

MODELO PARA LA MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD PROMEDIO DE TRANSMISIÓN DEL SERVICIO DE
DATOS DE UNA CONEXIÓN HACIA INTERNET

RONALD MAURICIO MORENO SOLER

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ÁREA DE TELECOMUNICACIONES
SANTIAGO DE CALI
2012

MODELO PARA LA MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD PROMEDIO DE TRANSMISIÓN DEL SERVICIO DE
DATOS DE UNA CONEXIÓN HACIA INTERNET

RONALD MAURICIO MORENO SOLER
Código: 0540017

Trabajo de grado
para optar al título de
Ingeniero Electrónico

DIRECTOR
Ing. FABIO GERMÁN GUERRERO M.sC

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ÁREA DE TELECOMUNICACIONES
SANTIAGO DE CALI
2012

Nota de aceptación:

Ing. FABIO GERMÁN GUERRERO M.sC
Director

Jurado

Jurado

Santiago de Cali, Mayo de 2012

DEDICATORIA

A la memoria de mi padre, que le faltó un poco de tiempo para alcanzar a ver este sueño cumplido pero yo sé que estaría muy orgulloso de mí, como siempre lo estuvo en cada uno de mis logros.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre por su comprensión, amor y apoyo durante toda mi formación como profesional.

A mis familiares, amigos y compañeros de la Universidad que me animaron a seguir adelante para culminar con éxito este trabajo de grado.

A Dinámica y Desarrollo, en especial a Sebastián por haberme permitido realizar pruebas en sus servidores.

Al profesor Fabio Guerrero por su orientación y motivación durante el desarrollo de este proyecto.

Finalmente, a la Universidad del Valle en especial a la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, cuyos profesores me orientaron para formarme como Ingeniero, pero sobre todo me enseñaron a que siempre debo dar lo mejor de mí para cumplir con todas y cada una de las metas.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	2
1. MARCO TEÓRICO	4
1.1 CONCEPTOS BÁSICOS	4
1.2 VELOCIDAD DE BANDA ANCHA	7
1.3 HERRAMIENTAS ACTUALES PARA CONOCER LA VELOCIDAD DE LA BANDA ANCHA	7
1.3.1 Akamai	8
1.3.2 International Computer Science Institute (ICSI)	9
1.3.3 Measurement Lab	10
1.3.4 ComScore	12
1.3.5 Ookla Net Metrics	12
1.3.6 YouTube	14
1.3.7 Samknows	15
1.4 IDENTIFICACIÓN DE LAS PRINCIPALES DIFERENCIAS DE LAS HERRAMIENTAS USADAS EN LA MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE BANDA ANCHA	16
1.5 FORTALEZAS Y DEBILIDADES DE LAS HERRAMIENTAS USADAS EN LA MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE BANDA ANCHA	18
2. MODELO PARA MEDIR LA VELOCIDAD DE LAS CONEXIONES HACIA INTERNET	21
2.1 DISEÑO DEL MODELO	21
2.1.1 Requerimientos de diseño	22
2.1.2 Algoritmo para medir la velocidad de Banda Ancha	23
2.2 DISEÑO DEL SERVIDOR	24
2.3 DISEÑO DEL CLIENTE	27
2.4 speedUV	29
2.5 RECOMENDACIONES PARA EL USO DE HERRAMIENTAS QUE MIDEN LA VELOCIDAD DE BANDA ANCHA	30
3. PRUEBAS Y RESULTADOS	31
3.1 PLATAFORMA DE PRUEBAS	31
3.1.1 Topología	32
3.1.2 Equipos finales	32
3.1.3 Condiciones generales de la prueba	33

3.2	PRUEBA 1	33
3.2.1	Procedimiento	33
3.2.2	Resultados.....	33
3.3	PRUEBA 2	34
3.3.1	Procedimiento	34
3.3.2	Resultados.....	35
3.4	PRUEBA 3	36
3.4.1	Procedimiento	36
3.4.2	Resultados.....	36
3.5	PRUEBA 4	37
3.5.1	Procedimiento	37
3.5.2	Resultados.....	38
3.6	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	42
4.	NORMAS DE REGULACIÓN PARA EL ENTORNO COLOMBIANO.....	46
4.1	LEY 1341 DE 2009.....	46
4.2	RESOLUCIÓN 3066 DE 2011	47
4.3	RESOLUCIÓN 3067 DE 2011.....	48
4.4	RESOLUCIÓN 3503 DE 2011	50
4.5	RECOMENDACIONES PARA FORTALECER EL MARCO NORMATIVO DEL SERVICIO DE BANDA ANCHA	52
5.	CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	54
5.1	TRABAJO FUTURO	54
5.2	CONCLUSIONES	55
6.	REFERENCIAS.....	56

RESUMEN

La velocidad es una de las propiedades de las conexiones hacia internet que genera mayor interés en ser medida por parte de los usuarios, los proveedores de los servicios de Internet y los entes reguladores. Es el principal indicador para definir la calidad del servicio de Internet.

Existen varias herramientas y sitios web que permiten medir o conocer la velocidad de Banda Ancha. El más conocido es Ookla Net Metrics con su herramienta speedtest.net. Cada uno de estos sitios web ha desarrollado un método diferente de medición, los cuales son analizados en el presente trabajo.

Con este trabajo de grado se busca plantear un modelo para medir la velocidad de transmisión de las conexiones por las cuales un usuario se conecta a internet. Para lograr esto, primero se van a precisar diferentes conceptos relacionados con la velocidad de Banda Ancha y otras propiedades de las redes, para tener una mejor idea de lo que en realidad se quiere medir.

Después de tener claro los conceptos y haber estudiado las diferentes herramientas que existen para medir la velocidad de transmisión de las conexiones hacia Internet, se planteará el modelo y seguidamente se harán las pruebas necesarias para comprobar su desempeño.

En la parte final se examina el marco regulatorio que existe en Colombia con relación a la prestación del servicio de internet, especialmente las conexiones de Banda Ancha. Esto con el fin de ver como se encuentra el país respecto a este tema y poder plantear una serie de recomendaciones para que sea aún más eficiente.

OBJETIVOS

Objetivo General

Proponer, diseñar e implementar un modelo para la medición de la velocidad promedio de transmisión del servicio de datos de una conexión hacia Internet

Objetivos Específicos

- Estudiar los métodos existentes actualmente para medir la velocidad promedio de transmisión del servicio de datos de una conexión hacia Internet.
- Identificar las limitaciones de los métodos existentes para la medición de la velocidad promedio de transmisión del servicio de datos de una conexión hacia Internet.
- Proponer un modelo de código abierto para medir la velocidad promedio de transmisión del servicio de datos de una conexión hacia Internet.
- Implementar una aplicación cliente-servidor para medir la velocidad promedio de transmisión del servicio de datos de una conexión hacia Internet usando el método propuesto.
- Estudiar las normas de regulación para el entorno colombiano.
- Proponer recomendaciones al regulador para el entorno colombiano.

INTRODUCCIÓN

Internet se ha convertido en el medio para compartir información más grande del mundo. Cada día aumenta el número de usuarios que usan esta gran red y aumenta también la oferta de aplicaciones que los usuarios pueden usar. Esta variada oferta de aplicaciones e información ha hecho que los usuarios demanden conexiones de internet más veloces y confiables.

Las conexiones de internet Banda Ancha han permitido suplir en parte las demandas de velocidad por parte de los usuarios. La Banda Ancha ocupa un gran porcentaje de los tipos de conexiones a Internet. Sólo en Colombia, el 73,8% de los suscriptores a internet fijo y móvil cuenta con conexiones por encima de 1 Mbps¹, velocidad de transmisión que ya es considerada de Banda Ancha según las normas de regulación del país

Cuando se habla de problemas en el servicio de internet, la principal queja es siempre acerca de la velocidad de la conexión. Es común escuchar frases como: “mi conexión es muy lenta”, o “me demoro una eternidad descargando archivos”. La velocidad de transmisión de las conexiones hacia internet se ha convertido en un indicador significativo que se emplea en la caracterización de la calidad del servicio de internet; es el criterio primordial cuando los usuarios seleccionan un proveedor de servicios de internet.

La percepción sobre la calidad de la banda ancha influye en las políticas de regulación, el comportamiento del usuario, creación de nuevos contenidos y aplicaciones, manejo de tráfico y mercadeo por parte de los operadores de red.

En la actualidad hay diversas organizaciones que prestan el servicio de medición de la velocidad de transmisión de las conexiones hacia internet y con ellas también hay diferentes métodos que se usan en ésta medición. Los valores obtenidos con estas herramientas no son siempre homogéneos; además, hay muchas variables que influyen en el resultado, tales como el tiempo, la cantidad de tráfico, los cuellos de botella especialmente en las conexiones inalámbricas, la cantidad de usuarios conectados a la red, las características de cada computador, entre otras.

En la primera parte de este trabajo de grado se definirán algunos conceptos básicos en las redes de comunicaciones que son claves para entender lo que significa la velocidad de Banda Ancha. Posteriormente, en la sección 1.2, se explicará cual es la medición que se busca obtener

¹ Informe trimestral de conectividad de la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC). Agosto 2011

al final de este trabajo, ya que en el mercado y en el campo investigativo existen diversas interpretaciones del mismo concepto.

La sección 1.3 compila las herramientas que actualmente se usan más para conocer la velocidad de las conexiones hacia internet. Veremos que algunas de esas herramientas son comerciales, por lo que cualquier usuario puede acceder a ellas. Mientras que otras son usadas solamente por investigadores, académicos o personas con conocimientos técnicos de las redes de comunicaciones. En la sección 1.4 se identifican sus principales diferencias, para que luego, en la sección 1.5, se puedan identificar las fortalezas y debilidades de cada una de esas herramientas.

El capítulo 2 comprende todo lo relacionado con el diseño e implementación del modelo. El modelo se planteó como una aplicación que está formada por dos módulos principales: Modulo Cliente y Modulo Servidor. En las secciones 2.2 y 2.3 se muestra el diseño de cada uno de ellos. La aplicación final se presenta en el subcapítulo 2.4 y en el 2.5 hay una serie de recomendaciones para medir e interpretar los resultados de la velocidad de Banda Ancha.

Para verificar el funcionamiento de la aplicación implementada, se hicieron cuatro pruebas que están recopiladas en el capítulo 3. Las tres primeras se ejecutaron en una plataforma virtual y la última se realizó en un entorno real.

En el capítulo 4 se hace una compilación del marco normativo que regula el desarrollo del sector de Tecnologías de la Información y Comunicaciones en el entorno colombiano. Se presenta la Ley 1341 de 2009 y otras Resoluciones que involucran temas como la calidad de los servicios de Internet y la protección de los derechos de los usuarios. Al finalizar este capítulo en la sección 4.5 se presenta una serie de recomendaciones para fortalecer el marco normativo del servicio de Banda Ancha en Colombia.

Finalmente se presentan, en el capítulo 5, los posibles trabajos futuros que permitirán continuar con el estudio de este tema que es de gran interés tanto para los usuarios, como para los proveedores de los servicios de Internet y los entes reguladores. Además, en la sección 5.2 se plantean unas conclusiones a las que se llegó durante el desarrollo de este trabajo de grado.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 CONCEPTOS BÁSICOS

Antes de empezar a discutir sobre cualquier método de medición de la velocidad de transmisión de las conexiones hacia internet, se deben definir algunos conceptos básicos para entender mejor lo que se quiere lograr medir en este trabajo de grado. Según el diccionario de la RAE², velocidad es la “variación por unidad de tiempo de alguna de las características de un fenómeno”. El ancho de banda de acuerdo con [1], “se define generalmente como datos por unidad de tiempo”. Para unificar estas dos definiciones, en el campo de las redes de comunicaciones, la velocidad de transmisión de datos se define como el número de bits que se transmiten entre dos dispositivos por unidad de tiempo. Sus unidades son bit por segundo (bps, b/s).

En este documento se usará indistintamente el término de velocidad de Banda Ancha como la velocidad de transmisión de datos hacia internet. Esto dado que hoy en día la mayoría de las conexiones hacia internet son del tipo Banda Ancha.

Ya se ha dicho que la velocidad es uno de los parámetros que más se tienen en cuenta a la hora de caracterizar la calidad del servicio de datos de una conexión hacia internet; entonces, cuando se quiere verificar el rendimiento de la conexión, existen unas características de las redes que se pueden medir para lograrlo.

Algunas de esas características de una red que pueden ser medidas para conocer el rendimiento de la misma son: la capacidad, la utilización, el ancho de banda disponible y la capacidad de transferencia masiva (o ancho de banda alcanzable). A continuación se expondrá cada una de ellas:

Capacidad

Es una medida de la capacidad total que tiene un enlace para transportar tráfico en una red, cuando no hay tráfico competitivo. La capacidad de extremo a extremo es la capacidad del enlace mínimo a lo largo de un camino. La capacidad se expresa como la cantidad de tráfico que el enlace puede transportar en un intervalo de tiempo específico (por ejemplo, *megabits* por segundo). Esta información es útil en muchas áreas, tales como determinar cómo se establece el tamaño óptimo del búfer TCP. Cuando se habla de medidas de capacidad es importante especificar cual capa está siendo considerada, capa 2 o capa 3 [1] [2].

Un enlace de la capa 2, o segmento, puede transferir normalmente datos a una tasa de bits constante, que es la tasa de transmisión del segmento. Por ejemplo, esta tasa es de 10 Mb/s en un segmento de *Ethernet* 10BaseT. La velocidad de transmisión de un segmento está limitada

² Real Academia Española. Ver en: http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=velocidad

tanto por el ancho de banda físico del medio de propagación subyacente como por su hardware transmisor/receptor electrónico u óptico [3].

En la capa IP un salto entrega una tasa más baja que su velocidad de transmisión nominal debido a la sobrecarga de encapsulamiento de la capa 2. En concreto, suponiendo que la capacidad nominal de un segmento es C_{L2} . El tiempo de transmisión de un paquete IP de tamaño L_{L3} bytes es

$$\Delta_{L3} = \frac{L_{L3} + H_{L2}}{C_{L2}} \quad (1)$$

Donde H_L es la sobrecarga total de la capa 2 (en bytes) necesaria para encapsular el paquete IP. Así que la capacidad C_{L3} de ese segmento en la capa IP es

$$C_{L3} = \frac{L_{L3}}{\Delta_{L3}} = \frac{L_{L3}}{\frac{L_{L3} + H_{L2}}{C_{L2}}} = C_{L2} \frac{1}{1 + \frac{H_{L2}}{L_{L3}}} \quad (2)$$

Nótese que la capacidad de la capa IP depende del tamaño del paquete IP en relación con la sobrecarga de la capa 2 [3].

De la ecuación 2, la tasa máxima de transferencia en la capa IP resulta de los paquetes de tamaño MTU³ (*Maximun Transmission Unit*). Se define la capacidad de un salto como la tasa de bits, medida en la capa IP, a la que el salto puede transferir paquetes IP de tamaño MTU [3].

Utilización

Utilización es la capacidad total que está siendo actualmente consumida en un salto o camino; es decir, es la cantidad de datos que pasa por un salto o camino durante un determinado periodo de tiempo. Esto da un ancho de banda promedio a lo largo del tiempo de observación. La selección del intervalo de tiempo es importante: un intervalo demasiado corto puede causar dificultades, por ejemplo, problemas de carga en la CPU de routers o switches, y un intervalo demasiado largo esconderá las tasas pico del ancho de banda [1].

Ancho de Banda Disponible

Es una medida de cuánta capacidad no se utiliza en un enlace durante cierto periodo de tiempo. Así que, aunque la capacidad de un enlace depende de la tecnología de transmisión subyacente y del medio de propagación, el ancho de banda disponible de un enlace depende también de la carga de tráfico en ese enlace y, normalmente, es una medida que varía en el tiempo. Se podría argumentar que el ancho de banda disponible es redundante, ya que se puede derivar de la capacidad y la utilización, sin embargo, es posible obtener

³ Unidad Máxima de Transmisión

directamente una medición de ancho de banda no utilizado sin medir la capacidad o la utilización [1][3].

En cualquier instante específico de tiempo, un enlace está transmitiendo un paquete a la capacidad máxima del enlace o está inactivo, por lo que la utilización instantánea de un enlace sólo puede ser 0 o 1. Por lo tanto, cualquier definición significativa de ancho de banda disponible requiere un promedio del tiempo de uso instantáneo durante el intervalo de tiempo de interés. La utilización del promedio $\bar{u}(t - \tau, t)$ para un periodo de tiempo $(t - \tau, t)$ está dado por

$$\bar{u}(t - \tau, t) = \frac{1}{\tau} \int_{t-\tau}^t u(x) dx \quad (3)$$

Donde $u(x)$ es el ancho de banda instantáneo disponible del enlace en el tiempo x . La longitud de tiempo τ se refiere a la escala de tiempo promedio del ancho de banda disponible [3].

Ahora se define el ancho de banda disponible de un salto i en un intervalo de tiempo determinado. Si C_i es la capacidad de un salto i y u_i es el uso promedio de ese salto en el intervalo de tiempo dado, el ancho de banda disponible promedio A_i de el salto i está dado por la fracción no utilizada de la capacidad,

$$A_i = (1 - u_i)C_i \quad (4)$$

Capacidad de Transporte Masivo (Ancho de Banda alcanzable)

El ancho de banda alcanzable es la cantidad máxima de datos por unidad de tiempo que un salto o camino puede proporcionar a una aplicación usando un protocolo de transporte con control de congestión como TCP⁴ (*Transmission Control Protocol*). Es decir, mide el rendimiento alcanzable de una sola conexión de transporte. La capacidad de transporte masivo es una medida del rendimiento de los datos o “carga útil”[1][2].

En la RFC 3148[4], se define un marco para las mediciones empíricas de la BTC⁵ y dan una definición intuitiva de la capacidad de transporte masivo como la tasa de datos promedio esperada a largo plazo (bits por segundo) de una sola implementación ideal de TCP sobre el camino en cuestión. La definición específica de la capacidad de transporte masivo que debe ser reportada por una herramienta de BTC es:

$$BTC = \text{Datos_enviados} / \text{Tiempo_transcurrido}$$

⁴ Protocolo de Control de Transmisión

⁵ Bulk Transfer Capacity = Capacidad de transporte masivo

Definir el rendimiento esperado de una conexión TCP tiene sus dificultades. Hay una serie de factores que pueden influir en el rendimiento de TCP, incluyendo la ventana anunciada por el receptor, el tamaño total de la transferencia, el tipo de tráfico (UDP o TCP), el número de conexiones TCP que compiten, el tamaño del *búfer* del *socket* TCP en el lado remitente y en el lado receptor, la probabilidad de pérdidas aleatorias, la congestión a lo largo del camino de retorno, el tiempo de ida y vuelta (RTT⁶), así como el tamaño del *búfer* de los enrutadores y el ancho de banda disponible en los caminos de ida y vuelta [3][5].

1.2 VELOCIDAD DE BANDA ANCHA

Después de definir el concepto de Velocidad de Banda Ancha y conocer cuáles son las propiedades que la identifican, se explicará lo que en la práctica se busca con esta medición. De las cuatro características de las redes expuestas en la sección anterior, la que mejor se ajusta al objetivo de este trabajo de grado para conocer la velocidad de la Banda Ancha es la capacidad de transporte masivo o ancho de banda alcanzable. La finalidad de esta característica es indicar cuál es el rendimiento que una aplicación real de usuario espera obtener.

En otras palabras, cuando un usuario está ejecutando cualquier aplicación de red en su computador, la capacidad de transporte masivo le indica cual es la velocidad “neta” que puede esperar para que su aplicación transmita datos a través de la red. La palabra “neta” quiere decir que la velocidad medida ya está influenciada por los diferentes factores que afectan el rendimiento esperado de una conexión TCP y que se nombraron en la sección anterior.

1.3 HERRAMIENTAS ACTUALES PARA CONOCER LA VELOCIDAD DE LA BANDA ANCHA

En la actualidad existe gran variedad de sitios en internet y compañías que miden la velocidad de transmisión de las conexiones hacia internet [2]. Tal es el caso de algunos proveedores de servicios de Internet (ISP) en Colombia que ofrecen a sus clientes en sus páginas de web un test de velocidad. Vale la pena aclarar que los test de velocidad de los ISP colombianos no son desarrollados por ellos mismos, sino que usan aplicaciones de otras empresas que son especializadas en servicios de diagnóstico de internet. Por ejemplo *UNE*⁷, *EMCALI*⁸ y *COMCEL*⁹ usan test de velocidad desarrollados por la empresa norteamericana *Ookla Net Metrics*¹⁰.

⁶ Round Trip Time

⁷ Ver en <http://medicion.une.net.co/>. Test de velocidad UNE

⁸ Ver en <http://speedtest.emcali.net.co/>. Test de velocidad EMCALI

⁹ Ver en <http://www.testdevelocidadcomcel.com.co/velocidad.html>. Test de Velocidad COMCEL

¹⁰ Ver en <http://www.ookla.com/>

Dentro de los sitios web o las compañías especializadas en internet que han desarrollado herramientas para medir la velocidad de banda ancha o que presentan informes sobre dichas velocidades, se encuentran [2]: *Ookla Net Metrics*, *Akamai*, *ComScore*, *Measurement Lab* y *YouTube (Google)*.

Igualmente hay grupos de investigación en universidades que se han interesado en el tema de medir el rendimiento de las redes en internet y han empezado a desarrollar herramientas para este fin. Un ejemplo es el grupo de investigación de redes del ICSI¹¹ de la Universidad de California-Berkeley, donde diseñaron e implementaron una herramienta llamada *Netyzr* que evalúa la funcionalidad de las conexiones a internet de las personas y de la cual se explicará su funcionamiento en la siguiente sección.

En este subcapítulo se presentarán algunas empresas tecnológicas especializadas en el tema de internet que han desarrollado herramientas o métodos para determinar la velocidad de las conexiones hacia internet. Se podrá observar por un lado, que algunas de ellas han desarrollado aplicaciones capaces de estimar las velocidades de las conexiones y que pueden ser ejecutadas independientemente por cualquier usuario en sus sitios web, mientras que por el otro lado hay compañías que simplemente presentan informes de ciertas áreas geográficas basadas en el uso de su infraestructura de servidores por parte de los clientes, pero no es posible que cada usuario conozca la velocidad de la conexión banda ancha en su hogar o en su sitio de trabajo o estudio.

1.3.1 Akamai

*Akamai*¹² es una empresa que ofrece contenidos y servicios de entrega de aplicaciones a través de Internet. Operan una red de distribución de contenidos (CDN) que consiste en decenas de miles de servidores en varias de las 1000 más grandes redes de Internet. Ellos llevan un registro de los clientes que se conectan a sus servidores a descargar contenido. Toda la información que recolectan es analizada para luego publicar trimestralmente un reporte del “Estado del Internet”. Estos reportes muestran, entre otros datos, la velocidad promedio de las conexiones en diferentes áreas geográficas. Debido a su modo de funcionamiento sólo pueden entregar información de la velocidad de descarga [2].

Metodología

Cada solicitud HTTP GET a su infraestructura produce una entrada de registro que incluye, entre otra información, la dirección IP del cliente que hace la solicitud, los bytes transferidos y la duración de la transferencia. A partir de esta información se puede calcular la velocidad de transferencia por cliente. Múltiples peticiones HTTP se pueden atender de forma secuencial

¹¹ International Computer Science Institute. Instituto Internacional de ciencias de la Computación afiliado a Universidad de California en Berkeley

¹² Ver en <http://www.akamai.com>

sobre la misma conexión TCP, y múltiples conexiones TCP de un solo cliente pueden ser abiertas hacia los servidores de *Akamai* [2].

Akamai direcciona los clientes a los servidores basado en la proximidad de la red y la carga de sus servidores. En general los clientes serán conectados a los servidores más cercanos a su ubicación buscando baja latencia. Si parte de la infraestructura de *Akamai* está muy cargada, los clientes son dirigidos a otros servidores cercanos pero con mayor latencia (lo cual no es ideal para medir el rendimiento) [2].

1.3.2 *International Computer Science Institute (ICSI)*

El grupo de investigación de redes del ICSI¹³ ha desarrollado su herramienta *Netalyzer* que según [6], es un servicio público que permite a cualquier usuario de internet obtener un análisis detallado de las condiciones de funcionamiento de su conexión a internet. Su diseño tiene la intención de demostrar tanto lo exhaustivo en términos de las propiedades que miden como lo simple de usar y entender para los usuarios con pocos conocimientos técnicos.

Netalyzer prueba una amplia gama de propiedades de los accesos a internet de los usuarios, a partir de la capa de red, incluyendo el uso y traducción de direcciones IP, soporte IPv6, fidelidad y seguridad en la resolución de DNS, accesibilidad de servicios TCP/UDP, intervención de antivirus, restricciones de descarga basada en contenido, manipulación de contenidos, prevalencia y conexión del almacenamiento en caché de HTTP, latencias y el búfer del enlace de acceso [6].

Metodología

Los usuarios inician una sesión de pruebas visitando el sitio web de *Netalyzer*¹⁴ y haciendo click en **Start Analysis**, donde se carga el applet de prueba que está incorporado a la página web. Una vez cargado, el applet realiza un gran número de mediciones, indicando el progreso de la prueba al usuario. Cuando la prueba termina, el applet direcciona al usuario a una página de resumen que muestra los resultados de la prueba en detalle y con explicaciones [6].

Como ya se dijo antes, el *Netalyzer* prueba diferentes propiedades de los accesos a internet, en total son 38 tipos de mediciones que implementa el applet de Java. El applet ejecuta las diferentes pruebas secuencialmente, pero también emplea múltiples hilos para asegurar que las sesiones de prueba no detengan todo el proceso y para acelerar algunas tareas que se pueden ejecutar de forma paralela [6].

Específicamente, para la prueba de latencia, ancho de banda y almacenamiento en búfer se mide el rendimiento de entrega de paquetes en términos de la duración del RTT, los límites del ancho de banda direccional y el tamaño del búfer. Con esto, el principal objetivo no es medir

¹³ Ver en <http://www.icsi.berkeley.edu/index.html>

¹⁴ Ver en <http://netalyzer.icsi.berkeley.edu/>

la capacidad en sí, sino usarlo como un método para medir el tamaño de los búferes de los cuellos de botella, que pueden afectar significativamente la latencia percibida por el usuario. Esto lo logran mediante la medición del aumento de la latencia entre la inactividad y la experimentada durante la prueba de ancho de banda, que en la mayoría de los casos satura brevemente la capacidad del enlace en una dirección y de esta forma llena el búfer en el cuello de botella [6].

Netalyzr lleva a cabo estas medidas en dos formas básicas. En primer lugar, al comienzo del proceso de medición se inicia en segundo plano el envío de paquetes pequeños a una tasa de 5 Hz. Esta prueba se usa para detectar cortes transitorios, como los ocasionados por una mala señal inalámbrica.

En segundo lugar, se ejecuta una prueba explícita de latencia y ancho de banda. La prueba comienza con un tren de paquetes UDP pequeños a una tasa de 10 Hz, para los cuales las respuestas de los servidores proporcionan la latencia de referencia promedio, utilizada para estimar los efectos del tamaño del búfer. La prueba envía luego un tren de paquetes UDP pequeños que provocan respuestas de 1000 bytes, con aumento exponencial (después de 10 segundos) del volumen en el modo de comienzo lento. Por cada paquete recibido, el applet envía dos más. En la segunda mitad del intervalo, el applet mide a qué ritmo constante recibe los paquetes, así como la latencia promedio. Después de esperar 5 segundos para que se vacíen las colas, esto se repite con los tamaños invertidos, enviando paquetes grandes al servidor el cual genera respuestas pequeñas [6].

1.3.3 Measurement Lab

Measurement Lab (M-Lab)¹⁵ es una plataforma abierta y distribuida para que investigadores desplieguen herramientas de medición de Internet. El objetivo de M-Lab es promover la investigación de la red y proporcionar al público información útil sobre sus conexiones de banda ancha. Su importancia como una herramienta de prueba se encuentra en el extenso registro de variables de estado TCP que recoge [2].

Metodología

La NDT¹⁶ (Network Diagnostic Tool) consiste en un programa cliente que viene en forma de applet de java y en versión de línea de comando. El lado del servidor se compone de un servidor web y el motor de pruebas y análisis. La clave para la funcionalidad del lado del servidor es la instrumentación de la pila TCP del sistema operativo que permite capturar cada 5 ms estadísticas detalladas para cada prueba [2].

¹⁵ Ver en <http://www.measurementlab.net/>

¹⁶ Nombre de la herramienta de M-Lab que mide la velocidad de las conexiones hacia internet

Cuando el cliente activa la aplicación M-Lab NDT, un applet de Java es descargado en el computador cliente. El applet se comunica con el servidor para ejecutar una serie de pequeñas pruebas como se indica a continuación en la Tabla 1[7]:

Prueba de descarga	Prueba de carga
1. Un bloque pseudo aleatorio de datos es generado en el servidor y almacenado en la memoria	1. Un bloque pseudo aleatorio de datos es generado en el cliente y almacenado en la memoria
2. El servidor transmite repetidamente estos datos al cliente java durante 10 segundos	2. El cliente transmite repetidamente estos datos al servidor durante 10 segundos
3. El cliente reconoce haber recibido la información y luego la descarta	3. El servidor reconoce la recepción de estos datos y luego los descarta
4. El servidor calcula el rendimiento promedio dividiendo el numero de bytes enviados por el tiempo de la prueba	4. El servidor calcula el rendimiento promedio dividiendo el numero de bytes enviados por el tiempo de la prueba
5. El servidor también realiza mediciones en función de cada paquete, calculando la capacidad del enlace de extremo a extremo	5. El servidor también realiza mediciones en función de cada paquete, calculando la capacidad del enlace de extremo a extremo
6. El servidor mide el numero de paquetes perdidos y retrasados, el tiempo de ida y vuelta (RTT) instantáneo, y examina la configuración de la red de los clientes para determinar lo que, dado el caso, causó una caída en el rendimiento esperado.	6. Los resultados de la prueba se devuelven al cliente después de terminada la prueba

Tabla 1 Pasos que ejecuta la aplicación NDT de M-Lab en su prueba de velocidad de carga y descarga

En la NDT, el emisor trata de enviar tantos datos como sea posible durante el periodo de 10 segundos que dura la prueba. Esto difiere del método de *Akamai* y *ComScore* quien mide el tiempo de descarga de una cantidad fija de datos, pero es similar al método de *Ookla* que generalmente continúa descargando datos hasta que se completa la prueba de los diez segundos. A medida que aumentan las velocidades de la banda ancha, las pruebas que intentan descargar tantos datos como sea posible tienen la posibilidad de descargar una cantidad significativa de tráfico.

Los clientes pueden elegir manualmente el servidor a conectarse o pueden ser asignados automáticamente a un servidor de la infraestructura de *Donar* (Distributed server selection for cloud services). Esta selección automática de los servidores está basada tanto en la proximidad del cliente a los diferentes servidores de prueba como a la carga de la infraestructura en conjunto. Esto contrasta con la infraestructura de *Ookla* donde la selección automática de los

servidores está basada sólo en la proximidad geográfica pero se asemeja a la infraestructura de Akamai que de igual forma tiene en cuenta la carga.

1.3.4 ComScore

*ComScore*¹⁷ es una compañía de investigación de marketing en Internet que, entre sus servicios ofrece datos sobre la velocidad de transmisión de las conexiones hacia internet basados en su propia metodología de diagnóstico e infraestructura de medición. Es de interés porque sus datos han sido usados por la Comisión Federal de Comunicaciones (*FCC*¹⁸ por sus siglas en Inglés) para documentar el estado actual de la banda ancha en los Estados Unidos [2].

Metodología

Sobre su metodología es muy poca la información a la que se puede acceder. Hay un reporte de Peter Sevcik [8] en el que se presenta una serie de cuestiones metodológicas que pueden ser fuente de error en las mediciones hechas por *ComScore*. Particularmente se puede anotar el hecho que en el método aplicado por *ComScore* usan una sola conexión TCP en sus mediciones lo que puede llevar a subestimar la velocidad real alcanzada en una red. Lo anterior debido a que el receptor puede limitar la velocidad diciéndole al emisor que no tiene el espacio adecuado en el búfer para transferir datos rápidamente, es decir, el emisor está limitado por la ventana del receptor en lugar de la ventana de congestión [2].

1.3.5 Ookla Net Metrics

Ookla desarrolla y vende aplicaciones para hacer diagnósticos de las conexiones hacia internet. Ellos tienen una página web llamada *SpeedTest.net*¹⁹ en la cual ofrecen el servicio gratuito de test de velocidad. Se puede decir que es la empresa más popular que presta éste servicio ya que su aplicación ha sido usada en más de 3.2 billones de pruebas desde que inició operaciones en el año 2006²⁰ [2].

Metodología

La empresa *Ookla* ha publicado, en su página web, una descripción general de la metodología que usan en su prueba de velocidad. A continuación en la Tabla 2 se muestran los pasos descritos en su página web²¹:

¹⁷ Ver en <http://www.comscore.com/>

¹⁸ Federal Communications Comision

¹⁹ Ver en <http://speedtest.net/>. Test de velocidad SpeedTest

²⁰ Cantidad de pruebas realizadas hasta 03-2012

²¹ Ver en http://wiki.ookla.com/test_flow. Consultado en 20-10-2011

Prueba de descarga	Prueba de Carga
1. Se descargan pequeños archivos binarios desde el servidor web hacia el cliente para estimar la velocidad de la conexión 2. Con base en este resultado, se selecciona uno de los diferentes tamaños de archivo para utilizarlo en la prueba de descarga real 3. La prueba se realiza con prevención de caché a través de cadenas aleatorias anexas a cada descarga 4. Se pueden usar, en la prueba, hasta 8 hilos paralelos de HTTP 5. Se reciben muestras de la velocidad hasta 30 veces por segundo 6. Estas muestras son luego agrupadas en 20 partes (cada una representa el 5% de las muestras) 7. Se descarta el 10% más rápido y el 30% más lento de cada grupo 8. Los grupos resultantes se promedian para determinar el resultado final	1. Una cantidad pequeña de datos aleatorios es generada en el cliente y enviada al servidor web para estimar la velocidad de la conexión 2. Con base en este resultado, un conjunto de tamaño adecuado de los datos generados aleatoriamente se selecciona para la carga 3. La prueba de carga se realiza entonces en trozos de tamaño configurable (enviados a un script del lado servidor a través de un POST) 4. El test se puede realizar con un máximo de 8 hilos paralelos HTTP (configurable) 5. Los trozos son ordenados por velocidad, y la mitad más rápida es promediada para eliminar anomalías y determinar el resultado

Tabla 2 Pasos usados por Ookla Net Metrics en su prueba de velocidad de carga y descarga

Si bien las pruebas de velocidad se pueden ejecutar en cualquier servidor de Speedtest/Ookla en todo el mundo, el sitio Speedtest.net identifica el servidor geográficamente más cercano al cliente. Esto es importante porque la latencia al servidor de prueba puede tener un impacto significativo en estos resultados. Geográficamente, los sitios más lejanos suelen ser correlacionados con velocidades más bajas [2].

Uno de los parámetros configurables del motor Ookla es la longitud de la prueba; el valor por defecto para el *upstream* y el *downstream* es de diez segundos. Esta es una variable que tiene un efecto sobre las velocidades que se miden sobre todo en las conexiones de red que emplean tecnología *Powerboost*²², donde el inicio de transferencias largas será más rápido que la velocidad de transferencia de largo plazo.

De los pasos expuestos anteriormente en la Tabla 2, uno de los aspectos que más llama la atención para analizar en el método de Ookla es la forma como filtran los resultados de las

²² Powerboost es una tecnología que permite experimentar al usuario durante unos pocos segundos una mayor velocidad de conexión mientras se está descargando y subiendo archivos grandes a internet

pruebas. El argumento que ellos presentan en su página web es que, puesto que se están midiendo datos transportados sobre HTTP a través de Flash, hay una potencial sobrecarga del protocolo, en el almacenamiento en búfer debido a las múltiples capas entre la aplicación, y a la transferencia de datos en bruto y las ráfagas de información ocasionadas principalmente por el uso de la CPU. Esto explica, en gran medida, el descarte del 10% superior y del 10% inferior de las muestras. Como también se hace que la duración predeterminada de la prueba sea breve para la experiencia del usuario, y comparada con esta duración la fase de arranque es bastante significativa, esto conduce a eliminar otro 20% de las muestras resultantes inferiores.

Según lo expuesto en [2], esta filtración de los resultados es importante porque ellos no toman deliberadamente el total de los datos transmitidos dividido por el tiempo total, como si lo hacen en la metodología usada por ComScore y M-Lab. Filtrar las sub-muestras para conservar y promediar el 60% ha sido referido como una medida de velocidad “pico”.

En el artículo “Understanding broadband measurements” [2], consideran que esta caracterización de velocidad “pico” no es correcta. “Pico” puede ser definido de muchas formas en las redes (el intervalo muestreado más alto, el percentil 95 de la muestra, etc), pero el promedio entre el percentil 30 y el percentil 90 no es típicamente una medida de pico. El promedio entre el percentil 30 y el percentil 90 de las muestras es más alto que el promedio sobre todos los datos.

TCP está probando continuamente la red para encontrar la tasa de envío adecuada basada en la capacidad y el nivel de congestión actual en la red. Tiene algoritmos complejos que han seguido evolucionando para recuperarse de la pérdida de paquetes y retornan al aumento gradual una vez ha pasado el período de pérdida de datos. Es difícil saber cuáles muestras son representativas para los resultados de la prueba y más si las mediciones se hacen en los extremos. La decisión de Ookla de retener el 60% fue una decisión técnica basada en sus propios ensayos [2].

1.3.6 YouTube

*YouTube*²³ es un sitio *web* para compartir videos. Desde el 2006 es propiedad de *Google*. A principios del 2010 comenzó a permitir a los usuarios ver detalles sobre la velocidad que *Google* estima para su conexión individual, la de su ISP y su región geográfica mientras visualiza videos en *YouTube* [2].

Metodología

En su página web se puede ver información general acerca de la metodología que emplean para estimar la velocidad de las conexiones. Ellos indican lo siguiente:

²³ Ver en http://www.youtube.com/my_speed. Test de velocidad youtube

“Primero calculamos el ancho de banda de casi todos los vídeos de YouTube reproducidos teniendo en cuenta los datos enviados y aceptados por el equipo del usuario en un período de tiempo determinado. Se excluyen las respuestas en vídeo pequeñas, ya que pueden añadir ruido al cálculo del ancho de banda. Esta estimación del ancho de banda de cada vídeo reproducido se asocia a una cookie VISITOR_INFO1_LIVE y a la dirección IP que solicitó el vídeo, pero no a un nombre de usuario de YouTube.

Para la velocidad diaria que aparece en la página de velocidades de YouTube, medimos el ancho de banda de todos los vídeos reproducidos en una cookie determinada y en una dirección IP a lo largo del día. Si un usuario de un único portátil utiliza varias conexiones de red y reproduce vídeos desde ellas de forma habitual, podrían aparecer medidas de velocidades y datos de historial diferentes en función de la conexión que esté utilizando.

Las medidas de las regiones geográficas se calculan estableciendo como promedio las medias diarias de todos los usuarios (en función de la cookie VISITOR_INFO1_LIVE) que hayan reproducido vídeos en la misma región geográfica. Las medidas del proveedor de servicios de Internet (ISP) se calculan estableciendo como promedio las medias diarias de todos los usuarios (de nuevo en función de la cookie VISITOR_INFO1_LIVE) que utilicen el mismo proveedor de servicios de Internet y que se encuentren en la misma región geográfica.”

En su metodología no se ha podido determinar exactamente que partes de la transferencia del video se han extraído para calcular la velocidad. No puede ser el total de datos transferidos, dividido por el tiempo de transferencia de la conexión TCP, ya que el periodo inicial de almacenamiento en el búfer se carga lo más rápidamente posible; las partes adicionales del video se transfieren en plazos fijos mientras el video es visto. Así que hay brechas considerables en donde los datos no son transferidos. Las estimaciones de la velocidad por lo tanto, deben tomarse durante el periodo inicial de almacenamiento en el búfer o durante las ráfagas de datos [2].

1.3.7 Samknows

Finalmente se nombra la organización Samknows²⁴, que está desarrollando mediciones de velocidad basadas en *Hardware*. Este es un método nuevo que inició con la *Ofcom* (*Office of Communications*) en el Reino Unido y ahora está siendo apoyado también por la FCC en Estados Unidos. Se espera obtener resultados útiles con éste método dado que la plataforma *Hardware* elimina muchos de los potenciales cuellos de botella que pueden interferir con las mediciones en las redes [2].

²⁴ Ver en <http://www.samknows.com/broadband/index.php>

1.4 IDENTIFICACIÓN DE LAS PRINCIPALES DIFERENCIAS DE LAS HERRAMIENTAS USADAS EN LA MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE BANDA ANCHA

Con el objetivo de tener una idea más clara acerca del funcionamiento de las aplicaciones que se usan para medir la velocidad de las conexiones hacia internet, se hará una selección de los factores que más influyen en las pruebas, teniendo en cuenta algunos aspectos técnicos como la duración de la prueba o la selección de los servidores, entre otros.

El primer ítem es determinar si la aplicación es ejecutable por parte del usuario, esto quiere decir, si el usuario puede en cualquier momento de forma independiente, conocer la velocidad de su conexión hacia internet. En algunas de las herramientas consultadas, el usuario no puede obtener información individual sobre su conexión, sino que se le presentan informes de la región geográfica en la que se encuentra o del ISP que provee sus servicios de internet.

El siguiente punto a identificar es la duración de la prueba. Este es un factor técnico muy importante porque la velocidad estimada depende de la longitud del periodo en que se hace el cálculo. La velocidad de transferencia en una conexión TCP no es constante en todo el tiempo mientras dura el envío de información, en ocasiones se presenta ráfagas o aceleraciones en la tasa de transmisión, según la congestión que se presente en la red. Existen también usuarios que disponen de tecnología Powerboost en sus conexiones, lo que provoca que la transmisión sea más veloz en su periodo inicial (algunos pocos segundos) cuando el tamaño de los archivos a transmitir sea muy grande.

Otro criterio técnico importante para diferenciar las herramientas de medición es la forma como seleccionan los servidores de prueba. La distancia geográfica entre el cliente y el servidor está ligada directamente con la latencia, lo que se refleja en los resultados obtenidos de las velocidades. Básicamente hay dos criterios para seleccionar el servidor: la cercanía geográfica entre el cliente y el servidor y la carga de la red entre los dos.

El cuarto punto a identificar es si en la prueba se usa una sola o múltiples conexiones TCP. La diferencia en usar una sola o múltiples conexiones en la prueba, es que se está midiendo la velocidad de una sola transferencia o de la capacidad completa de enlace. Con muchos de los sistemas operativos que aún son comunes en internet, una sola conexión TCP no es capaz de saturar un enlace descongestionado. El sistema cliente se convierte en el cuello de botella en lugar de la red de acceso de banda ancha [2].

El último factor que se utilizó para diferenciar las herramientas de medición fue si, permitían medir la velocidad tanto de carga (*Upload*) como de descarga (*Download*), o solo una de ellas. Este es un criterio un poco más práctico y depende de la naturaleza de la herramienta, es decir, si la herramienta es una aplicación que fue diseñada para medir la velocidad de la Banda Ancha, entonces muestra ambas velocidades. Por el contrario, si la herramienta es parte del análisis del tráfico entre los servidores de una compañía y sus clientes, se muestra sólo la velocidad de descarga.

En la Tabla 3 se muestra la identificación de las principales diferencias de los métodos usados para conocer la velocidad de las conexiones hacia internet, basada en los criterios expuestos anteriormente.

Herramienta o Método	Aplicación ejecutable por el usuario	Duración de prueba	Selección servidores de prueba	Número de conexiones TCP	Upload - Download
Speedtest – Ookla	Si	10 seg (Configurable)	Proximidad – Selección manual	Múltiple	Upload - Download
Akamai	No	Depende del tamaño de la transferencia	Proximidad y carga	Simple	Download
YouTube	No es ejecutable por el usuario pero presenta resultados individuales	No hay información	Proximidad - Ubicación servidores de YouTube	No hay información	Download
NDT – M-Lab	Si	10 seg	Proximidad y carga – Selección manual	Simple	Upload - Download
Netalyzr / ICSI	Si	No hay información	Aleatoriamente	Para la prueba de ancho de banda usan UDP	Upload - Download
comScore	No	Depende del tamaño de la transferencia	No hay información	Simple	No hay información

Tabla 3 Identificación de diferencias de los métodos usados para conocer la velocidad de las conexiones hacia internet

En la Tabla 3 se pueden observar algunos aspectos interesantes. Por ejemplo, los métodos de Ookla, ICSI y M-Lab son los únicos que pueden ejecutar los usuarios independientemente y que muestran también la velocidad tanto de carga como de descarga.

Las herramientas de Ookla y M-Lab tienen una duración de 10 segundos, mientras que los demás dependen del tamaño de los archivos transferidos.

Otro aspecto relevante es que en Akamai y M-Lab tienen en cuenta proximidad y la carga de la red para hacer la selección de los servidores de prueba, contrario a los otros que sólo tiene en cuenta la ubicación de los servidores.

También es de resaltar que el Netalyzr de ICSI es la única herramienta que utiliza UDP como protocolo de transporte en su prueba.

Finalmente se observa que Ookla es el único que usa múltiples conexiones TCP en su prueba *speedtest.net*. Esto se puede justificar con el hecho de que actualmente es común encontrar que muchas aplicaciones usen múltiples conexiones TCP simultáneas. Navegadores web como Firefox, IE 8, y Google Chrome abren de 4 a 6 conexiones simultáneas por dominio. Junto con la práctica frecuente de los sitios web de usar dos o más sub-dominios, el número de conexiones simultáneas de TCP puede ser fácilmente de 4 a 8. Otras aplicaciones como tráfico peer-to-peer abren igualmente múltiples conexiones TCP. (Hay algunas excepciones. Tráfico web basado en video y la transferencia de grandes archivos tienden a usar una sola conexión TCP). Usar múltiples conexiones TCP es una prueba representativa para muchos patrones de uso típico en internet [2].

1.5 FORTALEZAS Y DEBILIDADES DE LAS HERRAMIENTAS USADAS EN LA MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE BANDA ANCHA

Después de haber identificado las principales diferencias de los métodos usados para conocer la velocidad de las conexiones hacia internet, es posible inferir cuales son las fortalezas o debilidades de un método frente a los demás, ya que por poseer características diferentes no se pueden comparar directamente.

La fortaleza de **Akamai** es que tiene una gran red de servidores distribuidos en todo el mundo, lo que le permite obtener un volumen de información lo suficientemente grande como para dar un informe que abarque muchas zonas geográficas del planeta. Una de sus debilidades es que por su infraestructura y modelo de negocio, sólo permite conocer la velocidad de descarga.

YouTube, por su parte, tiene también muchos servidores distribuidos en todo el mundo, lo que le da la ventaja de poder presentar informes a nivel local, regional y mundial. Unas de sus debilidades, igualmente como sucede con Akamai es que no muestran la velocidad de subida.

En el caso de **comScore**, su mayor debilidad, y por la cual no es posible determinar sus fortalezas, es la poca información que se conoce sobre su método de medición. Cómo se debe pagar por el acceso a su herramienta de medición, son muy herméticos con todos sus desarrollos.

La principal debilidad de los tres métodos mencionados en los párrafos anteriores, Akamai, YouTube y comScore, es que no puedan ser ejecutados de forma independiente por el usuario, ya que este tipo de herramientas deben ser fácilmente ejecutables cuando así lo deseen todos los interesados en conocer la velocidad de la conexión hacia internet, como son los usuarios, los ISP y las entidades reguladoras.

Los siguientes tres métodos, en contraste con los anteriores, tienen la ventaja de que pueden ser ejecutados cuando el usuario lo requiera. Esto le da la libertad de poder conocer la velocidad de su conexión hacia internet en los momentos que lo considere necesario, por ejemplo, si está experimentando demoras en la descarga de un archivo o si sus videos no cargan rápidamente.

El **Netalyzr** tiene, como su mayor fortaleza, los diversos tipos de pruebas que realiza. Esto la hace una herramienta muy completa para el análisis de las diferentes propiedades de las conexiones de internet y poder determinar el rendimiento de la red evaluada. Pero esa cantidad de pruebas son también una de sus debilidades. A pesar que uno de los objetivos en el ICSI es que el *Netalyzr* sea simple de manejar y entender por parte del usuario común, o sea que tenga pocos conocimientos técnicos, esto no se logra del todo porque a la hora de ver los resultados de la prueba hay muchos datos compilados en una sola página. Ellos explican cada uno de los ítems que se presentan en el resumen de la prueba, sin embargo, es tanta la información que un usuario con pocos conocimientos técnicos puede llegar a confundirse. La herramienta está enfocada a un ámbito más académico y técnico que a la parte comercial que es, en últimas, lo que le interesa al usuario sobre el rendimiento de su conexión de banda ancha.

En la Tabla 3 también se puede observar que Netalyzr es el único método que usa UDP como protocolo de transporte en su herramienta de medición. Con UDP se puede saturar rápidamente un camino de la red, pero hay que tener precaución de no superar la capacidad de la tarjeta de la interfaz de red para evitar que allí se forme un cuello de botella y haya pérdida de datos [1]. En la documentación encontrada sobre el método de Netalyzr no especifican la razón por la que usan UDP ni qué ventajas tiene sobre TCP. Lo cierto es que TCP es el protocolo de transporte dominante en la red y se podría decir que si una herramienta de medición usa este protocolo se puede aproximar más a la práctica y conseguir resultados más precisos y confiables.

En el caso de la herramienta **NDT** de *Measurement Lab*, ya se mencionó como fortaleza la independencia de la aplicación para ser ejecutada por parte del usuario. Otra fortaleza destacable de esta herramienta es que para seleccionar los servidores de prueba, tiene en cuenta no solamente la ubicación geográfica del servidor, sino también la carga que hay en la ruta entre el cliente y el servidor de prueba. Esto conlleva a que la prueba sea más “limpia” logrando obtener mediciones con menos probabilidad de error. Tiene la ventaja también que su utilización se ha venido incrementando desde que es usada por la FCC para conocer el estado de la Banda Ancha en los Estados Unidos de América; ya no la usa únicamente la comunidad científica, sino también los usuarios del común.

La principal debilidad de la NDT es que usa una sola conexión TCP durante su prueba. Con la infraestructura de red y los sistemas operativos usados hoy en día, es poco probable que una sola conexión TCP pueda usar toda la capacidad disponible de la red. Otro factor que puede disminuir el buen funcionamiento de esta herramienta es la forma en que analizan los datos obtenidos en las mediciones. No usan ningún tipo de filtro para descartar datos que puedan generar error en los cálculos.

Finalmente se presentan las debilidades y fortalezas de **Speedtest** de Ookla. Tienen la gran ventaja de que llevan más de 5 años²⁵ especializándose en las pruebas de velocidad de Banda Ancha. Por lo cual son la prueba de velocidad más popular en internet, usada por más de 3

²⁵ Desde el 2006

millones de personas al día [9]. Junto con la NDT, son las dos herramientas usadas por la FCC para conocer el estado de la Banda Ancha en los Estados Unidos. Una de sus fortalezas es la gran red de servidores de prueba que tienen distribuidos por todo el mundo especialmente en América del Norte y Europa. Sin embargo, en América del Sur tienen aún poca cobertura. Sólo en Colombia habilitaron el primer servidor de pruebas en Diciembre del 2011.

Speedtest tiene la principal fortaleza en usar múltiples conexiones TCP para su prueba. Esto hace que la herramienta se acople al funcionamiento de los sistemas operativos y redes actuales, ya que es común encontrar que muchas aplicaciones usan múltiples conexiones TCP simultáneas. Como otra de sus fortalezas, hay que mencionar que han desarrollado una interfaz gráfica fácil de usar, amigable con el usuario, la cual presenta contenidos visuales que ayudan al usuario a entender el tipo de prueba que está realizando.

La debilidad de Speedtest es que hay un componente de la prueba que no es muy claro y que puede generar alguna confusión en la interpretación de los resultados obtenidos. Este componente es el filtro que usan para descartar los datos de las mediciones que puedan contener error y finalmente hacer los cálculos de la velocidad. Ellos eliminan el 10% más rápido y el 30% más lento de las muestras, dejando la duda sobre si la velocidad obtenida es pico o promedio.

En general, las 3 herramientas que pueden ser ejecutadas independientemente por el usuario, NDT, Netalyzr y Speedtest, presentan resultados similares. Al ser ejecutadas en el mismo equipo, una detrás de la otra, se obtienen valores que concuerdan con la velocidad de Banda Ancha ofertada por el ISP. Este es un aspecto positivo, ya que al iniciar este trabajo de grado (Febrero 2011) se obtenían valores muy diferentes para el mismo tipo de prueba. Se nota que se ha estado trabajando por mejorar el rendimiento de estas herramientas, donde el mayor beneficiado es el usuario porque puede tener más confianza de que los valores conseguidos en las pruebas se aproximan a la realidad y puede evaluar imparcialmente la calidad de su conexión hacia internet.

2. MODELO PARA MEDIR LA VELOCIDAD DE LAS CONEXIONES HACIA INTERNET

El objetivo principal de este trabajo de grado es desarrollar un modelo para medir la velocidad de las conexiones hacia internet. Después de haber hecho una investigación extensa sobre el tema y analizado toda la información consultada se llegó al modelo que se expone a continuación.

2.1 DISEÑO DEL MODELO

Retomando el concepto explicado en la sección 1.2 sobre la velocidad de Banda Ancha, se definió la velocidad que se quiere medir, como la capacidad de transporte masivo o ancho de banda alcanzable. La finalidad es indicar el rendimiento que un usuario espera obtener al ejecutar una aplicación.

El modelo que se explica aquí para medir el ancho de banda alcanzable, se basa en la analogía de que la conexión de internet que proporciona el ISP es similar a la tubería principal de agua que entra a una casa. En la Figura 1 se ilustra esta analogía.

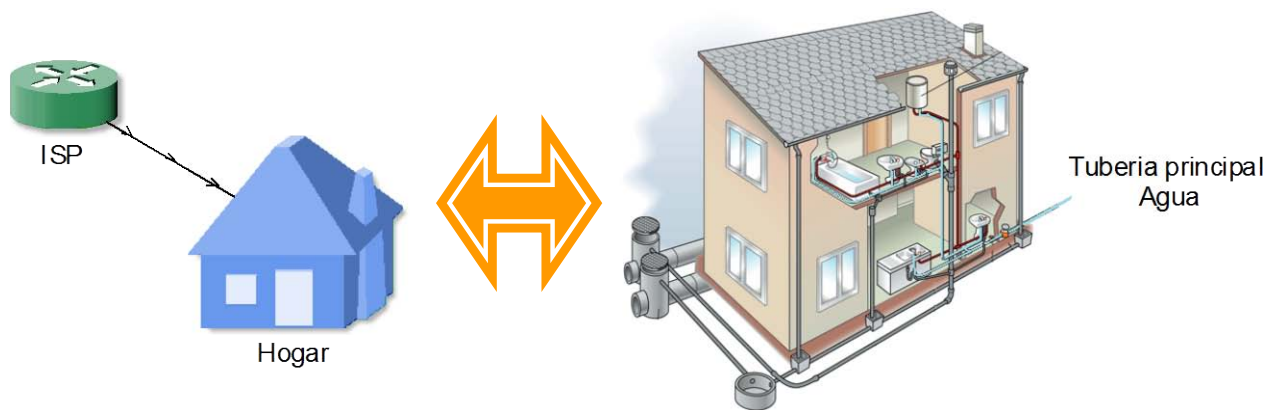


Figura 1 Analogía de la conexión de internet proporcionada por el ISP y el tubo principal del acueducto

Si una de las llaves dentro de la casa se abre, una porción del flujo saldrá por dicha llave. Sin embargo, si varias llaves son abiertas al mismo tiempo, entonces se logrará usar la capacidad total del flujo que entra por la acometida principal del acueducto a la casa. Abrir una sola llave sería como hacer una sola transferencia de archivos por la conexión de internet, pero ya se dijo en el capítulo anterior que los sistemas actuales están diseñados para soportar múltiples conexiones simultáneas, lo que permite a un usuario descargar archivos y navegar en la Web al mismo tiempo.

Con este modelo lo que se pretende es “llenar la tubería” y medir el flujo que se está obteniendo realmente. Se abrirán varias conexiones TCP para lograr generar tanto tráfico como sea posible, luego se medirá la velocidad en cada una de estas conexiones y se sumarán para calcular el rendimiento total que se llega a obtener.

El hecho de generar tráfico adicional al hacer la medición, indica que es un método invasivo. Este es un sacrificio que se hace mientras dura la prueba, pero que es necesario porque se busca obtener unos resultados que indiquen al usuario el rendimiento real de su conexión hacia internet. Se debe tener en cuenta también que esta medición es instantánea, es decir, sus resultados son válidos en el momento que se realiza la medición pero más adelante se pueden obtener valores diferentes, debido al comportamiento dinámico de las redes que depende de muchos factores como el tráfico, la carga de trabajo en el equipo donde se realiza la prueba, el número de conexiones que compiten, entre otros.

2.1.1 Requerimientos de diseño

El modelo planteado debe cumplir con unos requerimientos mínimos de diseño que se consideran a continuación:

El modelo desarrollado es del tipo cliente-servidor. Según este modelo, si hay un par de aplicaciones que se comunican entre sí, una de las partes implicadas en la comunicación debe iniciar su ejecución y esperar (indefinidamente) hasta que la otra parte contacte con ella. Esta solución es importante, ya que el TCP/IP no proporciona ningún mecanismo que automáticamente lance procesos para atender mensajes entrantes y, por ende, debe de existir un proceso en espera que sea capaz de atender dichos mensajes (peticiones de servicio) [10]. Lo explicado anteriormente nos muestra que existen dos grandes bloques en el modelo: un lado cliente que envía peticiones y un lado servidor que atiende dichas peticiones.

Como se quiere generar bastante tráfico para saturar la capacidad del enlace, se genera un bloque de datos de gran tamaño para ser enviado. Se busca que los datos sean aleatorios para prevenir alteraciones de la prueba en caso que los datos sean guardados en la memoria caché. Igualmente para generar tráfico y ajustarse a las condiciones actuales de los sistemas, se crean varias conexiones TCP para el envío de los datos.

Se busca también que el modelo pueda medir tanto la velocidad de Download como la de Upload, esto con el fin de brindar información más completa al usuario. A pesar de que, cuando se contrata el servicio de Internet, el usuario paga principalmente por la velocidad de descarga, hay usuarios para los cuales es importante también conocer su velocidad de carga para que ésta sea garantizada por parte del ISP.

Al presentar los resultados de la prueba, procurar que sean fáciles de interpretar por parte del usuario. Especificar las unidades en que se presentan los datos. Igualmente debe tener buena resolución en la medición del tiempo, al menos en el orden de los milisegundos ya que uno de

los principales generadores de error en algunas herramientas que existen en la web es la poca resolución para medir el tiempo.

2.1.2 Algoritmo para medir la velocidad de Banda Ancha

Teniendo en cuenta las condiciones expuestas se propone un algoritmo para hacer la medición de la velocidad de Banda Ancha. En la Tabla 4 se observa el algoritmo tanto para la prueba de carga como la de descarga.

Prueba de descarga	Prueba de Carga
1. El cliente establece conexión con el servidor 2. Se genera un bloque aleatorio de datos en el servidor y se almacena en la memoria 3. Se establecen 4 enlaces TCP para transferir los datos 4. El servidor transfiere hasta el último byte de datos durante 15 segundos 5. El cliente recibe los datos y los descarta 6. Se estima para cada enlace la cantidad de datos transferidos y el tiempo que duró esta operación 7. Como la transferencia por los 4 enlaces es en paralelo se toma el tiempo mayor y se establece como la duración total de la transferencia 8. Se calcula la velocidad para cada enlace* 9. Para determinar la velocidad total de la conexión se suman las velocidades de cada enlace 10. Se hace la respectiva conversión de unidades y se muestran los resultados	1. Se genera un bloque aleatorio de datos en el cliente y se almacena en la memoria 2. Se establecen 4 enlaces TCP para transferir los datos 3. El cliente transfiere al servidor hasta el último byte de datos durante 15 segundos 4. El servidor recibe los datos y los descarta 5. Se estima para cada enlace la cantidad de datos transferidos y el tiempo que duró esta operación 6. Como la transferencia por los 4 enlaces es en paralelo se toma el tiempo mayor y se establece como la duración total de la transferencia 7. Se calcula la velocidad para cada enlace* 8. Para determinar la velocidad total de la conexión se suman las velocidades de cada enlace 9. Se hace la respectiva conversión de unidades y se muestran los resultados

Tabla 4 Algoritmo para medir la velocidad de carga y descarga de una conexión hacia internet

*Para calcular la velocidad de cada enlace se usa la fórmula

$$Vel = \frac{Datos_enviados}{Duración_transferencia} \quad (5)$$

El algoritmo mostrado en la Tabla 4 se implementó en una aplicación que contiene dos módulos principales: El módulo cliente y el modulo servidor. El diseño y la implementación de estos módulos se explican en las dos siguientes secciones.

2.2 DISEÑO DEL SERVIDOR

El diseño y la implementación de este módulo se programó en lenguaje c y en una plataforma Linux versión *Ubuntu 10.04 LTS*. Se usó *NetBeans IDE 7.1* como el Entorno de Desarrollo Integrado.

Un servidor es un programa que espera solicitudes entrantes de comunicación de un cliente. Para establecer esa comunicación entre el cliente y el servidor, el lenguaje c tiene una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API, por sus siglas en inglés) llamada *Socket API*. La Socket API provee funciones generalizadas que apoyan la comunicación de red con muchos protocolos posibles [10]. La secuencia de una aplicación tipo servidor que usa la Socket API para establecer la comunicación con el cliente se observa en la Figura 2.



Figura 2 Secuencia de llamadas del sistema de sockets hechas por el servidor usando TCP

Después de haber establecido la comunicación con el cliente, sigue uno de los aspectos claves del modelo planteado, esto es, que el servidor pueda atender múltiples requerimientos al mismo tiempo, es decir, que el servidor sea concurrente. En [10] hay un método para implementar un servidor concurrente basado en ejecución multi-hilo o multi-proceso. El algoritmo 8.4 en [10] explica los pasos que sigue un servidor concurrente orientado a la conexión y a continuación se muestra dicho algoritmo:

“ **Algoritmo 8.4**

Maestro 1. *Crea un socket y lo enlaza a la dirección bien-conocida para el servicio que está siendo ofrecido. Deja el socket sin conectar.*

Maestro 2. *Pone al socket en modo pasivo, dejándolo listo para ser usado por un servidor*

Maestro 3. *Varias veces llama Aceptar para recibir la siguiente conexión de un cliente y crea un nuevo hilo o proceso esclavo para manejar la respuesta*

Esclavo 1. *Comienza con una conexión que le pasó el maestro (es decir, un socket para la conexión).*

Esclavo 2. *Interactúa con el cliente usando la conexión: lee peticiones y envía de regreso respuestas.*

Esclavo 3. *Cierra la conexión y sale. El esclavo sale después de atender todas las peticiones de un cliente.”*

En el algoritmo 8.4 se observa que hay un hilo o proceso conocido como maestro que inicia la ejecución. El hilo maestro abre un socket en el puerto bien-conocido y espera la siguiente solicitud de un cliente. Crea un proceso o hilo esclavo para manejar cada solicitud. El proceso servidor maestro nunca se comunica directamente con un cliente. Cada esclavo se encarga de la comunicación con el cliente. El proceso esclavo termina su ejecución después de que forma una respuesta y se la envía al cliente. En la Figura 3 se observa la estructura de los procesos de un servidor concurrente orientado a la conexión que usa múltiples procesos de un solo hilo. Allí se aprecia de forma gráfica lo que indica el algoritmo 8.4: el proceso maestro del servidor acepta cada conexión entrante y crea un esclavo para atenderla.

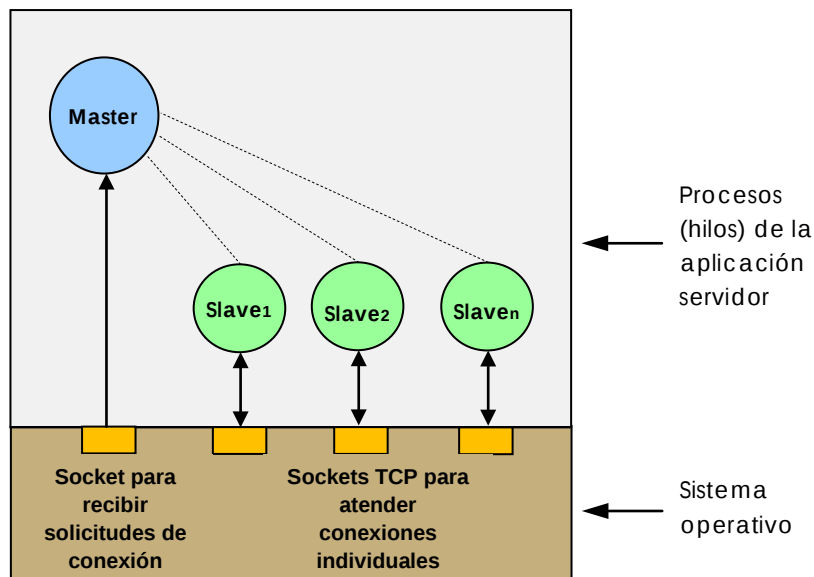


Figura 3 Estructura del proceso de un servidor concurrente orientado a la conexión (Tomado de [10])

Cuando se establecen los enlaces TCP (4 para este caso), el servidor está listo para hacer la transferencia de datos con el cliente. Primero se hace en el sentido servidor-cliente (Download) y luego se hace en el sentido cliente-servidor (Upload) durante 15 segundos para cada caso. Mientras se realizan estas transferencias, se registran los tiempos inicial y final para cada una, con una resolución de microsegundos (μs).

El tamaño del búfer para el envío y la recepción de datos se estableció en 16 KB. Este valor se eligió de acuerdo con los valores típicos usados por los diferentes enrutadores y sistemas en la red que se relacionan con la velocidad de la conexión: 8 KB para velocidades menores de 1Mbps, 17 KB para velocidades entre 1 y 100 Mbps, y 64 KB para velocidades mayores de 100 Mbps.

En resumen, son 4 las funciones principales del modulo servidor: Establecer la conexión con el cliente, manejar múltiples conexiones TCP, hacer la transferencia de datos con el cliente y registrar el tiempo de dichas transferencias. En la Figura 4 se observan los bloques que resumen las funciones principales del modulo servidor.

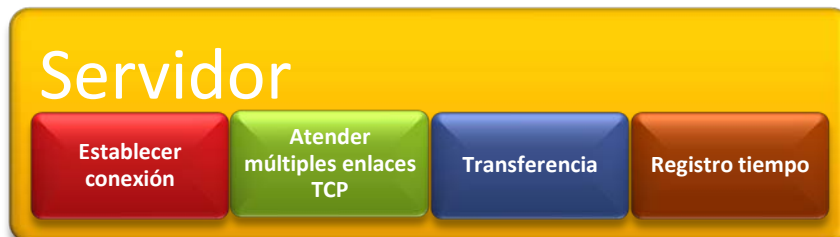


Figura 4 Bloques de las funciones principales del modulo servidor

2.3 DISEÑO DEL CLIENTE

Para el diseño y la implementación del módulo cliente también se usó el lenguaje de programación c. La plataforma fue igualmente Linux versión Ubuntu 10.04 LTS con el Entorno de Desarrollo Integrado NetBeans IDE 7.1.

El cliente es la aplicación que inicia la comunicación con otro punto. Cada vez que una aplicación cliente se ejecuta, entra en contacto con un servidor, envía una solicitud y espera una respuesta. Cuando la respuesta llega, el cliente continúa el procesamiento [10]. El cliente usa también la Socket API para establecer la comunicación con el servidor. La secuencia de una aplicación tipo cliente que usa la Socket API para establecer la comunicación con el servidor se observa en la Figura 5.

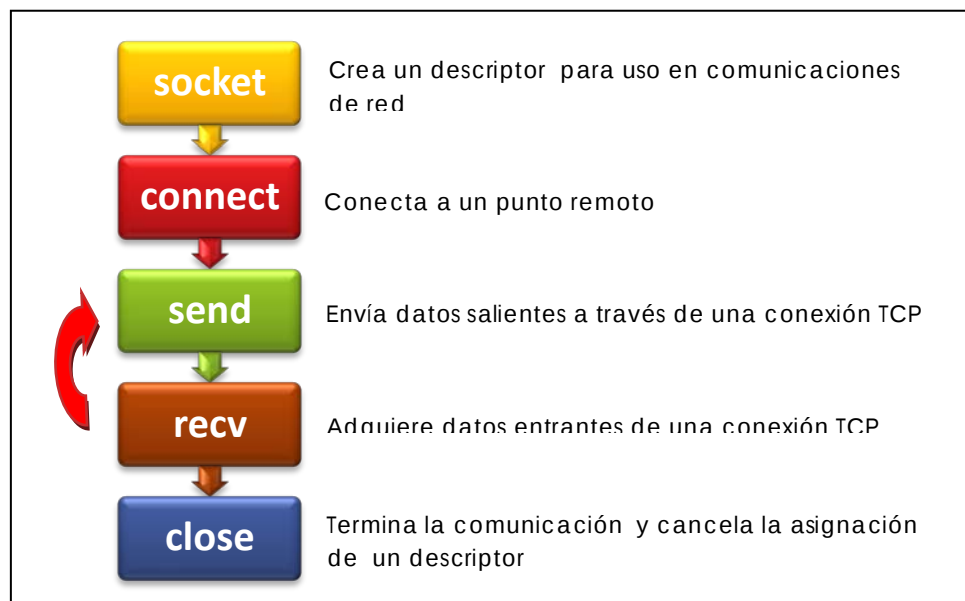


Figura 5 Secuencia de llamadas del sistema de sockets hechas por el cliente usando TCP

Después de haber establecido comunicación con el servidor, se planteó en el modelo que se deben abrir múltiples conexiones TCP para generar tanto tráfico como sea posible. Esto quiere decir que el cliente debe ser concurrente para poder manejar simultáneamente varias conexiones. Uno de los beneficios de un cliente concurrente es que realiza todas las mediciones de forma paralela, por lo cual se ejecuta más rápido que un cliente no concurrente. Por otra parte, ya que hace todas las mediciones al mismo tiempo, todas ellas son igualmente afectadas por las cargas en la CPU y la red [10].

Como en los servidores concurrentes, la mayoría de las implementaciones de los clientes concurrentes siguen un enfoque básico: el cliente se divide en dos o más hilos de ejecución y cada uno maneja una función.

El módulo cliente se implementó con una estructura similar a la usada en el servidor concurrente, explicada en el apartado anterior. Hay un proceso maestro que se encarga de conocer la dirección IP y el puerto para iniciar con la apertura de un socket y establecer la comunicación con el servidor. Luego crea 4 procesos esclavos que serán los encargados de conectarse con el servidor. El proceso cliente maestro nunca se comunica directamente con el servidor. Cada esclavo se encarga de hacer peticiones al servidor y recibir las respuestas. Cuando el proceso esclavo ha recibido todas las respuestas termina su ejecución. La estructura del proceso cliente orientado a la conexión que usa múltiples procesos de un solo hilo se puede observar en la Figura 6.

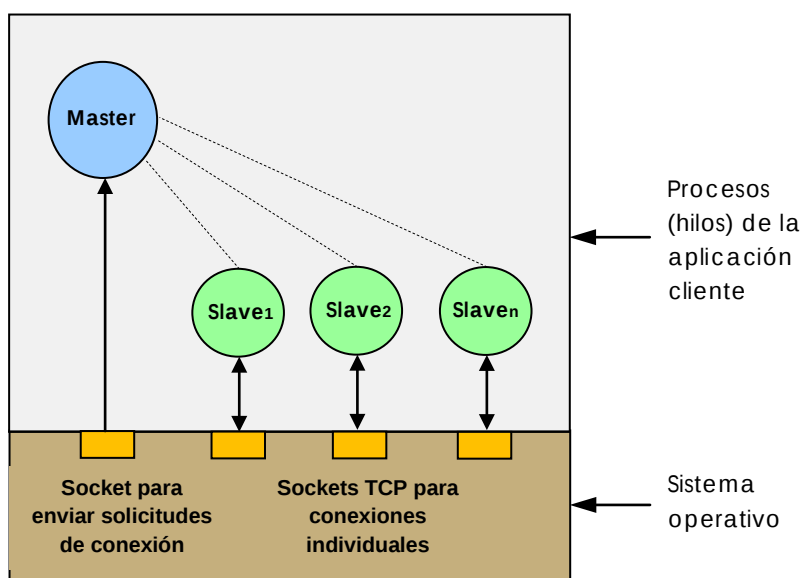


Figura 6 Estructura del proceso de un cliente concurrente orientado a la conexión

Con los 4 enlaces TCP creados, se da inicio a la transferencia de datos con el cliente durante 15 segundos. Como ya se dijo en el módulo servidor, primero se hace en el sentido de bajada (Download) y luego en el de subida (Upload). Igualmente se hace registro de los tiempos de inicio y finalización de la transferencia con una resolución de microsegundos (μs). El búfer de envío y recepción se estableció en 16 KB como se explicó anteriormente en la implementación del módulo servidor.

Al finalizar cada transferencia, se calcula para cada uno de los 4 enlaces TCP, la cantidad de datos transferidos y el tiempo de la transferencia. Con estos datos es posible determinar la velocidad para los enlaces individuales usando la fórmula 5. Cuando se conoce el tiempo, la cantidad de datos transferidos y la velocidad de cada enlace, se hacen los cálculos necesarios para determinar la velocidad total de transmisión de datos de la conexión. Finalmente se le da formato a los resultados para presentarlos con las unidades correspondientes y se muestran al usuario.

En la Figura 7 se presentan los bloques que componen las funciones principales del modulo cliente. Están las mismas funciones del modulo servidor: Establecer la conexión con el servidor, crear múltiples conexiones TCP, hacer la transferencia de datos con el servidor y registrar el tiempo de dichas transferencias. Adicionalmente hay dos funciones de más que debe ejecutar el cliente: realizar las operaciones para calcular el tiempo de transferencia, la cantidad de datos transferidos y la velocidad de transmisión de datos de la conexión y la de dar formato a los resultados para presentarlos al usuario.



Figura 7 Bloques de las funciones principales del modulo cliente

2.4 speedUV

La aplicación que finalmente se implementó se llama **speedUV**. Para iniciarla, en modo servidor, se debe digitar en la consola de comandos: `speeduv -s`. En la Figura 8 se puede ver una captura de pantalla de su ejecución. En el recuadro rojo se muestra el comando que inicia la aplicación en modo servidor.

```
ronald@ronald-laptop:~/Documentos/speedUV/dist/Debug/GNU-Linux-x86$ ./speeduv -s
speedUV-s: Esperando conexión con cliente
speedUV-s: Conexión aceptada desde -> 192.168.3.10
speedUV-s: Test Velocidad Download en proceso...
speedUV-s: Test Velocidad Upload en proceso...
```

Figura 8 Ejecución de la aplicación en modo servidor.

Para su ejecución en modo cliente se digita el comando `speeduv -c server_ip_address`. Donde el argumento `server_ip_address` puede ser la dirección IP o el nombre donde está ubicado el servidor. La Figura 9 muestra una captura de pantalla de la ejecución de la aplicación en modo cliente. Dentro del recuadro rojo está el comando con sus respectivos argumentos que inicia la aplicación en modo cliente.

```
ronald@ronald-laptop:~/Documentos/speedUV/dist/Debug/GNU-Linux-x86$ ./speeduv -c 192.168.2.10
speedUV-c: Conectando con el servidor -> 192.168.2.10

      +++ TEST VELOCIDAD DOWNLOAD +++
speedUV-c: Test en proceso...
speedUV-c: Datos transferidos= 2097152 bytes
          Tiempo transferencia= 18.62 segundos
          Velocidad= 976.40 Kbps

      +++ TEST VELOCIDAD UPLOAD +++
speedUV-c: Test en proceso...
speedUV-c: Datos transferidos= 524288 bytes
          Tiempo transferencia= 16.18 segundos
          Velocidad= 281.43 Kbps
```

Figura 9 Ejecución de la aplicación en modo cliente.

2.5 RECOMENDACIONES PARA EL USO DE HERRAMIENTAS QUE MIDEN LA VELOCIDAD DE BANDA ANCHA

En esta sección se presentan algunas recomendaciones para utilizar las herramientas o aplicaciones que sirven para medir la velocidad de las conexiones hacia Internet y para interpretar los resultados que éstas arrojan.

Mientras se usa la herramienta de medición, se debe procurar que haya la menor cantidad de programas ejecutándose en el equipo donde se realiza la prueba. Igualmente no tener abiertos exploradores de Internet ni hacer descargas. Si la herramienta es una aplicación web, tener abierta sólo la ventana de dicha aplicación.

Hacer mediciones a diferentes horas del día y varios días a la semana para comparar resultados y sacar conclusiones acerca del rendimiento de la conexión. El tráfico entre el equipo y el servidor de pruebas influye en la medición.

En caso de obtener resultados no esperados, comprobar si se están ejecutando actualizaciones en segundo plano. Tener en cuenta que si el equipo está conectado a una red inalámbrica, las velocidades son, por lo general, un poco menores a diferencia si está conectado directamente con cable. Igualmente, tener en cuenta que si hay más equipos conectados a la red local, la velocidad disminuye porque están compartiendo la misma conexión hacia internet.

Finalmente, a la hora de interpretar los resultados, verificar las unidades de medición con las cuales la herramienta presenta los valores medidos. No todas las herramientas usan el mismo sistema de medidas y es muy diferente obtener 1 KB/s (Kilobyte por segundo) que 1 Kb/s (Kilobit por segundo).

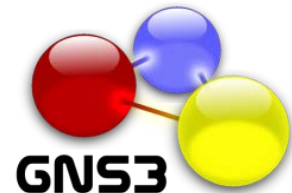
3. PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se presentará la implementación de un protocolo de pruebas diseñado con el fin de probar el desempeño del modelo presentado. Para tener un entorno de pruebas controlado se usará el programa *GNS3* para simular una topología de red y el programa *VirtualBox* para simular los equipos finales. Se realizará también una prueba en un entorno real con el fin de comparar los resultados obtenidos con la aplicación y los resultados obtenidos con otras herramientas. Al final del capítulo se hará la discusión de los resultados alcanzados en todas las pruebas.

3.1 PLATAFORMA DE PRUEBAS

Se implementó una plataforma de pruebas en la que se simula una topología de red en un entorno virtual. Esto permite tener mayor control sobre los resultados obtenidos y verificar de forma más fácil, en caso de obtener resultados no esperados. Para simular la topología de red se emplearon dos programas que permiten integrarse para obtener una red completa, tanto con enrutadores y switches, como con equipos finales. Los dos programas usados fueron: *GNS3*²⁶ y *Oracle VM VirtualBox*²⁷.

GNS3 es un simulador gráfico de red que permite diseñar topologías de red complejas y poner en marcha simulaciones sobre ellas. Está estrechamente vinculado con *Dynamips*, que es un emulador de IOS de Cisco. *GNS3* es un programa de código abierto, gratuito que se puede utilizar en múltiples sistemas operativos.



Oracle VM VirtualBox es un software de virtualización para arquitecturas x86/amd64 desarrollado por Oracle Corporation. Por medio de esta aplicación es posible instalar sistemas operativos adicionales, conocidos como “sistemas invitados”, dentro de otro sistema operativo “anfitrión”, cada uno con su propio ambiente virtual. Está disponible como software de código abierto bajo los términos de la licencia *GNU General Public License (GPL)* versión 2.

²⁶ Se puede encontrar en: <http://www.gns3.net/>

²⁷ Se puede encontrar en: <https://www.virtualbox.org/>

3.1.1 Topología

En GNS3 se implementó una topología que simula un ejemplo de la Internet, donde el enrutador R1 representa un enrutador en las premisas del usuario, el enrutador ISP representa un enrutador al borde de la red del proveedor de Internet y el enrutador R2 representa otro enrutador en las premisas del ISP. Se usaron enrutadores Cisco 3725 para tener varios saltos entre los equipos finales y el equipo que será el servidor de pruebas. Los enlaces entre los equipos finales y los enrutadores son del tipo Fast-Ethernet mientras que los enlaces entre enrutadores son de tipo serial.

Hay dos equipos finales (Host1 y Host2) conectados al enrutador R1 donde se ejecutará la aplicación como cliente y otro equipo final llamado Servidor en el cual se ejecutará la aplicación en modo servidor. En la Figura 10 se puede ver la topología implementada en GNS3.

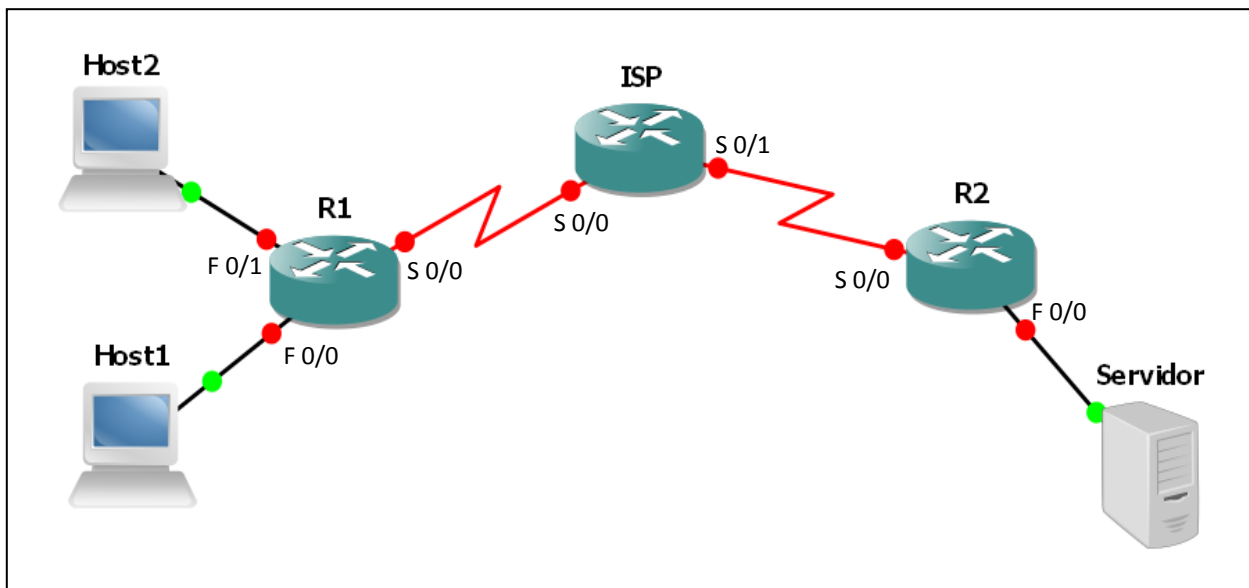


Figura 10 Topología de red implementada en GNS3 para hacer las pruebas

3.1.2 Equipos finales

Para los equipos finales se implementaron tres máquinas virtuales en el Oracle VM VirtualBox, dos para los equipos Host1 y Host2 y la otra para el equipo Servidor. En las tres máquinas virtuales, el “sistema invitado” es Ubuntu 10.04 LTS. Las tres máquinas virtuales son totalmente independientes en cuanto a recursos asignados. Cada uno de estos sistemas virtuales tiene una interfaz de red; gracias a la integración de GNS3 con VirtualBox, estas interfaces están conectadas “directamente” a los enrutadores en GNS3.

3.1.3 Condiciones generales de la prueba

Las condiciones bajo las cuales se realizaron las pruebas fueron las siguientes:

Equipo: DELL Vostro 3300 con procesador Intel Core i5 y memoria RAM de 4 GB.

Sistema operativo anfitrión: Windows 7 Professional Service Pack 1 (32 bits)

Sistema operativo invitado: Ubuntu 10.04 LTS (32 bits)

Software: GNS3 0.8.2-BETA2

Oracle VM VirtualBox 4.1.10

3.2 PRUEBA 1

El objetivo de esta prueba es analizar, bajo unas condiciones específicas, el comportamiento de la aplicación implementada.

3.2.1 Procedimiento

En la primera prueba se configura la interfaz Fast-Ethernet 0/0 del enrutador R1 mostrado en la topología de la Figura 10, para que limite la velocidad de salida a 1.000.000 bps y la velocidad de entrada a 296.000 bps. Estos límites consisten en un filtro a través de una lista de acceso que se aplica en la interfaz nombrada a nivel de transporte o capa 4 en el modelo de Internet.

La aplicación se ejecutará en modo cliente desde el equipo Host1 que está conectado a esa interfaz. En el equipo Servidor conectado al enrutador R2 se ejecutará la aplicación en modo servidor. La única interfaz limitada será la Fast-Ethernet 0/0 del enrutador R1.

3.2.2 Resultados

En total se realizaron 100 mediciones para esta prueba, obteniendo los resultados mostrados en la Figura 11 para la velocidad de descarga y en la Figura 12 para la velocidad de carga. En la Tabla 5 se presenta un resumen de los resultados de la prueba:

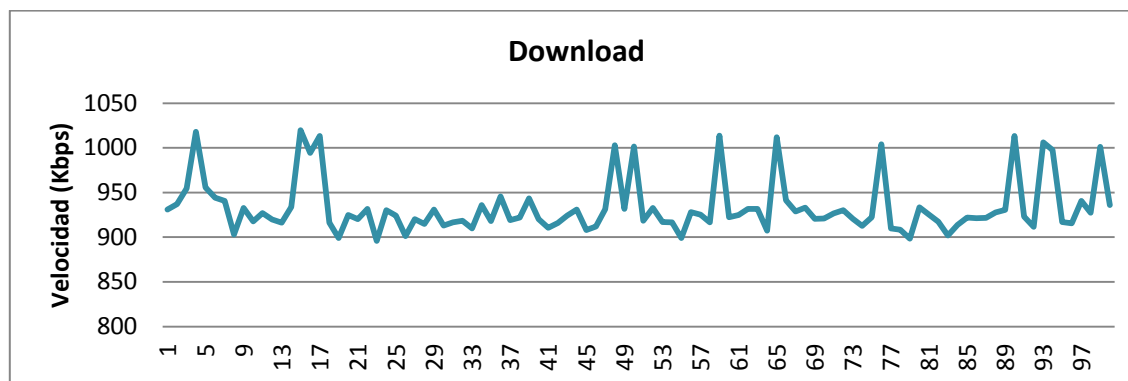


Figura 11 Resultados de la prueba 1 para la velocidad de descarga (Download)

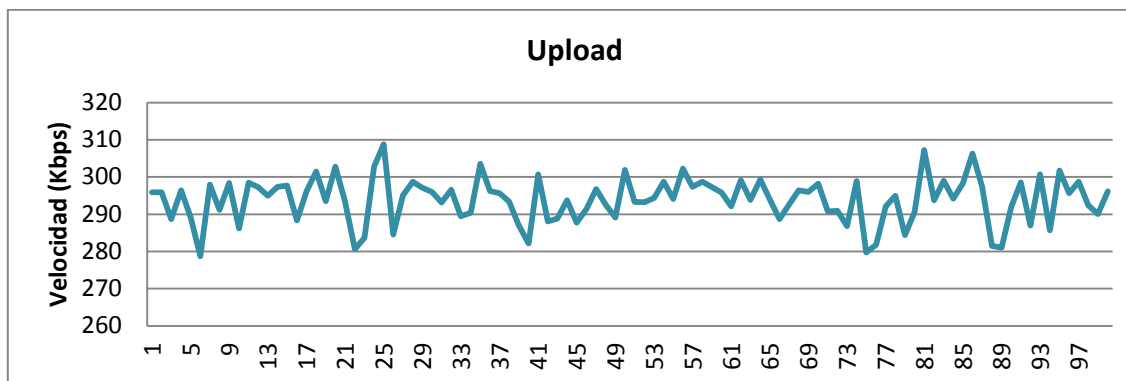


Figura 12 Resultados de la prueba 1 para la velocidad de carga (Upload)

	Promedio (Kbps)	Desviación (Kbps)	Máximo (Kbps)	Mínimo (Kbps)	Valor esperado (Kbps)	Error (%)
Download	933,78	30,89	1019,2	895,69	976	4,32
Upload	293,89	6,14	308,78	278,74	289	1,69

Tabla 5 Resumen de los resultados de la prueba 1

En la velocidad de descarga se obtuvo un promedio de 933.78 Kbps, el cual equivale a un error del 4.32 % con respecto al valor que se esperaba de 976 Kbps que es el límite puesto a la interfaz Fast-Ethernet 0/0 del enrutador R1. La desviación fue de ~30 Kbps, la cual es pequeña con relación a la magnitud de las mediciones e indica que los datos no están muy dispersos de la media.

La velocidad de carga fue más aproximada al valor esperado, con un promedio de 293.89 Kbps y un error del 1.69 %. La desviación fue aproximadamente 6Kbps, que es igualmente pequeña con relación a la magnitud de la velocidad medida.

3.3 PRUEBA 2

Con esta prueba se quiere comprobar si la aplicación es capaz de medir la velocidad para conexiones que tienen diferentes configuraciones. Específicamente se analizará el caso en el que dos usuarios que tengan contratadas diferentes velocidades con un ISP, pueden medir su velocidad de conexión con la misma herramienta.

3.3.1 Procedimiento

Para esta prueba la interfaz Fast-Ethernet 0/0 del enrutador R1 que está conectada con el equipo Host1 se configura exactamente igual que en la prueba anterior, es decir, un filtro en la capa 4 que limita la velocidad de salida a 1.000.000 bps (Velocidad Download) y la velocidad de entrada a 296.000 bps (Velocidad Upload).

En esta prueba se usará también el equipo Host2 para hacer mediciones desde allí. Este equipo está conectado a la interfaz Fast-Ethernet 0/1 del enrutador R1. A esta interfaz no se le aplicará ningún filtro, se dejará con la configuración que trae por defecto.

La aplicación se ejecutará en los Host1 y Host2 en modo cliente y en el equipo Servidor en modo servidor. Se harán mediciones desde cada uno de los equipos alternadamente.

3.3.2 Resultados

Se realizaron alternadamente 20 mediciones en cada uno de los equipos Host1 y Host 2. En la Figura 13 se presentan las velocidades de descarga y carga obtenidas en el Host1.

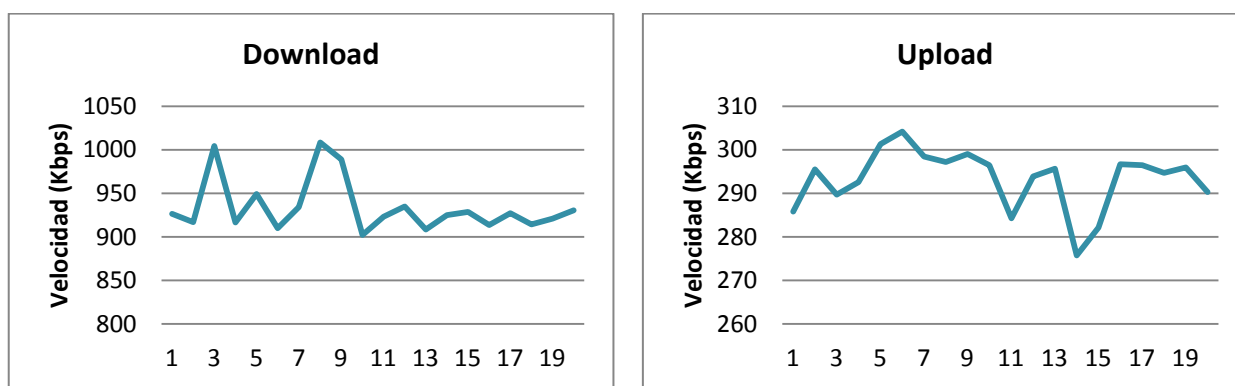


Figura 13 Resultados de la prueba 2 para la velocidad de carga y descarga en el Host1

A continuación, en la Figura 14, se muestran los resultados conseguidos en el Host2 para las velocidades de carga y descarga y en la Tabla 6 se puede ver el resumen de los resultados de toda la prueba 2.

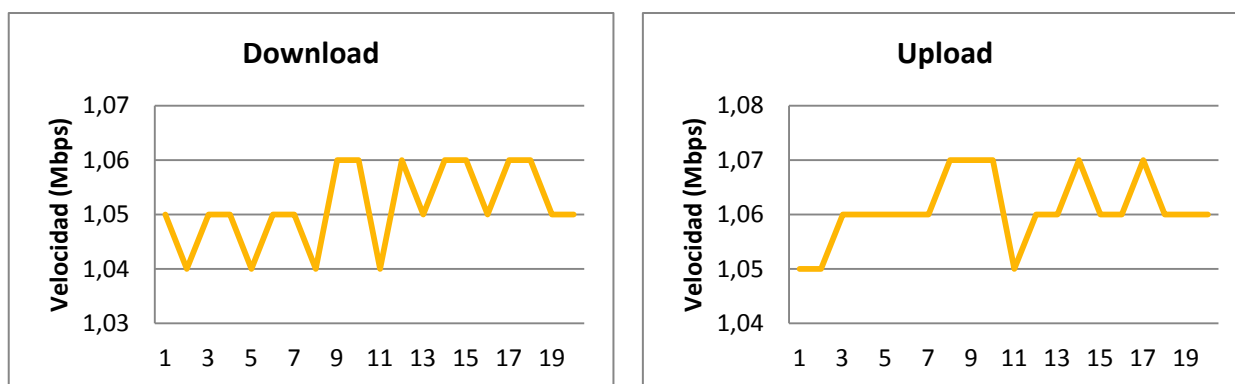


Figura 14 Resultados de la prueba 2 para la velocidad de carga y descarga en el Host2

Equipo	Velocidad	Promedio	Desviación	Máximo	Mínimo
Host1	Download (Kbps)	934,21	30,67	1008,36	902,17
	Upload (Kbps)	293,3	6,89	304,18	275,76
Host2	Download (Mbps)	1,05	0,01	1,06	1,04
	Upload (Mbps)	1,06	0,01	1,07	1,05

Tabla 6 Resumen de los resultados de la prueba 2. Velocidades de Carga y Descarga para el Host1 y Host2

Para el Host1 se obtuvo una velocidad media de 934,21 Kbps en la descarga y 293,3 Kbps en la carga. Los valores de las desviaciones fueron ~30 Kbps y ~7Kbps respectivamente. Estos resultados concuerdan con los conseguidos en la prueba 1, ya que la configuración de la interfaz del enrutador era la misma.

En el Host2 se tienen velocidades promedio de 1,05 Mbps para la descarga y 1,06 Mbps para la carga. La desviación es de 0,01 Mbps en ambos casos. Las dos velocidades medidas en el Host2 son similares porque, como se explicó anteriormente, no se implementó ningún filtro a la interfaz Fast-Ethernet 0/1 del enrutador R1, entonces la velocidad es igual en ambos sentidos.

3.4 PRUEBA 3

Al realizar esta prueba se quiere verificar que la herramienta mide la velocidad de toda la conexión desde el equipo cliente hasta el equipo servidor sin importar la cantidad de saltos ni donde se encuentre el cuello de botella en la conexión.

3.4.1 Procedimiento

Se usa la misma topología de la Figura 10 pero, en esta ocasión, se configurarán de forma diferente los enrutadores. Al enrutador R1 no se le aplicará ningún filtro en sus interfaces. Esta vez el filtro se implementa a nivel de transporte en la interfaz Serial 0/1 del enrutador ISP, con una velocidad de salida de 496.000 bps (Velocidad de carga) y velocidad de entrada de 800.000 bps (Velocidad de descarga). La aplicación se ejecutará en modo cliente en el equipo Host1 y en modo servidor en el equipo Servidor.

3.4.2 Resultados

Después de realizar 20 mediciones se alcanzaron los resultados que se muestran en la Figura 15. En la Tabla 7 se presenta el resumen de las mediciones.

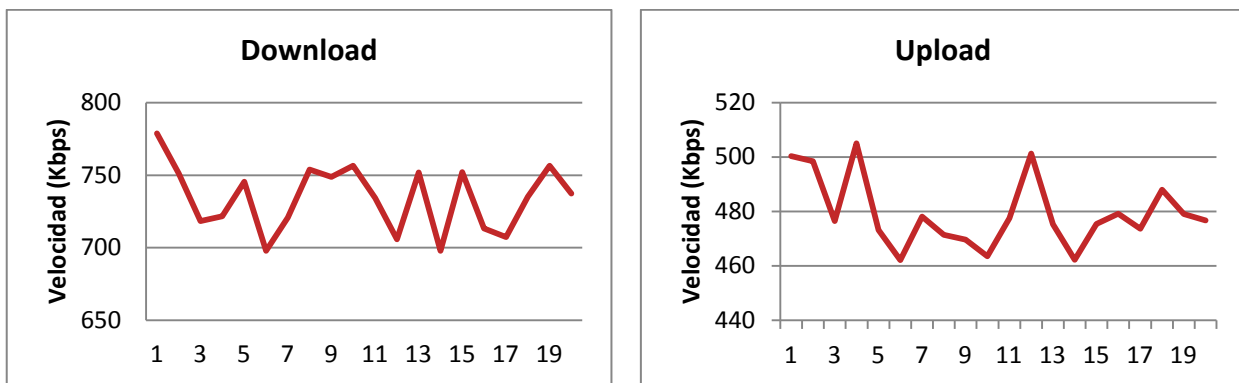


Figura 15 Resultados de la prueba 3 para la velocidad de carga y descarga en el Host1

	Promedio (Kbps)	Desviación (Kbps)	Máximo (Kbps)	Mínimo (Kbps)	Valor esperado (Kbps)	Error (%)
Download	734,26	22,77	778,86	697,81	781,25	6%
Upload	479,32	12,83	505,01	462,16	484,37	1%

Tabla 7 Resumen de los resultados de la prueba 3

En la Tabla 7 se observa que la velocidad de descarga de la conexión, medida desde el Host1 hasta el Servidor es, en promedio, 734,26 Kbps con una desviación de 22,77 Kbps y un error del 6% con respecto al valor esperado de 781 Kbps. La velocidad de carga es, en promedio, 479,32 Kbps con desviación de 12,83 Kbps y un error del 1% con respecto al valor fijado por el filtro de la interfaz: 484 Kbps.

3.5 PRUEBA 4

La última prueba que se realiza es para observar el rendimiento de la herramienta en un entorno real y comparar los resultados con los que se obtienen con otras herramientas que existen en la web.

3.5.1 Procedimiento

El modo servidor de la aplicación se ejecutó en el servidor de la empresa Dinámica y Desarrollo, ubicada en la ciudad de Medellín, la cual tiene contratada una conexión de 6 Mbps al proveedor de internet UNE. La aplicación se ejecutó como cliente en un equipo residencial ubicado en la ciudad de Palmira. La conexión contratada de este equipo es de 4 Mbps y su ISP es Telmex.

Para la segunda parte de esta prueba, con el objetivo de comparar los resultados obtenidos con la aplicación implementada con los de otras herramientas, se realizaron mediciones con

tres de las herramientas de medición que se encuentran en Internet y que se nombraron en el primer capítulo.

La primera aplicación que se eligió fue *SpeedTest.net* de *Ookla Net Metrics* básicamente porque permite seleccionar la ubicación del servidor de pruebas y esta herramienta cuenta, dentro de sus servidores de prueba distribuidos en todo el mundo, con un servidor ubicado en la ciudad de Medellín (Nombre servidor: EDATEL ISP). El poder elegir la ubicación de este servidor de pruebas en la ciudad de Medellín hace que, por lo menos, algunas condiciones de la prueba con las dos herramientas sean similares y se pueda hacer una comparación más directa.

La segunda herramienta con que se realizaron mediciones de velocidad fue la NDT de *Measurement Labs*. Esta herramienta junto con la de *Ookla* son las dos herramientas utilizadas por la *FCC* para conocer el estado de la Banda Ancha en los Estados Unidos de América. En la versión de su página web, el servidor de pruebas se elige automáticamente.

La tercera aplicación que se usó para comparar el rendimiento de la herramienta implementada fue la de *YouTube*. Hay que recordar que esta aplicación en realidad no es una herramienta de medición sino que presenta un informe de la velocidad de descarga basado en la visualización de los videos alojados en sus servidores.

Las mediciones con las herramientas *speedUV*, *speedTest.net* y NDT se ejecutaron en el mismo periodo del día: entre las 10 y las 17 horas.

3.5.2 Resultados

Primero se muestran los resultados conseguidos con la aplicación implementada (*speedUV*) en la prueba de entorno real. Se realizaron 100 mediciones entre los dos equipos obteniendo los resultados que se muestran en la Figura 16 para la velocidad de descarga y en la Figura 17 para la velocidad de carga. En la Tabla 8 se presenta un resumen de los valores medidos.

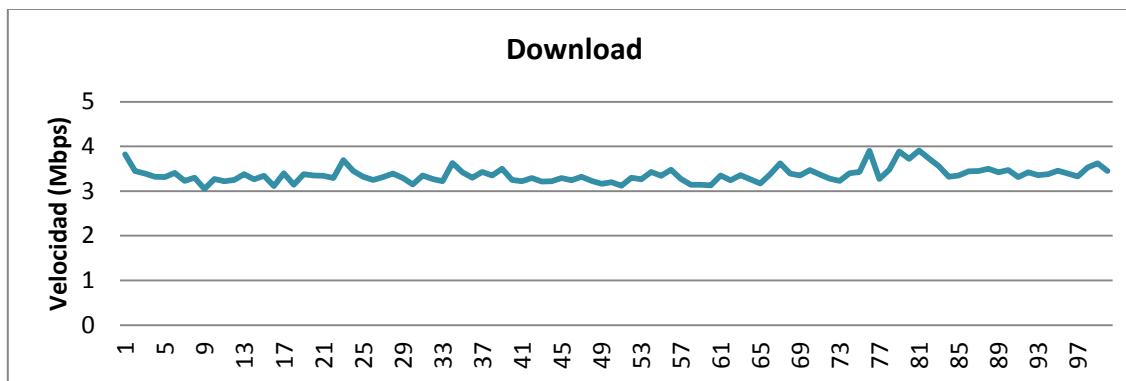


Figura 16 Velocidad de descarga medida con la aplicación *speedUV* en un entorno real

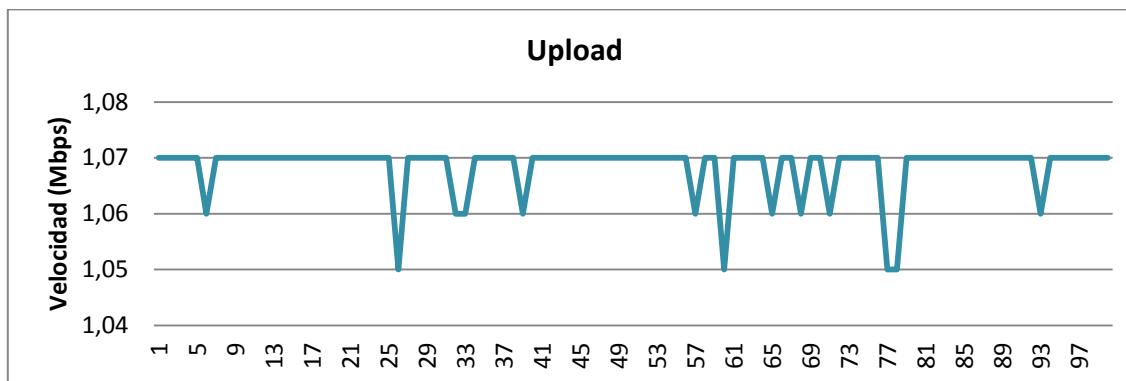


Figura 17 Velocidad de carga medida con la aplicación speedUV en un entorno real

	Promedio (Mbps)	Desviación (Mbps)	Máximo (Mbps)	Mínimo (Mbps)	Valor esperado (Mbps)	Error (%)
Download	3,37	0,17	3,91	3,05	4	15,7
Upload	1,07	0	1,07	1,05	1	7

Tabla 8 Resumen de los resultados de la aplicación speedUV en un entorno real

Como lo muestra la Tabla 8, la velocidad de descarga medida con la aplicación speedUV fue, en promedio 3,37 Mbps con una desviación de 0,17 Mbps. Se alcanzó un error del 15,7% con respecto al valor esperado de 4 Mbps que es el valor contratado con el ISP. Para la velocidad de carga se obtuvo un valor de 1,07 Mbps en promedio con desviación nula y un error del 7%.

Ahora se pueden ver los valores medidos con la herramienta *SpeedTest.net*. Se hicieron en total 50 mediciones entre el equipo de pruebas y el servidor EDATEL ISP. En las Figura 18 y Figura 19 se observan los resultados de la prueba tanto para la prueba de descarga como la de carga y la Tabla 9 presenta un resumen de las mediciones.

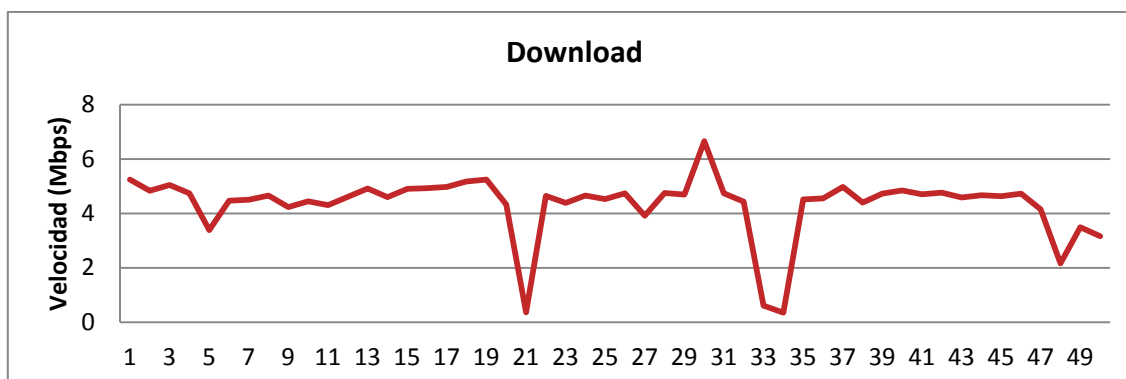


Figura 18 Velocidad de descarga medida con la herramienta SpeedTest.net

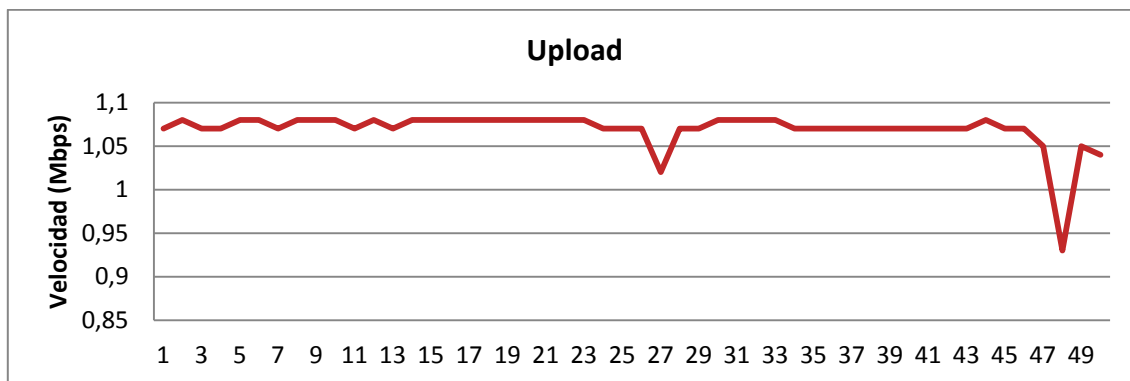


Figura 19 Velocidad de carga medida con la herramienta SpeedTest.net

	Promedio (Mbps)	Desviación (Mbps)	Máximo (Mbps)	Mínimo (Mbps)	Valor esperado (Mbps)	Error (%)
Download	4,32	1,16	6,66	0,36	4	8
Upload	1,07	0,02	1,08	0,93	1	7

Tabla 9 Resumen de los resultados conseguidos con la herramienta SpeedTest.net

Con la herramienta *SpeedTest.net* se midió, en promedio, una velocidad de descarga de 4,32 Mbps con desviación de 1,16 Mbps y error de 8 % con respecto al valor esperado de 4 Mbps. Se destaca que con esta aplicación se obtuvieron unos valores extremos en las mediciones con un máximo de 6,66 Mbps y un mínimo de 0,36 Mbps. Estos valores pueden ser algunas excepciones que ocurrieron en esos momentos durante la prueba porque se presentaron apenas en 4 ocasiones. La velocidad de carga medida fue en promedio 1,07 Mbps con desviación de 0,02 Mbps y error del 7 %.

A continuación se presentan los resultados alcanzados con la herramienta NDT. En la Figura 20, la velocidad de descarga y, en la Figura 21, la velocidad de carga. En la Tabla 10 se puede ver el resumen de los valores medidos.

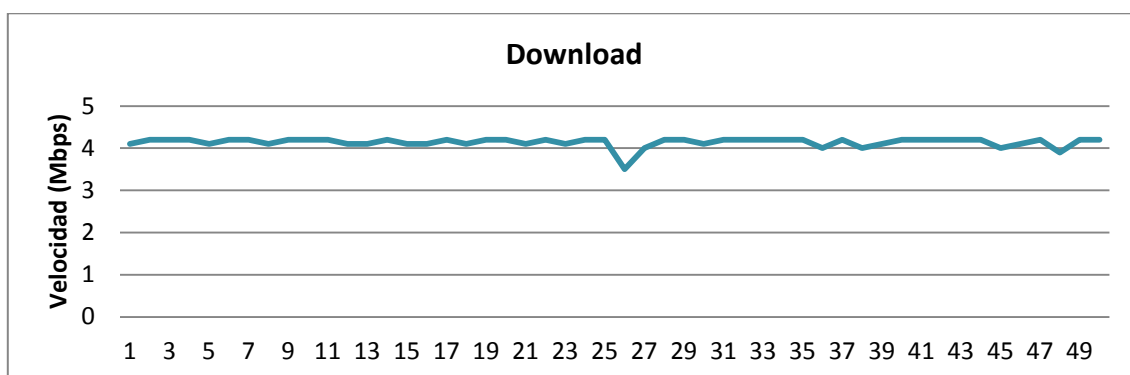


Figura 20 Velocidad de descarga medida con la herramienta NDT

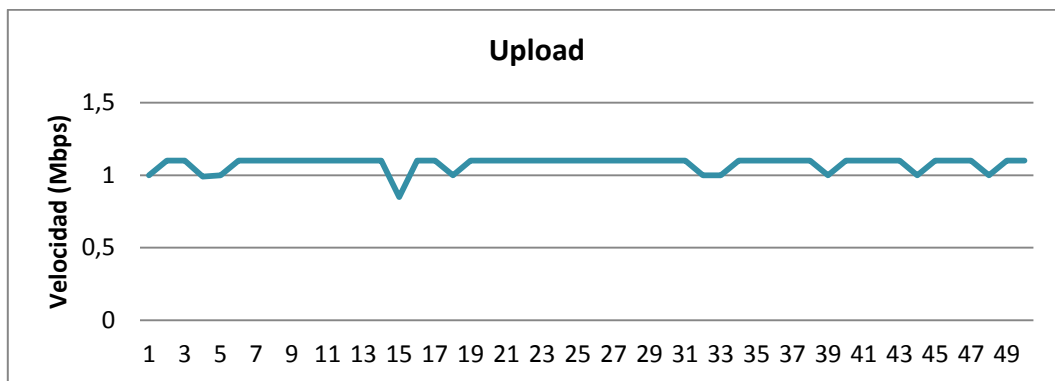


Figura 21 Velocidad de carga medida con la herramienta NDT

	Promedio (Mbps)	Desviación (Mbps)	Máximo (Mbps)	Mínimo (Mbps)	Valor esperado (Mbps)	Error (%)
Download	4,14	0,12	4,2	3,5	4	3,5
Upload	1,08	0,05	1,1	0,85	1	8

Tabla 10 Resumen de los resultados conseguidos con la herramienta NDT

La Tabla 10 nos enseña que la velocidad de descarga medida en promedio con la herramienta NDT fue de 4,14 Mbps con una desviación de 0,12 Mbps y error de 3,5%. Nos muestra también que se midió, en promedio, una velocidad de carga de 1,08 Mbps con desviación de 0,05 Mbps y un error en promedio del 8 %.

Finalmente, en la Figura 22 y Figura 23 se muestra el informe que presenta la aplicación de *YouTube/my_speed*.

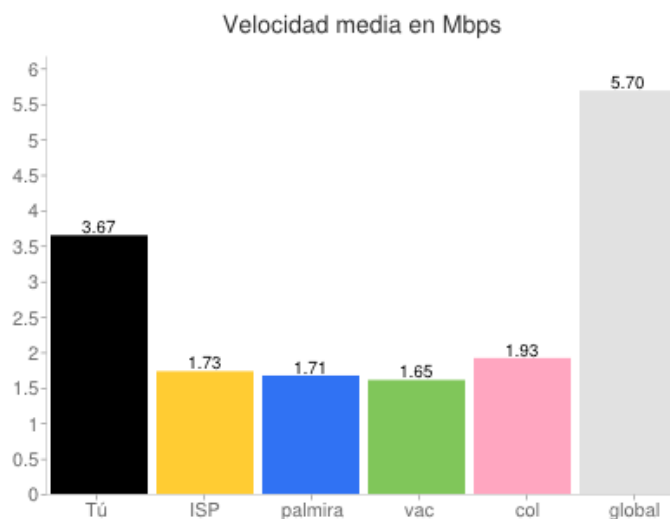


Figura 22 Velocidad media de descarga entregada por la aplicación de YouTube

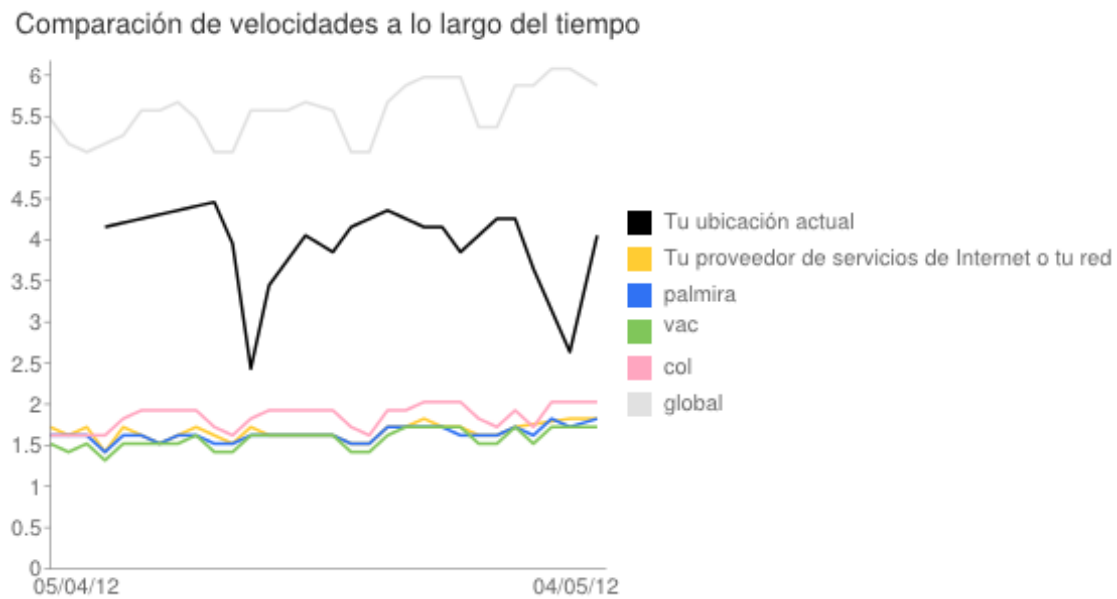


Figura 23 Comparación de velocidades a lo largo del tiempo presentado por la aplicación de YouTube

El informe de *YouTube* abarca la información de un mes (en este caso desde 05.04.2012 hasta 04.05.2012). En la Figura 22 se puede ver los valores de la velocidad media de descarga a diferentes niveles geográficos, empezando con la velocidad de cada equipo y finalizando con la velocidad a nivel global. Para el caso de la ubicación donde se han estado realizando todas las pruebas, el informe entrega una velocidad media de 3,67 Mbps. Si se relaciona con la velocidad contratada de 4 Mbps tendría un error del 8,25%.

La Figura 23 muestra la comparación a lo largo del tiempo (un mes) de las velocidades medidas en los diferentes niveles geográficos.

3.6 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

A continuación se hará un análisis de los resultados obtenidos en cada una de las pruebas realizadas con la herramienta speedUV.

En la prueba 1 se quería observar el comportamiento de la herramienta bajo unas condiciones específicas. El rendimiento alcanzado fue bastante satisfactorio porque la velocidad medida tuvo, en promedio, un error del 4,3% en la descarga y de 1,7% en la carga. Además, salvo por algunas muestras que están muy por encima de los rangos aceptables, se puede decir que la herramienta tiene un nivel alto de precisión, esto se corrobora con el valor obtenido de la desviación de la velocidad de descarga, ~30 Kbps. Esta desviación es pequeña (3%) con relación a la magnitud de las mediciones e indica que los datos no están muy dispersos de la media.

En la medición de la velocidad de carga también se puede observar ese nivel alto de precisión, se obtuvo una desviación de 6 Kbps que es igualmente pequeña (2%) con relación a la magnitud de la velocidad medida.

Uno de los aspectos a revisar es la variación de los datos, que a pesar de no estar muy dispersos si se esperaba que fueran más constantes debido a que las pruebas son realizadas en un entorno controlado. La principal razón para esto puede ser el consumo de recursos en el equipo donde se montó la plataforma de pruebas. Al ser una plataforma simulada depende mucho del rendimiento del equipo, el cual varía dependiendo de la carga de trabajo que se le exija.

La prueba 2 arrojó también resultados positivos. Como se esperaba, las velocidades en el Host 1 debían ser semejantes a las obtenidas en la prueba 1 ya que la configuración de la interfaz era la misma.

En el Host 2, que se dejó con la configuración de la interfaz que trae por defecto, se alcanzó la velocidad de descarga 1,05 Mbps y la de carga 1,06 Mbps. Como la interfaz no tiene ningún tipo de filtro en las dos direcciones, la velocidad debía ser similar en ambos sentidos. Se sigue observando el alto nivel de precisión en la herramienta con una desviación de 0,01 Mbps para ambas velocidades.

Las velocidades mencionadas anteriormente para el Host 2 fueron las máximas obtenidas con la configuración de la red que se implementó. Se probaron en el GNS3 distintos enrutadores y enlaces para buscar simular una topología de mayor velocidad pero no fue posible. Se considera que la limitación para alcanzar mayores velocidades es de la plataforma virtual de pruebas y no de la herramienta de medición. Lo anterior se asevera porque se realizaron mediciones entre dos equipos reales conectados a la misma red mediante un enlace inalámbrico 802.11g y se alcanzaron velocidades mayores de 10 Mbps.

Más importante que la velocidad alcanzada en el Host 2, lo que se quiere demostrar en esta prueba es que con la misma herramienta se pueden medir diferentes rangos de velocidades en diferentes equipos.

En la prueba 3 se comprobó un aspecto importante del funcionamiento de la herramienta. Esto es, que la aplicación implementada mide la velocidad de la conexión sin importar donde se encuentra el cuello de botella. Como se explicó en el procedimiento de la prueba, el filtro para reducir la velocidad se aplicó en la interfaz de otro de los enrutadores de la red y se midió de nuevo desde el Host 1. Las mediciones tuvieron error del 6% y 1% para la velocidad de descarga y carga respectivamente y la desviación fue entre el 2% y 3% de la magnitud de los valores medidos.

Entonces se pudo observar que, a pesar de que el cuello de botella estaba ubicado en otro lugar, la herramienta siguió presentando el mismo rendimiento de las pruebas anteriores.

Finalmente se analiza la prueba 4, que fue la realizada en el entorno real y en la que se usaron otras herramientas para hacer la comparación.

Primero hay que decir que en esta prueba hecha en un entorno real se sigue observando el alto nivel de precisión de la herramienta implementada sin embargo, el error fue aproximadamente 4 veces mayor que en la prueba en un entorno simulado.

Los resultados de velocidad de carga obtenidos con las tres herramientas de medición evaluadas, speedUV, SpeedTest.net y NDT, no presentan una diferencia considerable; con las tres herramientas se alcanzó una velocidad aproximada de 1,07 Mbps. O sea, que al comparar las herramientas de medición con relación a la velocidad Upload, la aplicación speedUV tiene un comportamiento altamente satisfactorio.

Las velocidades de descarga si tienen mayor diferencia y requieren de un análisis más profundo. Para empezar hay que destacar que a pesar de que con todas las herramientas se lograron medir valores relativamente cercanos al valor esperado, aún representan errores grandes con respecto a ese valor. La única que tuvo un error pequeño fue la NDT con un 3,5% por encima del valor esperado. La aplicación *speedUV* obtuvo en promedio un error del 15,7 % por debajo del valor esperado mientras que la aplicación *SpeedTest.net* tuvo un error del 8 % por encima. En el informe presentado por la aplicación de *YouTube* se considera que tuvo un error del 8,25% por debajo del valor esperado.

En este caso, el hecho de que el error se encuentre por encima o por debajo del valor esperado es importante para la interpretación de los resultados, porque un valor por encima puede indicar que la velocidad de la conexión hacia internet proporcionada por el ISP es mayor a la contratada en el servicio, lo cual no es malo para el usuario. Por otro lado, si el error está por debajo del valor esperado puede significar dos cosas: la primera que el ISP no está suministrando la suficiente velocidad para cumplir con lo ofertado o la segunda, que la medición no se está haciendo bien.

Si se compara que tan lejos estuvo el valor medido por la herramienta *speedUV* con respecto a las otras aplicaciones, se obtuvieron los siguientes resultados: a *SpeedTest.net* 0,95 Mbps, a NDT 0,77 Mbps y a *YouTube* 0,3 Mbps. En todos los casos fue por debajo.

Existe una razón lógica para explicar el comportamiento de la herramienta speedUV en este caso. Hay que señalar que los servidores de prueba que usa la aplicación *SpeedTest.net* tienen conexiones a Internet de mínimo 100 Mbps, mientras que el servidor en el cual se realizó la prueba de la aplicación *speedUV* tiene una conexión de 6 Mbps; además, el servidor estaba en uso normal por parte de la empresa que lo facilitó, es decir, había más tráfico compitiendo por la conexión.

Con respecto a la NDT, no se sabe exactamente cuál es la velocidad de conexión de sus servidores, pero es de suponerse que presentan una infraestructura similar a la de *SpeedTest.net*

y, con respecto a *YouTube*, sus valores sirven como referencia pero no se pueden comparar directamente con las otras herramientas porque su metodología tiene propósitos diferentes.

Teniendo en cuenta lo anterior, el resultado conseguido con la aplicación *speedUV* es aceptable dado que las condiciones de la infraestructura en la que se realizó la prueba no eran óptimas y no se pueden igualar con las de *SpeedTest.net* o las de *NDT*.

Considerando los resultados alcanzados tanto en la plataforma virtual como en el entorno real, se puede decir que la herramienta tiene un buen rendimiento y está en capacidad de ser implementada en un entorno real con la infraestructura adecuada y en las condiciones que presente la red de cualquier ISP.

4. NORMAS DE REGULACIÓN PARA EL ENTORNO COLOMBIANO

Desde el 30 de julio de 2009 se sancionó la ley 1341 de 2009, con la que se busca darle a Colombia un marco normativo para el desarrollo del sector de Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC). La ley promueve el acceso y uso de las TIC a través de la masificación, garantiza la libre competencia, el uso eficiente de la infraestructura y el espectro, y en especial, fortalece la protección de los derechos de los usuarios[11].

En la ley 1341 se creó la Comisión de Regulación de las Comunicaciones (CRC) que es el órgano encargado de promover la competencia, evitar el abuso de posición dominante y regular los mercados de las redes y los servicios de comunicaciones, con el fin de que la prestación de los servicios sea económicamente eficiente y refleje altos niveles de calidad. Es función de la CRC expedir toda la regulación de carácter general y particular relacionada con el tema de las comunicaciones [11]. En las siguientes secciones se mostrarán algunas de esas regulaciones expedidas por la CRC referentes al servicio de Banda Ancha.

En este capítulo se estudiará como se encuentra actualmente el marco legal en Colombia con respecto a la regulación del servicio de Internet, particularmente lo relacionado a las conexiones de Banda Ancha. Al final del capítulo se darán algunas recomendaciones a los entes reguladores de las TIC en Colombia, con el fin de tener un escenario sólido para que tanto los usuarios como los ISP resulten beneficiados en caso de que se presente alguna inconformidad en la prestación de los servicios de internet.

4.1 LEY 1341 DE 2009

“Por la cual se definen principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones -TIC-, se crea la Agencia Nacional del Espectro y se dictan otras disposiciones”

La ley 1341 de 2009 [11] decretada por el Congreso de la República, como lo dice en su primer artículo, busca determinar el marco general para la formulación de políticas públicas que regirán el sector de las Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones, la cual tiene como uno de sus principios orientadores más importantes, la protección de los derechos de los usuarios. Esta ley vela porque los proveedores de los servicios de comunicaciones cumplan con los niveles de calidad ofrecidos al usuario al momento de hacer el contrato de prestación de servicios.

En el **artículo 53** de la misma ley se estipula un Régimen Jurídico en el cual se reconocen los derechos de los usuarios para que puedan presentar peticiones y/o reclamaciones sobre el servicio ofrecido y para que éstas sean atendidas y resueltas de manera oportuna, clara y sustentada.

4.2 RESOLUCIÓN 3066 DE 2011

“Por la cual se establece el Régimen Integral de Protección de los Derechos de los Usuarios de los Servicios de Comunicaciones”

La resolución 3066 de 2011 expedida por la CRC aplica a las relaciones surgidas entre los proveedores de servicios de comunicaciones y los usuarios, a partir del ofrecimiento y durante la celebración y ejecución del contrato de prestación de servicios de comunicaciones.

En el **artículo 95** referente a la contratación de servicios de acceso a Internet, indica que se deben incluir en el contrato las condiciones mínimas que rigen la prestación del servicio. Se resalta la condición que dice que se debe especificar la velocidad efectiva, tanto de subida como de bajada, a ser garantizada por el proveedor. Al final del artículo 95.1 se hace la siguiente anotación:

“Teniendo en cuenta que una porción del ancho de banda disponible es utilizado por el protocolo mismo de transmisión, el proveedor debe ajustar la capacidad asociada del puerto de conexión, de manera tal que garantice la velocidad efectiva de acceso a Internet a través de su red.” [12]

Lo anterior indica claramente que el ISP debe garantizar al usuario la velocidad ofrecida sin importar la carga del protocolo de transporte utilizado.

Para que los usuarios puedan revisar que el ISP les está prestando un buen servicio, con los niveles de calidad contratados, se creó el **artículo 96** que dice:

“VELOCIDAD DEL SERVICIO DE ACCESO A INTERNET. Los usuarios de servicios de acceso a Internet, tienen derecho a acceder a mecanismos que les permitan verificar el cumplimiento de las condiciones de velocidad ofrecidas al momento de la celebración del contrato.

Para el efecto, los proveedores que presten servicios de acceso a Internet dedicado deben tener disponible en todo momento en su sitio Web una aplicación gratuita, por medio de la cual el usuario pueda verificar la velocidad efectiva provista tanto para envío como para descarga de información.

La aplicación utilizada en la verificación puede ser la desarrollada directamente por el proveedor o cualquiera que corresponda a servicios de prueba comúnmente utilizados a nivel internacional.” [12]

Con este artículo la CRC, le brinda al usuario una herramienta para que pueda defender su derecho a recibir un servicio con calidad y persuade al ISP para ejercer un autocontrol de la calidad de sus servicios.

4.3 RESOLUCIÓN 3067 DE 2011

“por la cual se definen los indicadores de calidad para los servicios de telecomunicaciones y se dictan otras disposiciones”

La CRC expidió el 18 de mayo de 2011 la Resolución 3067 de 2011 con el objetivo de establecer un régimen de calidad que deben cumplir todos los proveedores de redes y servicios de telecomunicaciones en la prestación de los servicios a sus usuarios.

En el **artículo 1.8** se especificaron algunos términos y definiciones claves que son importantes conocer y comprender para la aplicabilidad de este marco regulatorio de las comunicaciones. Los términos de interés para este Trabajo de Grado son los siguientes:

“Velocidad efectiva: Es la capacidad de transmisión medida en Kbps garantizada por el ISP en los sentidos del ISP al usuario y del usuario al ISP, incluyendo tanto el segmento de acceso como los canales nacionales e internacionales, y que corresponde al valor mínimo de las mediciones asociadas al parámetro establecido en el numeral 5.2.3 de la recomendación ETSI EG 202 057-4 V1.1.1 (2005-10).

Banda Ancha: Es la capacidad de transmisión cuyo ancho de banda es suficiente para permitir, de manera combinada, la provisión de voz, datos y video, ya sea de manera alámbrica o inalámbrica. Para efectos de la comercialización, debe tenerse en cuenta que una conexión será considerada de “Banda Ancha” sólo si las velocidades efectivas de acceso cumplen los siguientes valores mínimos:

Sentido de la conexión	Velocidad efectiva mínima
ISP hacia usuario o “downstream”	1024 kbps
Usuario hacia ISP o “upstream”	512 kbps

En el caso de los accesos satelitales la relación Downstream/upstream es de 1024 kbps/256 kbps

Velocidad de transmisión de datos: En sistemas digitales corresponde a la cantidad de información que puede ser transmitida en el tiempo a través de un canal de comunicación, expresada en bits por segundo (bps) y sus múltiplos.” [13]

El artículo 1.8 tiene un aspecto importante a resaltar y es la definición de los valores de la velocidad, tanto *Downstream* como *Upstream*, para que la conexión hacia internet sea considerada como de Banda Ancha. Este ya es un parámetro mínimo que deben cumplir los ISP cuando ofrecen su servicio de Internet.

En el **anexo 1** de la misma resolución, se establecen los Indicadores para el Acceso a Internet que consisten en una serie de parámetros que se deben incluir en un sistema de medida del nivel de calidad. Estos parámetros serán medidos en la totalidad del territorio donde el ISP preste sus servicios y se hará de forma separada para las diferentes modalidades de acceso a Internet comercializadas por el ISP, con base en las características técnicas básicas tales como tecnología, velocidad de transmisión de datos y nivel de calidad ofrecido. En cuanto a la vigilancia del cumplimiento de estos indicadores de calidad, el literal A del anexo 1 indica lo siguiente:

“El sistema de medida del nivel de calidad de servicio deberá estar debidamente documentado y desarrollado en forma suficiente para permitir su inspección y seguimiento por parte de la entidad competente de vigilancia y control.” [13]

En el literal B del anexo1 se especifican los procedimientos y valores esperados de los indicadores para el acceso a Internet que la CRC ha establecido basada en los estándares de la ETSI²⁸. A continuación se muestra el indicador de Velocidad de Transmisión de Datos Alcanzada que es el de mayor interés para este Trabajo de Grado.

“Velocidad de transmisión de datos alcanzada (VTD)

- **Definición:**

Corresponde a la velocidad máxima, media y mínima, medidas en Kbps, con que los datos fueron transferidos en los sentidos del ISP al usuario y del usuario al ISP, durante períodos de tiempo determinados. El indicador estará referido a velocidades efectivas en aplicaciones de navegación Web, FTP y correo electrónico.

- **Medición:**

*La velocidad de transmisión de datos alcanzada se calcula dividiendo el tamaño del archivo de prueba entre el tiempo de transmisión requerido para una transmisión completa y libre de errores. Método de medición contenido en la **sección 5.2** del documento ETSI EG 202 057-4 V1.1.1 (2005-10).*

- **Valores estimados/criterios:**

*Que las velocidades se encuentren en el intervalo **garantizado** por el proveedor para cada una de sus ofertas comerciales.” [13]*

Siguiendo el método de la ETSI, la CRC ha establecido también una serie de condiciones bajo las cuales se deben medir los indicadores de acceso a internet. Básicamente se requiere de un servidor de pruebas y los clientes que son PCs con algún software de pruebas. El servidor de pruebas debe estar dentro del dominio del ISP y el área de cobertura corresponde al área donde se encuentran los clientes actuales que tengan contratado el servicio a medir. De

²⁸ European Telecommunications Standards Institute

acuerdo con el modelo de referencia de la ETSI EG 202 057-4 V1.1.1 (2005-10), el servidor de pruebas debe conectarse al primer Gateway que sustenta la interconexión entre la red del ISP y la red de acceso empleada [13].

En la Figura 24 se observa la configuración para la medición en el modelo de referencia de la ETSI EG 202 057-4 V1.1.1 (2005-10). La localización del servidor de prueba tan cerca como sea posible al Gateway que hace la interconexión entre la red del ISP y la red de acceso, implica que las mediciones no reflejan la influencia en la calidad del servicio de la red del ISP [14].

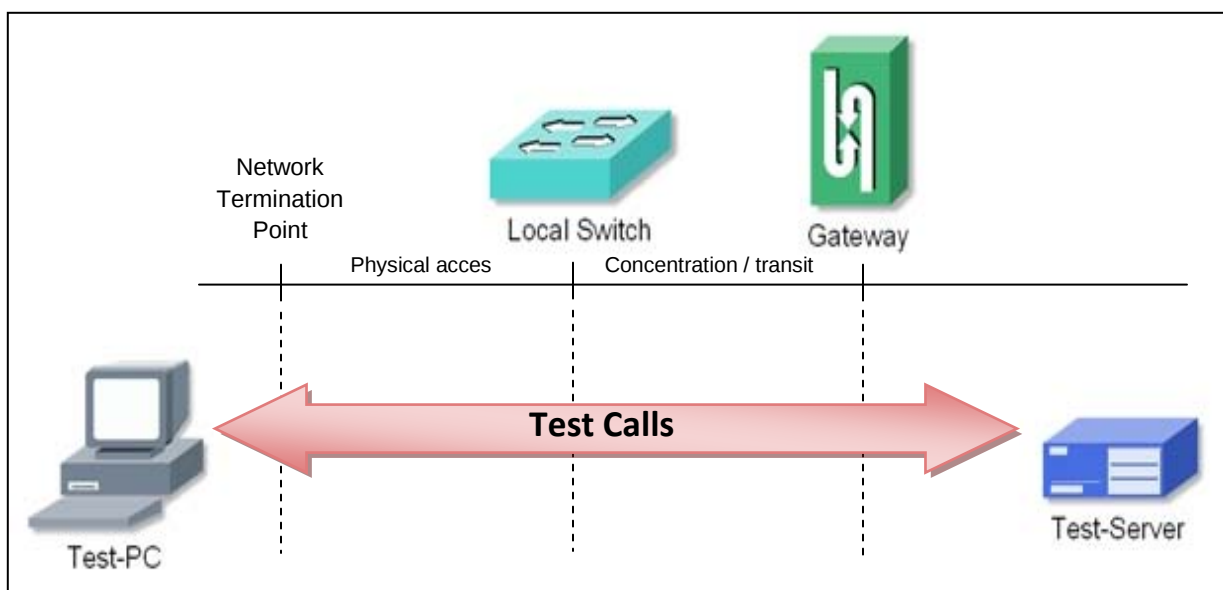


Figura 24 Configuración de la medición (Tomado de: ETSI EG 202 057-4 V1.1.1 (2005-10))

4.4 RESOLUCIÓN 3503 DE 2011

"Por la cual se definen condiciones de calidad para el servicio de acceso a Internet, se modifican las Resoluciones CRC 3067 y 3496 de 2011 y se dictan otras disposiciones"

Esta resolución fue expedida por la CRC con el fin de modificar algunos artículos de resoluciones anteriores. En el **artículo 2** de la presente resolución, se modifica el artículo 2.4 de la Resolución CRC 3067 de 2011, el cual quedará así:

"ARTÍCULO 2.4. MEDICIÓN DE INDICADORES. Los indicadores que deberán ser medidos por los proveedores del servicio de acceso a Internet provisto a través de ubicaciones dedicadas fijas corresponden a aquéllos definidos en el numeral 5° de la Recomendación ETSI EG 202 057-4 V1.1.1 (2005-10), los cuales se relacionan a continuación:

No	Indicador
1	Velocidad de transmisión de datos alcanzada (VTD)
2	Proporción de transmisión de datos fallidas (%TDF)
3	Retardo en un sentido (Ret)

Por su parte, los parámetros que deben ser medidos por los proveedores del servicio de acceso a Internet a través de redes móviles serán los que se relacionan a continuación:

No	Indicador
1	Ping (Tiempo de ida y vuelta)
2	Tasa de datos media FTP
3	Tasa de datos media HTTP
4	Disponibilidad de los SGSN
5	Porcentaje de fallas de activación de contextos PDP
6	Porcentaje de contextos PDP caídos

Parágrafo. De conformidad con lo establecido en el artículo 5.4 de la presente resolución, la medición de los indicadores de calidad referidos en el presente artículo deben ser certificadas por el representante legal del proveedor de redes y servicios de telecomunicaciones y, así mismo, el sistema de medición de los indicadores de calidad y los reportes de información deben ser avalados a través de mecanismos de verificación técnica internos y/o externos, que cuenten con autonomía e independencia de la gestión de red, de las fuentes de información, del proceso de medición y de los resultados." [15]

En este artículo se hizo una modificación importante a los indicadores de calidad de los accesos a Internet. Se hace la diferenciación cuando las redes de acceso son de ubicación dedicada fija y cuando son a través de redes móviles. Los indicadores a medir son totalmente diferentes dependiendo del tipo de conexión.

Por medio de artículo 4 de esta Resolución se modificó también el artículo 2.5 de la Resolución CRC 3067 de 2011, el cual quedó de la siguiente forma:

"ARTÍCULO 2.5. HERRAMIENTA UNIFICADA DE MEDICION DE CALIDAD DE INTERNET. Los proveedores del servicio de acceso a Internet deberán tener disponible en todo momento y de manera destacada en la página principal de su sitio Web, el acceso a la aplicación gratuita, por medio de la cual el usuario pueda verificar la velocidad efectiva provista tanto para envío como para descarga de información, así como el nivel de calidad de la conexión, siempre que el usuario alimente la aplicación con la información del plan que éste tenga contratado para su acceso a Internet La herramienta le entregará al usuario un reporte indicando al menos:

- Dirección IP origen.
- Velocidad de descarga (download) y velocidad de carga (upload) en Kbps.
- Fecha y hora de la consulta.

La herramienta de medición también podrá incluir en el reporte información relacionada con el tamaño del paquete de prueba utilizado y el tiempo de respuesta asociado a la prueba.”[15]

De la modificación hecha al artículo 2.5 se puede observar que se introdujeron unos parámetros mínimos que debe cumplir la herramienta de medición utilizada para verificar la velocidad efectiva, tanto de carga como de descarga. Con respecto a esta herramienta, la CRC y el ministerio de las TIC quieren implementar un medidor centralizado de la velocidad y la calidad de acceso a Internet en las conexiones fijas y móviles. Este medidor debe cumplir con algunos aspectos que se muestran a continuación, además de los reportes de información antes señalados [15]:

- o El servidor estará ubicado en el Punto de Intercambio Nacional de datos, denominado NAP Colombia.
- o La aplicación deberá entregar mediciones de latencia de la conexión.
- o Permitir que el usuario proporcione información relativa a la oferta comercial contratada, particularmente las velocidades de acceso, y a la ubicación geográfica desde la cual realiza la medición.
- o Tener actualizado un reporte de las ubicaciones geográficas en las cuales no haya cobertura de Internet, o aquellas donde el servicio sea considerado deficiente por el usuario.

4.5 RECOMENDACIONES PARA FORTALECER EL MARCO NORMATIVO DEL SERVICIO DE BANDA ANCHA

Al plantear los objetivos de este Trabajo de Grado se llegó a la conclusión de que se debían dar unas recomendaciones a los entes reguladores de las Comunicaciones y las Tecnologías Informáticas en Colombia porque no había una normatividad amplia y eficiente en este tema. Con las nuevas Resoluciones expedidas por la CRC en el año 2011 se modificaron muchos de los artículos que existían y se crearon otros con el fin de mantener actualizado el marco legal de las TIC, ya que como las tecnologías están en continuo desarrollo, así mismo deben avanzar las normas que las regulan.

Dentro de estas nuevas normas que se han creado se destaca que se le ha dado mayor importancia a la protección de los derechos de los usuarios. Los usuarios de los servicios de comunicaciones tienen ahora más herramientas que le permiten verificar la calidad de los servicios contratados y en el caso que haya falencias pueden acudir a sus proveedores o las autoridades competentes para que le solucionen el inconveniente con prontitud. Igualmente se han establecido más indicadores de calidad que las empresas deben cumplir para prestar un buen servicio.

A pesar de toda esta nueva normatividad establecida, lo más importante es que los entes reguladores estén haciendo constantemente labores de control y vigilancia para que todo este marco normativo tenga validez.

Una de las principales falencias con respecto al servicio de Banda Ancha es que, para verificar su velocidad de conexión, no hay servidores de prueba dentro del territorio colombiano. Apenas en diciembre del 2011 la compañía *Ookla* habilitó, para su medidor *SpeedTest.net*, el primer servidor de pruebas en la ciudad de Medellín. En la Resolución 3503 de 2011, la CRC plantea la propuesta de implementar un medidor centralizado para Colombia cuyo servidor de pruebas debe estar localizado dentro del territorio colombiano. Con esto se busca medir la velocidad y la calidad de las conexiones hacia Internet de los ISP que operan en el territorio nacional y por supuesto se van a beneficiar tanto los usuarios como los proveedores del servicio de Internet debido a que se va a tener mayor precisión en los resultados de las pruebas porque se hará en los accesos en los cuales el ISP puede garantizar la calidad de su servicio.

Se recomienda que la aplicación exigida en el artículo 96 de la Resolución CRC 3066 de 2011, que deben tener los proveedores en su página web para que los usuarios puedan medir la velocidad de su conexión hacia internet, sea la que se plantea como medidor centralizado. De esta forma se logra equidad en la evaluación, ya que todos los proveedores van a ser medidos por los usuarios con la misma herramienta, aunque esto no signifique que las condiciones de cada prueba sean iguales.

Este último punto origina la siguiente recomendación. En el medidor centralizado planteado por la CRC, o en cualquier otra herramienta que se use para medir la velocidad de los accesos a Internet, se debe informar al usuario sobre las condiciones de la prueba y sobre los factores que influyen a la hora de hacer la medición de la velocidad. Por ejemplo, si el usuario está ejecutando otros programas en su computador mientras ejecuta la prueba, o si está descargando archivos o tiene abiertas otras páginas web, si hay más equipos conectados a su red, la hora en que se realice la prueba, la cantidad de tráfico interferente, entre otros elementos que afectan los resultados de la prueba.

De acuerdo con la CRC, lo que se busca con el medidor centralizado es obtener mediciones tendientes a conocer, con soporte de elementos tecnológicos, la percepción de calidad de servicio desde el punto de vista del usuario [16]. Para entender mejor el propósito de esta herramienta se recomienda definir el tipo de velocidad que se quiere medir, pues como se explicó en el capítulo 1 de este informe, hay diferentes propiedades de las redes que pueden ser medidas para conocer su rendimiento.

Finalmente se recomienda que en el método de medición de la velocidad de Banda Ancha que se va a implementar en la herramienta centralizada, se utilicen múltiples conexiones TCP para que se adapte a las condiciones de los sistemas actuales usando toda la capacidad disponible de los enlaces.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este capítulo final se presentan las conclusiones a las que se fueron llegando durante el desarrollo de este trabajo de Grado y también se plantean unas propuestas para continuar trabajando en el tema de la velocidad de las conexiones hacia Internet.

5.1 TRABAJO FUTURO

Hay básicamente tres enfoques que pueden seguir bajo estudio con el fin de lograr tener una herramienta de medición lo suficientemente confiable tanto para los usuarios, como para los ISP y los entes reguladores del servicio de Internet.

La primera propuesta es desarrollar una herramienta de diagnóstico del servicio de Internet que analice varias propiedades de las conexiones hacia Internet como, por ejemplo, latencia, pérdida de paquetes, capacidad de los enlaces, entre otras propiedades que pueden ser medidas y ayudarían a complementar la información sobre el rendimiento de una conexión.

La velocidad es el principal indicador que miran los usuarios para calificar la calidad de su servicio de Internet y puede que para ellos no sea relevante y hasta confuso conocer más información sobre su conexión; sin embargo, para los proveedores de servicios de Internet y para los entes reguladores es de gran utilidad tener a la mano más información sobre el estado y el rendimiento de la red con el fin de mantener la calidad y para ayudar en la detección de problemas.

La siguiente propuesta está encaminada al estudio de los diferentes factores que se ha dicho, influyen en la medición de la velocidad de las conexiones hacia Internet. Con este estudio se busca identificar cuáles son esos factores que realmente afectan las mediciones y en qué medida lo hacen. Algunos de esos factores que se pueden analizar son carga en la CPU, tipo de sistema operativo, tipo de conexión, entre otros.

Al conocer cuáles son los factores y como afectan las mediciones de velocidad es posible interpretar mejor los resultados que se obtienen con las distintas herramientas que existen para medir la velocidad de las conexiones hacia Internet.

Finalmente se propone desarrollar una herramienta para medir la velocidad de las conexiones hacia Internet pero basada en Hardware. Este tema está relacionado con el proyecto que adelanta actualmente la empresa SamKnows, el cual se nombró en la sección 1.3.7. La idea es tener una plataforma Hardware desde la cual se realiza la medición de la velocidad, evitando muchos de los factores que influyen al medir desde un computador. La plataforma de medición estaría ubicada a la entrada de la conexión de Internet que provee el ISP y antes de cualquier equipo que esté conectado en el hogar o en la oficina.

5.2 CONCLUSIONES

Al estudiar las diferentes herramientas, aplicaciones y sitios web que informan sobre la velocidad de transmisión de las conexiones hacia Internet, hubo dificultad para hacer una comparación directa entre todas ya que poseen características diferentes en sus métodos de medición. Para superar esta dificultad se plantearon unos indicadores mínimos generales, y de esta forma, se pudieron establecer cuáles eran las debilidades y fortalezas de cada una de las herramientas.

Se estableció que la característica más importante que debe poseer una herramienta que mida la velocidad de Banda Ancha es que implemente múltiples conexiones TCP en su método. De esta forma, la herramienta se adapta a las condiciones de los sistemas actuales y se pueden obtener resultados más reales y confiables.

Se identificó que en la mayoría de herramientas de medición hay falta de claridad en cuanto a la velocidad que en realidad se está midiendo y en cuanto a las unidades de medición que son empleadas. Esto ocasiona dificultades a la hora de interpretar los resultados obtenidos.

Se implementó una herramienta que mide la velocidad real que una aplicación espera obtener con las condiciones que presente la red. Se ejecutaron pruebas para comprobar su desempeño en una plataforma de pruebas virtual, simulando una topología de red de internet, encontrando que su rendimiento fue satisfactorio.

La prueba en el entorno real no cumplía con la infraestructura óptima que debe tener un sistema de medición al nivel de las redes de los ISP comerciales. A pesar de esto se alcanzaron resultados aceptables en comparación con otras herramientas de medición y es posible afirmar que la herramienta está en capacidad de ser sometida a pruebas en condiciones más rigurosas y de mayor escala.

Se encontró que el marco regulatorio del servicio de Banda Ancha en Colombia evolucionó considerablemente en el segundo semestre del 2011. Se sancionaron leyes y resoluciones en el sector del servicio de Internet, especialmente las relacionadas con los indicadores de calidad del servicio y la protección de los derechos de los usuarios. Se destaca el hecho de que se planteó la creación de una herramienta unificada de medición de la calidad del servicio de Internet, cuyo servidor de pruebas estará ubicado dentro del NAP Colombia y será usada por todos los ISP.

6. REFERENCIAS

- [1] B. Lowekamp, B. Tierney, L. Cottrell, R. Hughes-Jones, T. Kielmann y M. Swany, «A Hierarchy of Network Performance Characteristics for Grid Applications and Services,» 2003.
- [2] S. Bauer, D. Clark y W. Lehr, «"Understanding broadband speed measurements",» 2010.
- [3] R. Prasad, C. Dovrolis, M. Murray y K. Claffy, «Bandwidth Estimation: Metrics, Measurement Techniques, and Tools,» *IEEE Network*, Noviembre 2003.
- [4] M. Allman y M. Mathis, «A Framework for Defining Empirical Bulk Transfer Capacity Metrics,» RFC 3148, 2001.
- [5] M. Jain y C. Dovrolis, «End-to-End Available Bandwidth: Measurement Methodology, Dynamics, and Relation with TCP Throughput,» de *SIGCOMM 02*, Pittsburgh, 2002.
- [6] C. Kreibich, N. Weaver, B. Nechaev y V. Paxson, «"Netalyzr: Illuminating The Edge Network",» Berkeley, 2010.
- [7] broadband.gov, «"Measurement Lab (M-Lab): Application and Methodology",» Federal Communications Commission, Marzo 2010. [En línea]. Available: http://www.broadband.gov/about_m-lab.html. [Último acceso: Noviembre 2011].
- [8] P. Sevcik, «"comScore ISP speed test Accuracy",» Marzo 2010. [En línea]. Available: <http://fjallfoss.fcc.gov/ecfs/document/view?id=7020397512>. [Último acceso: Septiembre 2011].
- [9] Ookla, «Speedtest.net,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.speedtest.net/about.php>. [Último acceso: Diciembre 2011].
- [10] D. E. Comer y D. L. Stevens, *Internetworking with TCP/IP Client-server programming And Applications*, vol. III, Prentice Hall, 2001.
- [11] C. d. I. República, *Ley 1341 de 2009*, Bogotá D.C., 2009.
- [12] C. d. R. d. Comunicaciones, *Resolución 3066 de 2011*, Bogotá D.C., 2011.
- [13] C. d. R. d. Comunicaciones, *Resolución 3067 de 2011*, Bogotá D.C., 2011.
- [14] ETSI, 202 057-4 Speech processing, transmission and quality aspects (STQ); user related QoS parameter definitions and measurements; part 4: internet acces, vol. 1.1.1, 2005.

[15] C. d. R. d. Comunicaciones, Resolución 3503 de 2011, Bogotá D.C., 2011.

[16] C. d. R. d. Comunicaciones, «Respuesta a comentarios a la propuesta regulatoria de revisión de las condiciones de calidad aplicables al Servicio de Acceso a Internet,» Bogotá D.C., 2011.