del cliente	Char	8	SI	SI	00000000 a FFFFFFFF
F	2	ID_medicion	ID de la medición	mediumint	8	SI	SI	0 a (2 ⁸ -1)
	3	fecha	Fecha medición	datetime	19	SI	SI	1000-01-01 00:00:00 a 9999-12-31 23:59:59
	4	sitio	Nombre del servidor FTP	char	30	SI	SI	
	5	tam_arch	Tiempo de conexión con el sitio	mediumint	8	SI	SI	0 a 16777215
	6	t_sub	Tiempo total de subida del archivo	float	(6,2)	SI	SI	0 a 9999,99

Tabla 17. Diseño físico entidad Flash Download.

Llave	Nº	Atributo	Descripción	Tipo	Largo	Oblig.	Dupl.	Dominio
F	1	ID_cliente	ID del cliente	Char	8	SI	SI	00000000 a FFFFFFFF
F	2	ID_medicion	ID de la medición	mediumint	8	SI	SI	0 a (2 ⁸ -1)
	3	fecha	Fecha medición	datetime	19	SI	SI	1000-01-01 00:00:00 a 9999-12-31 23:59:59
	4	nombre_flash	Nombre del video flash	char	20	SI	SI	
	5	duracion	Tiempo de duración del video	smallint	6	SI	SI	0 a 16777215
	6	tamano	Tamaño del video	mediumint	8	SI	SI	0 a 4294967295
	7	t_in_desc	Tiempo de inicio de la descarga	float	(4,2)	SI	SI	0 a 99,99
	8	t_desc	Tiempo de la descarga	float	(5,2)	SI	SI	0 a 999,99
	9	num_cortes	Número de cortes	tinyint	3	SI	SI	0 a 4095
	10	t_tot_cortes	Tiempo total de cortes	float	(4,2)	SI	SI	0 a 99,99
	11	t_pro_cortes	Tiempo promedio de cortes	float	(4,2)	SI	SI	0 a 99,99
	12	min_dif	Mínima diferencia desc./repr.	float	(5,2)	SI	SI	-999,99 a 999,99
	13	max_dif	Máxima diferencia desc./repr.	float	(5,2)	SI	SI	-999,99 a 999,99
	14	pro_dif	Promedio de diferencias desc./repr.	float	(5,2)	SI	SI	-999,99 a 999,99
	15	ult_dif	Porcentaje última diferencia	float	(4,2)	SI	SI	0 a 99,99

Tabla 18. Diseño físico entidad de Umbrales.

Llave	Nº	Atributo	Descripción	Tipo	Largo	Oblig.	Dupl.	Dominio
P	1	nombre_sitio	Nombre del sitio	varchar	50	SI	SI	
	2	umbrales	Umbrales del sitio	text	672	SI	SI	

Tabla 19. Diseño físico entidad de Puntos.

Llave	Nº	Atributo	Descripción	Tipo	Largo	Oblig.	Dupl.	Dominio
P	1	ID	ID del punto	smallint	5	SI	SI	0 a 65535
	2	nombre	Nombre del punto	char	60	SI	SI	
	3	sector	Sector del punto	char	30	SI	SI	
	4	zona	Zona del punto	char	15	SI	SI	

7.2 Diagrama de Relaciones Base de Datos.

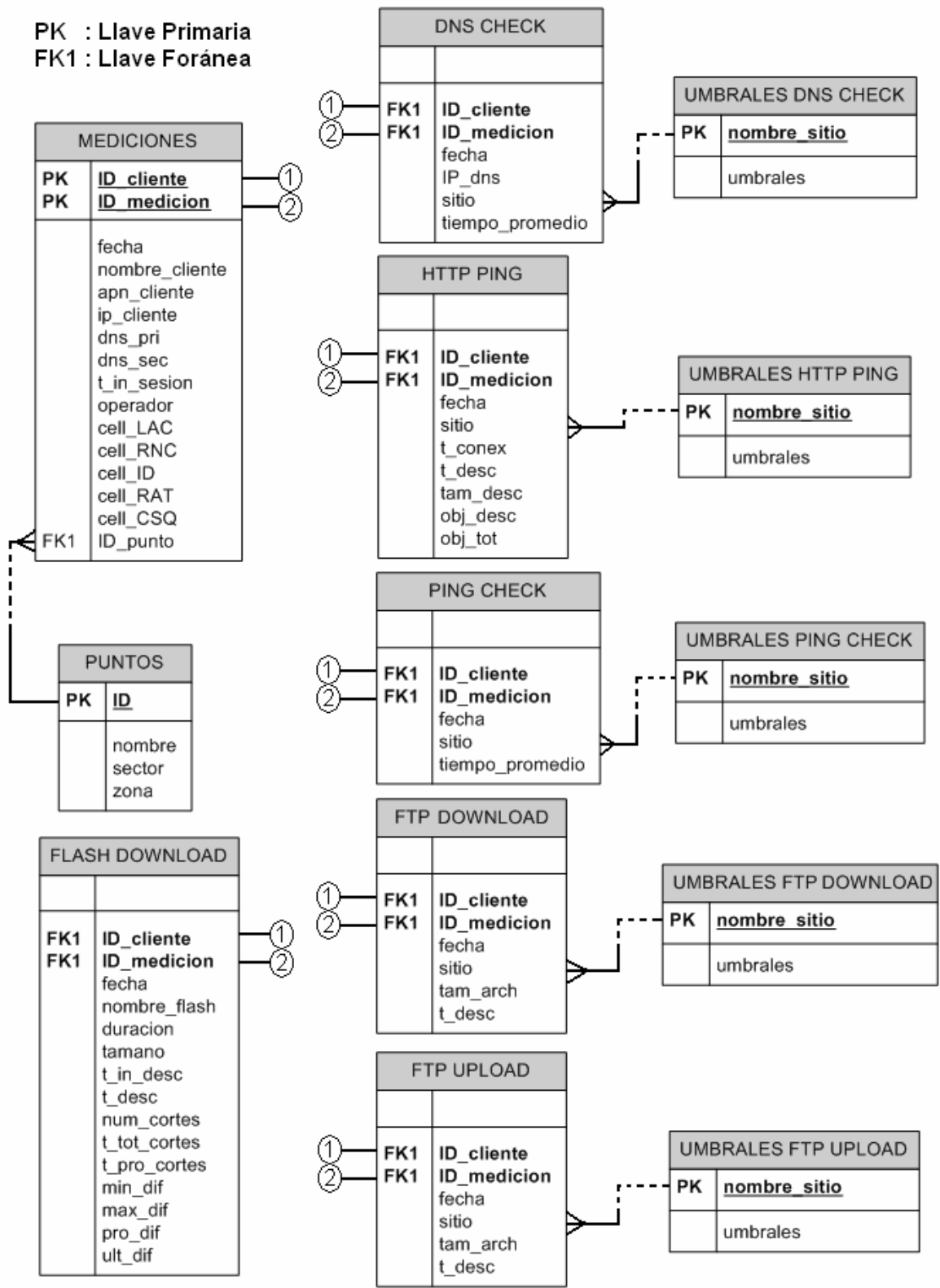


Figura 7.1. Diagrama de relaciones base de datos.

7.3 Listado de Puntos de Medición Benchmarking.

Tabla 20. Puntos de medición Benchmarking Región Metropolitana.

Región Metropolitana	Santiago Oriente	Barrio Bellavista
		Barrio Manuel Montt
		Barrio Suecia
		Centro Comercial Apumanque
		Clínica Las Condes
		Escuela Militar
		Estacionamientos Parque Padre Hurtado
		Estadio Nacional
		Hospital Roberto del Río
		Mall Alto Las Condes
		Mall Florida Center
		Mall La Dehesa
		Mall Los Trapenses
		Mall Plaza Norte
		Mall Plaza Vespucio
		Mall Sport
		Mall Tobalaba
		Movicenter
		Parque Arauco
		Parque Forestal
		Plaza Egaña
		Plaza Ñuñoa
		Plaza Puente Alto
		Plaza San Enrique
	Pueblo Los Domínicos	
	Salida Metro Baquedano	
	Santiago Poniente	Aeropuerto
		Barrio Universitario República
		Centro de Abastecimiento Lo Valledor
		Cerro San Cristóbal
		Ciudad Empresarial
		Estación Central
		Estación Mapocho
		Estación Metro La Cisterna
		Estacionamiento de terminal Alameda
		Estacionamiento de terminal San Borja
		Estacionamiento Mall Arauco
		Mall Plaza Oeste
		Mall Plaza Sur
		Núcleo Empresarial Enea
		Parque O'Higgins
		Parque Quinta Normal
Plaza Brasil		
Plaza Maipú		
Plaza San Bernardo		
Posta Central		
Salida Metro Las Rejas		
Salida Metro Los Heeroes		
Templo Votivo Maipú		
Zona Bancaria El Cortijo		

Tabla 21. Puntos de medición Benchmarking Zona Norte.

Norte	Antofagasta	Aeropuerto
		Sector Centro Plaza Colón
		Sector Norte Barrio Industrial
		Sector Sur Jardines del sur
	Arica	Aeropuerto
		Sector Centro
		Sector Norte
		Sector Valle de Azapa
	Calama	Aeropuerto
		Conjunto Valle del Sol
		Sector Centro
		Sector Poniente Mall Calama - Ed. Cor. Codelco
	Copiapó	Aeropuerto
		El Palomar
		Sector Centro
		Sector Sur Este Casino Hotel Antay
	Iquique	Aeropuerto
		Alto Hospicio
		Sector Centro Plaza Iquique
		Sector Sur Inacap
	La Serena	Aeropuerto
Barrio Inglés		
La Herradura		
Las Compañías		
Mall Plaza		
Sector Centro Plaza de Armas		

Tabla 22. Puntos de medición Benchmarking Zona Centro.

Centro	Curicó	Centro Curicó
		Mall Curicó
	Olmué	Plaza Centro Olmué
	Panguilemo	Domicilio Panguilemo
	Rancagua	Almarza 167 oficina Op. Red Rancagua
		Express Way Bowling
		Mall del Centro Rancagua
		Oficina Comercial Rancagua Centro
		Rosario Super Pollo
		Sector Oriente Universidad Rancagua
		Sector Sur Domicilio
	Talca	Barrio Sur
		Casino sector Mall
		Centro Talca
		Jumbo Camino a las Rastras
	Valparaíso	Centro Valparaíso Chacabuco 1871
		Sector Puerto
	Viña del Mar	Centro Viña oficina comercial centro
		Gómez Carreño oficina Op. Red
Santa Inés		

Tabla 23. Puntos de medición Benchmarking Zona Sur.

Sur	Chiguayante	Los Altos de Chiguayante
	Concepción	Aeropuerto
		Centro Sector Bancos
		Mall Plaza del Trébol
	Coyhaique	Centro Sector Bancos y Plaza
		Pedro Aguirre Cerda
		Población Heroes de la Concepción
	Puerto Montt	Aeropuerto
		Cardonal
		Centro Bancos Mall
		Valle Volcanes
	Puerto Varas	Casino
	Punta Arenas	Aeropuerto
		Centro Sector Hoteles
		Población Aves Australes
		Zona Franca
	Talcahuano	Puerto
Temuco	Aeropuerto	
	Barrio Inglés	
	Centro Bancos	
	Mall	
Valdivia	Casino	