TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN PARA LA MEDICIÓN DE VELOCIDAD Y EL ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE LA RED HSPA DE LA CORPORACIÓN DIGITEL C.A

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Gustavo J. Michelena H.
para optar al Título de
Ingeniero Electricista.

Caracas, 2011

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN PARA LA MEDICIÓN DE VELOCIDAD Y EL ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE LA RED HSPA DE LA CORPORACIÓN DIGITEL C.A

Prof. Guía: Ing. David Sirit
Tutor Industrial: Ing. Rodolfo Pereira

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Gustavo J., Michelena H.
para optar al Título de
Ingeniero Electricista.

Caracas, 2011

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 09 de noviembre de 2011

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Gustavo J. Michelena H. titulado:

"DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN PARA LA MEDICIÓN DE VELOCIDAD Y EL ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE LA RED HSPA DE LA CORPORACIÓN DIGITEL C.A."

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Comunicaciones, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Lorena Núñez
Jurado

Prof. Gerlis Caropresse
Jurado

Prof. David Sirit
Prof. Guía

DEDICATORIA

A Kenia, mi fiel y eterna compañera, que nunca perdió la fe en mí y me motivó para seguir siempre adelante, gracias por hacerme una mejor persona. Te amo y siempre te amaré.

A mis padres, quienes sacrificaron todo para llegar a donde estoy y así poder obtener toda la educación que he recibido. Estoy seguro que a partir de este momento les retribuiré todo lo que han hecho por mí.

A mis hermanos, quienes me dieron el ánimo y apoyo durante toda la carrera para no rendirme nunca.

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ayudarme tantas veces en mi camino y permitir mi desarrollo como profesional, gracias por concederme esta dicha.

A la Universidad Central de Venezuela, por abrirme sus puertas y brindarme la oportunidad de ser profesional.

A mi tutor académico: Prof. David Sirit y a mi tutor industrial: Ing. Rodolfo Pereira, quienes sirvieron de guía para la realización de este trabajo y me brindaron todo el apoyo que necesité. Además al profesor Carlos Moreno e Ingeniero Raúl Nieto, sin ustedes nada de esto habría sido posible.

A todos los profesores de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Central de Venezuela, quienes dedicaron su tiempo y esfuerzo en enseñarme. Espero en un futuro retribuir este esfuerzo por medio del buen desempeño de mi profesión.

A María Auxiliadora Rojas, la cual admiro por su paciencia y forma de ser, gracias por tu apoyo y por ser como eres.

A toda mi familia, empezando por mis abuelos Mercedes, Narciso, Olga y Juan. Mis tíos: Miguel, José Antonio, Mirtha, Gloria, Maruja y Mireya. Mis primos: Octavio, Mercedes, Adriana, Manuel Enrique, Carlos Eduardo, Mariana, José Antonio, Gabriela y María Victoria. Todos me ayudaron de alguna u otra manera en el transcurso de mi vida estudiantil, gracias por sus buenas intenciones.

A la familia Madero y Salazar, quienes me transmitieron sus buenas energías durante la parte final de mi carrera, estoy seguro que les brindaré todo mi apoyo durante el resto de mi vida.

A la familia Bello, en especial Gloria Bello Bastidas, quien me brindó su hospitalidad durante gran parte de mi época de estudios.

A mis compañeros de estudios de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Daniel Contreras, Mariangel Peláez, Rafael Ferrer, Paul Clavell, Eddy Wirkes, Luis Felipe Guevara, Dionel Vecchini, Alexis Montilva, Gustavo Reyes, Boris Boada, Rudi Cressa, José Hurtado, Indira Márquez, Edward Alarcón, Carlos Ascencio, Benito Perez, Daniel Lemoine, Dickxons Linares, Javier Torres, Jesús Arguellos, José Benavides, Juan Rodríguez, Leopoldo Vásquez, Luis Millán y Raneé Quintero, gracias a todos por su ayuda, espero encontrármelos nuevamente en el entorno laboral.

A mis amigos y hermanos, Fernando Bello, Jorge De Cárdenas, Tomás Monteverde, Manuel Moya, Desireé Genatios, Carlos Piña, David Somogy, Leopoldo Atencio, Hernán Guerrero, Fermín Noda, Nicolás España, Luís Rada, César García, Tracy Díaz, Cynthia Mora, Leopoldo Barrios, Carlos Giuliano, Olga Velasco, Alexandra Graterol, Marianella Hernández, Mariana Carrillo, Edward Fung, Oscar Chang, Aarón Castillejo, Mauricio Rodríguez, Raúl De Cárdenas, Luis De Cárdenas, Paola Vera, Antonio Ngua Mba, Herwart Viete, gracias por los momentos inolvidables.

A mis compañeros de La Corporación Digitel, Melissa De Jesús, Nilka Toro, Rosalía Huizi, Nohamar Rodríguez, María Conchita Colmenares, Joel Villegas, Jesús Lugo y Orlando Fajardo, gracias por hacer de mi estadía en la empresa una experiencia gratificante y hacerme sentir como en casa.

Michelena H., Gustavo J.

DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN PARA LA MEDICIÓN DE VELOCIDAD Y EL ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE LA RED HSPA DE LA CORPORACIÓN DIGITEL C.A.

Prof. Guía: David Sirit. Tutor Industrial: Rodolfo Pereira. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Comunicaciones. Institución: Corporación DIGITEL C.A. 2011. 99 h. + anexos.

Palabras claves: HSPA; Velocidad de Transmisión; Downlink; Uplink; Herramienta de Medición; Modelo OSI; Equipo Servidor; Equipo Cliente; Estadística Descriptiva.

Resumen. El objetivo del presente trabajo de grado fue el diseño de una solución con la finalidad de mostrar a los usuarios de Digitel el comportamiento de la red por medio de mediciones de transferencia de información de datos, específicamente mediciones de los canales downlink y uplink de la red de acceso, utilizando dispositivos módems BAM, pertenecientes a la tecnología UMTS y su evolución HSDPA. El procedimiento para realizar las mediciones consistió en la trasferencia de datos desde un equipo servidor hasta el cliente, mediante herramientas de medición que prestan el servicio, ya sea alojándose en un servidor interno en la red o un servidor alojado en Internet. Se investigó el nodo más factible dentro de la red para localizar la herramienta y se instaló un equipo de escritorio con aplicaciones de servidor que permitiera la emulación de dicho equipo, dando como resultado el núcleo USB específicamente en el Backbone de Internet de Digitel. Se seleccionaron distintos tipos de herramientas y se separaron en dos grupos resultando cuatro herramientas con la posibilidad de alojarse en el nodo escogido (grupo I) y dieciséis herramientas alojadas en Internet (grupo II). Se realizaron las mediciones en distintos escenarios y se estudiaron los resultados por medio de técnicas de estadística descriptiva. Se concluyó que las horas de mejor desempeño fue en horas de la madrugada y posteriormente se realizaron mediciones con el segundo grupo, donde se demostró que las herramientas alojadas en la red Digitel otorgan un mayor valor en magnitud así como una menor dispersión con respecto a herramientas alojadas en Internet.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

LISTA DE TABLAS

Pág.

LISTA DE FIGURAS

Pág.

SIGLAS

3GPP: 3rd Generation Partnership Project.

ANSI: American National Standards Institute.

EIA: Electronic Industries Alliance.

ETSI: European Telecommunications Standards Institute.

TIA: Telecommunications Industry Association.

UCV: Universidad Central de Venezuela.

ABREVIATURAS

1G: Primera generación de telecomunicaciones móviles.

2G: Segunda generación de telecomunicaciones móviles.

2.5G: Generación 2.5 de telecomunicaciones móviles.

2.75G: Generación 2.75 de telecomunicaciones móviles.

3G: Tercera generación de telecomunicaciones móviles.

3.5G: Generación 3.5 de telecomunicaciones móviles.

4G: Cuarta generación de telecomunicaciones móviles.

AuC: Autentication Centre.

BTO: Barquisimeto.

CBN: Cubo Negro.

IQR: Rango Intercuartílico.

MBO: Maracaibo.

MCS: MyConnection Server.

PC: Personal Computer.

PLC: Puerto La Cruz.

R4: Versión posterior a R99 para UMTS, introduce mayores cambios en la red.

R5: Versión de UMTS que comprende la tecnología de acceso HSDPA.

R6: Versión de UMTS que comprende la tecnología de acceso HSUPA.

R7: Versión de UMTS que comprende la tecnología HSPA plus.

R8: Evolución de UMTS llamada LTE, considerada tecnología 4G.

R99: Versión 99, primera versión UMTS ideada por la 3GPP.

SPSS: Statistical Package for the Social Sciences.

Tb: Tiempo de Bit.

Tc: Tiempo de Chip.

USB: Universidad Simón Bolívar.

VAL: Valencia.

ACRÓNIMOS

1xEV-DO: 1x EVolution Data Optimized.

1xRTT: 1 times Radio Transmission Technology.

3GPP: 3rd Generation Partnership Project.

3xRTT: 3 times Radio Transmission Technology.

16QAM: 16 Quadrature Amplitude Modulation

AMC: Adaptative Modulation and Coding.

AMPS: American Mobile Phone System.

AN: Access Network.

ASP: Active Server Pages.

CC: Call Control.

CN: Core Network

D-AMPS: Digital Advanced Mobile Phone System.

DCH: Dedicate Channel.

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol.

DNS: Domain Name System.

E-DCH: Enhanced Dedicated Channel.

EDGE: Enhanced Data Rates for GSM Evolution.

EIR: Equipment Identity Register.

FDMA: Frequency Division Multiple Access.

FTP: File Transfer Protocol.

GGSN: Gateway GPRS Support Node.

GMM: GPRS Mobility Management.

GMSC: Gateway Mobile Switching Centre.

GPRS: General Packet Radio Service.

GSM: Global System for Mobile Communications.

GTP: GPRS Tunneling Protocol.

HLR: Home Location Register.

HS-PDSCH: High Speed Physical Dedicate Shared Channel.

HS-DPCCH: High Speed Dedicated Physical Control Channel.

HS-SCCH: High Speed Shared Control Channel.

HSDPA: High Speed Download Packet Access.

HSUPA: High Speed Uplink Packet Access.

HSPA: High Speed Packet Access.

HTTP: HyperText Transfer Protocol.

IIS: Internet Information Services.

IP: Internet Protocol.

ISP: Internet Services Provider

LAN: Local Area Network.

LLC: Logical Link Control.

LTE: Long Term Evolution.

MAC: Media Access Control.

ME: Mobile Equipment.

MM: Mobility Management.

MPLS: Multiprotocol Label Switching.

MSC: Mobile Switching Centre**.**

MTP: Message Transfer Part.

NAS: Network Attached Storage.

NAT: Network Address Translation.

NBAP: Node B Application Part.

NMT: Nordic Mobile Telephone.

OSI: Open System Interconnection.

PDCP: Packet Data Convergence Protocol.

PDH: Plesiochronous Digital Hierarchy.

PHP: Hypertext Preprocessor.

POP: Post Office Protocol.

PSTN: Public Switched Telephone Network.

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying.

RANAP: Radio Access Network Application Part.

RLC: Radio Link Control.

RNC: Radio Network Controller.

RNSAP: Radio Network Subsystem Application Part.

RRC: Radio Resource Control.

SCCP: Skinny Client Control Protocol.

SCTP: Stream Control Transmission Protocol.

SDH: Synchronous Digital Hierarchy.

SF: Spreading Factor.

SM: Session Management.

SGSN: Serving GPRS Support Node.

SMTP: Simple Mail Transfer Protocol.

SS: Spread Spectrum.

TACS: Total Access Communication System.

TCP: Transmition Control Protocol.

TD-CDMA: Time Division CDMA.

TD-SCDMA: Time Division Space CDMA.

TDMA: Time Division Multiple Access.

TELNET: TELecommunication NETwork.

TFTP: Trivial File Transfer Protocol.

UDP: User Datagram Protocol.

UE: User Equipment.

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System.

URL: Uniform Resource Locator.

USB: Universal Serial Bus.

USIM: Subscriber Identity Module.

VLR: Visitor Location Register.

WAN: Wide Area Network.

WCDMA: Wideband Code Division Multiple Access.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, el mundo entero se desarrolla dentro de una era informativa y constantemente cambiante. Las comunicaciones se han vuelto cada vez más indispensables y es por ello, que los requerimientos hacia éstas se han hecho mayores y exigentes.

A través de la tercera generación de servicios móviles, se ha logrado unificar las redes de voz y de datos, lo cual ha permitido para un mismo equipo terminal poder realizar infinidad de funciones, tales como: correo electrónico, transferencia de imágenes, videos de alta calidad y establecer videoconferencias; todo esto, a altas velocidades y con la posibilidad de estar en movimiento.

Una de las primeras tecnologías utilizadas en las redes de tercera generación (3G) fue la Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) propuesta por la organización 3rd Generation Partnership Project (3GPP). Dicha tecnología proporcionó grandes mejoras con respecto a las redes de segunda generación, en cuanto a los servicios multimedia antes mencionados, principalmente, por el aumento en la capacidad de datos que puede obtener un terminal móvil.

A través de los años, las redes UMTS optimizaron su funcionamiento agregando nuevos elementos en su arquitectura, donde se implementaron avanzadas técnicas de modulación y esquemas de codificación, entre otros factores, que permitieron una mejor administración de los canales de acceso y por consiguiente un mejor desempeño de la red a nivel general.

Esta evolución de la red UMTS es comúnmente denominada High Speed Packet Access (HSPA) y se divide a su vez en dos tecnologías llamadas High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) y High Speed Uplink Packet Access (HSUPA).

Las mismas tienen como principal característica una mejora en el desempeño de la transmisión de datos en la red de acceso, para los canales downlink y uplink respectivamente, aunque de igual manera incluyen modificaciones en la red núcleo UMTS.

Los métodos para medir las velocidades de transmisión de datos de los usuarios de la red son un tema que interesa cada vez más a las empresas de telecomunicaciones que presten servicios de transmisión de paquetes de datos. Es necesario que las empresas dispongan de una herramienta que proporcione servicios a sus usuarios capaces de mostrar este parámetro, de manera tal que los mismos obtengan un estimado del desempeño que posee la red para ese instante.

La Corporación Digitel, reconocida empresa de telecomunicaciones en Venezuela, presenta inconvenientes a la hora de mostrar a sus usuarios esta velocidad de transmisión de datos, especialmente la velocidad en sentido descendente ya que la misma tiene como prioridad principal la transmisión de los datos a sus usuarios y no viceversa.

El presente trabajo de grado tiene como objetivo principal encontrar una solución a este problema, de tal manera que la empresa disponga de una herramienta sólida y eficaz, capaz de dar a conocer el desempeño de la red en cualquier instante de tiempo al usuario que lo requiera.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

El problema planteado en el presente trabajo de grado está referido a la falta de recursos que posee la Corporación Digitel para otorgar a los usuarios de su red un mecanismo o herramienta que permita a los mismos el conocimiento de su velocidad de transmisión de datos en un instante de tiempo determinado.

Es sabido que los usuarios de una red de telecomunicaciones de las características de Digitel tendrán el interés de conocer la velocidad a la que se transmiten los datos, especialmente los datos que les son otorgados desde la red. Y dependiendo de los valores obtenidos se concluirá acerca del desempeño de la conexión para ese instante.

Debido a que Digitel no dispone de herramientas propias para tal fin, los usuarios deberán recurrir al uso de herramientas ajenas a la empresa. El funcionamiento de las herramientas se basa en el proceso cliente-servidor, en el cual se envían peticiones desde el equipo cliente y respuestas desde el equipo servidor. Por lo tanto, herramientas ajenas a la empresa implicarán ubicaciones de equipos servidor fuera de la red Digitel.

El uso de dichas herramientas traerá consigo una consecuencia importante en la presentación de los resultados, ya que los valores obtenidos dependerán de un tráfico de datos ajeno a la red, donde se pueden presentar problemas de congestión en

diversos tramos, además del aumento de tiempo de trayecto entre los equipos finales, entre otros factores, lo que dará como resultado un valor de velocidad afectado por factores externos que no tienen relación con la red Digitel.

La mala interpretación de los resultados obtenidos conllevará al usuario a obtener una idea errónea respecto a la red a la que se está suscrito, desprestigiando a la empresa. Es por ello que Digitel se ve en la necesidad de solucionar el problema implementando una herramienta alojada en un servidor dentro de la red, que muestre las velocidades de transmisión de datos a sus usuarios sin depender de los factores anteriormente mencionados.

Sabiendo esto, surgen las siguientes interrogantes: ¿Cuáles son los nodos a considerar para la colocación del equipo servidor dentro de la red de Digitel?, ¿Qué tipos de herramientas de medición son las más idóneas para realizar las pruebas?, ¿Cuál es el mecanismo de funcionamiento de las herramientas?, ¿Qué herramientas muestran los mejores resultados? ¿Qué relación poseen los resultados de las herramientas con el desempeño de la red Digitel?, ¿Será factible implementar dicha herramienta para el usuario en general?

La metodología empleada para responder cada una de estas preguntas, es el objetivo principal del trabajo de grado.

1.2 Objetivo General

- Diseñar una solución para la medición de la velocidad y el desempeño de la red HSPA de la Corporación Digitel C.A.

1.3 Objetivos Específicos

- Realizar investigación bibliográfica, evaluando la arquitectura estándar de la red HSPA.

- Realizar estudio de la arquitectura actual HSPA de Digitel.

- Establecer los puntos de medición de velocidad en la arquitectura actual.

- Evaluar y seleccionar las herramientas para la medición de la velocidad y desempeño del uplink y downlink.

- Implementar la solución y realizar las pruebas de las herramientas de medición en diversos escenarios.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes y breve reseña de las redes de tercera generación

Hoy en día, es ampliamente conocido que existen tres generaciones de comunicaciones móviles, producto de una evolución acelerada motivada, en parte, por la vertiginosa demanda de movilidad, compatibilidad y portabilidad en las comunicaciones.

Lugo (2011), define la primera generación, 1G, como el primer estándar analógico establecido en la mitad de la década de los años 80´s. Estas redes ofrecían servicios básicos a sus usuarios enfatizados en servicios de voz únicamente. Entre los estándares 1G más importantes se pueden nombrar los siguientes: Nordic Mobile Telephone (NMT) de Países Nórdicos, American Mobile Phone System (AMPS) de Estados Unidos y Total Access Communication System (TACS) de Inglaterra.

Según Guirnard (2010), actualmente la 1G se considera primitiva, ya que posee a una serie de limitaciones tales como: la falta de cifrado en la comunicación, degradación de la calidad a causa de interferencias e ineficiencia en la utilización del espectro; sin embargo, el mayor inconveniente para esta tecnología, es que a pesar de que los sistemas desarrollados se basaban en la misma filosofía de funcionamiento, no existía compatibilidad entre los mismos.

La falta de compatibilidad trajo como consecuencia que los distintos cuerpos internacionales buscaran especificar una segunda generación de comunicaciones, 2G, la cual tendría como prioridad la compatibilidad y transparencia internacional. Dicha

tecnología está basada en sistemas digitales, lo cual implica mayor resistencia a interferencias, equipos terminales de menor tamaño, mejor rendimiento del espectro, servicios tales como: mensajes de texto y buzón de voz; además de codificación del canal utilizado y cifrado en las comunicaciones.

Existen diversos estándares de segunda generación, entre los cuales se pueden mencionar: Global System for Mobile Communications (GSM) creado por la ETSI/3GPP, Digital Advanced Mobile Phone System (D-AMPS) de EIA, TIA y ANSI, y por último Code Division Multiple Access (CDMAOne) de Qualcomm® (Lugo, 2011). El estándar GSM es el que utiliza la Corporación Digitel para brindar servicio a sus usuarios en la red 2G.

Posterior a los sistemas de segunda generación, surge la necesidad de optimizar los servicios de transmisión de datos sobre las redes 2G, donde la prioridad era la transmisión de voz. En el caso de GSM se creó el subsistema General Packet Radio Service (GPRS), también llamado 2.5G, el cual se implementó sobre la infraestructura existente. “Uno de los principales propósitos de GPRS fue facilitar la interconexión entre las estaciones móviles y las redes conmutadas por paquetes, las cuales abren las puertas a las redes de datos y a los servicios asociados a las mismas, tales como: Internet, correo electrónico y transferencia de archivos, etc.” (Guirnard, 2011, p. 15).

Previo a las redes 3G surgió como evolución de 2.5G, la tecnología 2.75G. Entre los principales estándares para este sistema se encuentran: CDMA2000 1xRTT (1 times Radio Transmission Technology), CDMA2000 3xRTT (3 times Radio Transmission Technology) de 3GPP2 y EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) de la ETSI (Lugo, 2011).

Los estándares EDGE y GPRS, son los utilizados por la Corporación Digitel para su red. Los beneficios de EDGE sobre GPRS se pueden apreciar en los servicios

que requieren altas velocidades de transferencia de datos, como videos y otros servicios multimedia. “EDGE introduce nuevas combinaciones de modulaciones y codificaciones que permiten al terminal móvil adaptar sus tazas de transmisión de datos según la calidad de señal que presente en un determinado momento” (Guirnard, 2010, p. 18), es decir, introduce el proceso de modulación adaptativa.

Era de esperarse que en la próxima generación se completaran los procesos de globalización de las comunicaciones móviles. Dicha generación conocida como 3G, se creó en el año 1999 y tenía como objetivos principales los mencionados a continuación:

(a) Ser un estándar a nivel mundial.
(b) Poseer capacidad de creación y gestión de servicios personalizados.
(c) Soporte de servicios multimedia.
(d) Calidad de servicio en la red móvil comparado con la red fija.
(e) Mejora en la seguridad.
(f) Nueva arquitectura modular y flexible.

Entre los principales estándares de tercera generación se pueden mencionar los siguientes: Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) de la 3GPP, 1x EVolution Data Optimized (CDMA2000 1xEV-DO) de la 3GPP2, Time Division CDMA (TD-CDMA) de la 3GPP y por último, Time Division Space CDMA (TD-SCDMA) de 3GPP (Lugo, 2011).

El estándar UMTS es el estándar de tercera generación utilizado en Europa y algunos países de Asia ideado en el año de 1999 por la 3GPP. A su vez la Corporación Digitel lo utiliza para su red 3G, desde el año 2009.

UMTS tiene diferentes versiones, cada una de ellas con innovaciones tanto en la red de acceso como en el núcleo de la red. En la figura 2.1 se muestra la

cronología de las diversas versiones, desde el año 1999 hasta el año 2011, aunque a partir de la Release 8 es considerada tecnología de cuarta generación (3GPP, 1999).

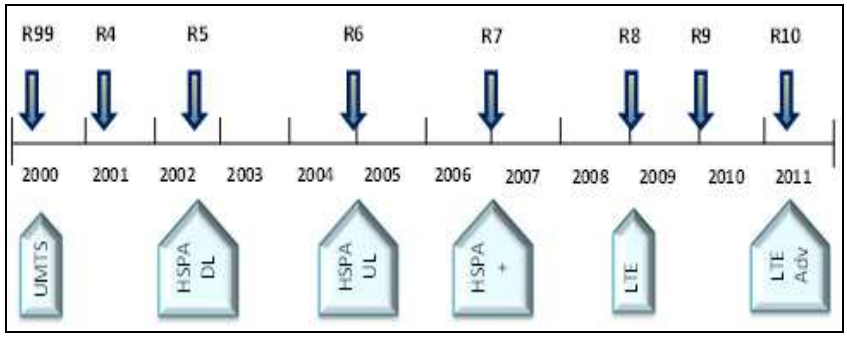


Figura 2. 1 Cronología de UMTS.

Fuente: [3].

2.2 Modelo conceptual de la red UMTS, arquitectura y componentes principales

Según Heikki (2001), el modelo conceptual de la red UMTS está basado en distintos componentes llamados dominios de red. Un dominio de red define un grupo de componentes físicos que se encargan de cumplir una función en común. En la red UMTS existen dos dominios de red principalmente:

(a) Dominio de equipo de usuario, compuesto por:

- **Equipo móvil (ME):** Se refiere a los dispositivos móviles de radio transmisor y receptor que permiten el acceso a la red.

- **Módulo de Identidad del Suscriptor UMTS (USIM):** Dispositivo que contiene la información del suscriptor. Normalmente posee un código que brinda funciones de seguridad y restricción al acceso del equipo móvil.

(b) Dominio de Infraestructura, compuesto por:

- **Red de Acceso (AN):** Brinda a los usuarios un área de acceso definida para entrar en la parte principal de la red; en UMTS se denomina UTRAN (Cartaya, 2010). Es el único dominio que cambia drásticamente de la red GSM a la red UMTS debido a la técnica de acceso WCDMA, que hará necesario la agregación de nuevos componentes para que el equipo móvil pueda acceder a la red. Dichos dispositivos son los siguientes:
  - **Nodo B:** Contiene los equipos transmisores y receptores de radiofrecuencia encargados de comunicarse directamente con los equipos terminales. Controla una o más de una celda, encargándose de la codificación del canal, asignación de modulaciones y expansión de las señales.
  - **RNC:** Se encarga de administrar los recursos de radio de un conjunto de equipos Nodos B, así como también de las funciones en cuanto al manejo de la movilidad, control de admisión, asignación de códigos, entre otras funciones.

- **Red Núcleo (CN):** Está conformada por todos los elementos relacionados con la conmutación y control de la red. A su vez CN está compuesta por dos dominios, los cuales son: el dominio de conmutación de circuitos y el dominio de conmutación de paquetes. Estos dominios contienen los siguientes componentes:
  - **Servicio de Conmutación Móvil (MSC) y Puerta de Enlace de Conmutación Móvil (GMSC):** Pertenecen al dominio de conmutación de circuitos y provienen originalmente de la red GSM. El MSC se encarga de enrutar las comunicaciones internas en la red a nivel de circuitos, mientras que el GMSC enruta las comunicaciones hacia redes externas, como es el caso de la red PSTN; además proporcionan funcionalidades básicas de registro, autenticación de la localización, handover y roaming.
  - **Nodo de Soporte de Servicios GPRS (SGSN) y Gateway de Soporte de Servicios GPRS (GGSN):** Pertenecen al dominio de conmutación de paquetes. Se implementaron por primera vez con el surgimiento de GPRS para una mejora en la transmisión del tráfico de datos en la red. “El SGSN es el punto de acceso a

la red de conmutación de paquetes para todas las estaciones móviles que demanden tráfico de datos. Se encarga básicamente de las funciones de control de acceso, seguridad y localización de terminales móviles" (Guirnard, 2010, p. 16). El GGSN se encarga de la interconexión de la red de paquetes con redes externas, como por ejemplo Internet.

Cadavid (2009), explica que el dominio de infraestructura contiene otros elementos no menos importantes, encargados de funciones de localización y autenticación de terminales. Dichos elementos son los siguientes:

(a) Registro de Localización de Usuario Local (HLR): Contiene una base de datos general que almacena y administra información de los usuarios en la red.
(b) Registro de Localización de Visita (VLR): Base de datos que almacena de forma temporal información de un usuario, además de todos los usuarios activos en el área abarcada por un MSC.
(c) Registro de Identidad (EIR): Contiene información acerca de la identidad de los equipos terminales y prohíbe el roaming de llamadas sin autorización.
(d) Centro de Autenticación (AuC): Identifica parámetros de veracidad del usuario y asegura confidencialidad.

Por último, se definen las interfaces más importantes de la red UMTS, que permiten interconectar los elementos antes mencionados.

(a) Interfaz Uu: Interfaz que se encuentra entre el ME y el Nodo B, compuesta por aire, se basa en la tecnologia WCDMA.
(b) Interfaz Iubis: Interfaz entre los Nodos B y el RNC que permite el transporte de las tramas radio desde el ME hasta el RNC.
(c) Interfaz Iu-CS: Es la interfaz entre el equipo RNC y la red núcleo conmutada de circuitos. Contiene información de tráfico y control.

(d) Interfaz Iu-PS: es la interfaz entre el equipo RNC y la red núcleo conmutada de paquetes. Contiene información de tráfico y control.

(e) Interfaz Iur: Interfaz que interconecta a dos RNC. Esta interfaz puede soportar el intercambio de informacion y datos del usuario.

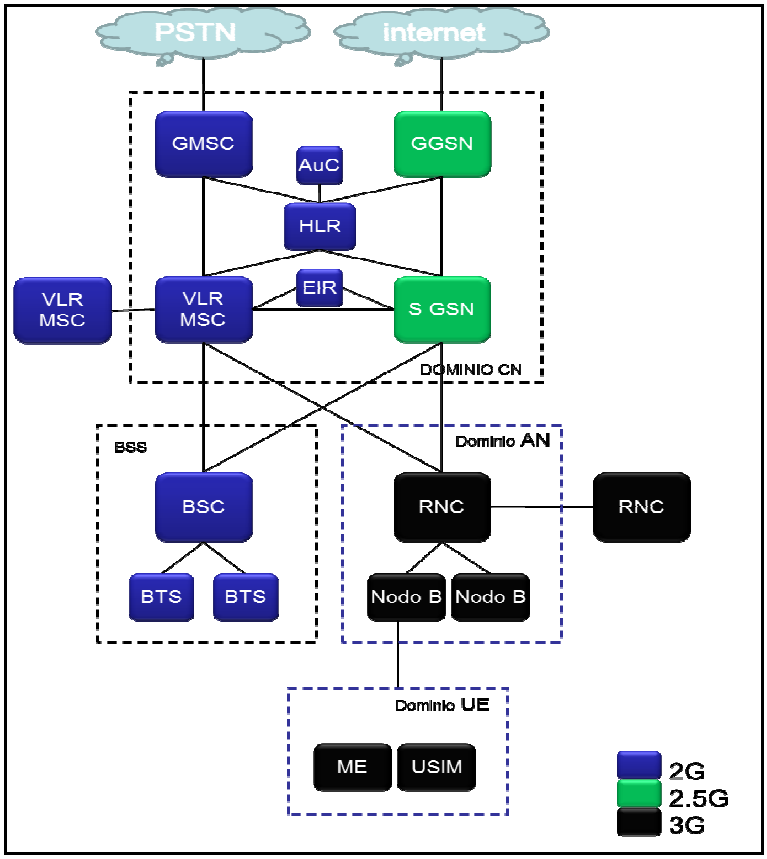


Figura 2. 2 Red UMTS.

Fuente: [3].

2.3 Modulación de acceso a la red UMTS (WCDMA)

Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) es una tecnología inalámbrica de acceso al medio, utilizada en las redes de tercera generación, que permite aumentar las tasas de transmisión de datos en comparación con las redes 2G (GSM) y sus evoluciones GPRS y EDGE.

WCDMA utiliza una técnica de modulación denominada Espectro Ensanchado (SS), la misma no es más que el ensanchamiento de la señal a transmitir mediante la modulación con señales pseudoaleatorias, éstas tienen la particularidad de poseer un periodo mucho menor, comúnmente llamado tiempo de chip. Un chip se refiere al periodo de tiempo que posee la señal de secuencia código. La tasa de chip utilizada en WCDMA es igual a 3.84 Mcps y el tiempo de chip es 1/3840000 = 0.00000026041 s (Lugo, 2011).

En el receptor se utiliza el mismo código para recuperar la señal banda base original, la cual pasa por un filtro pasabanda. En la figura 2.3 se muestra el proceso de expansión de la señal banda base.

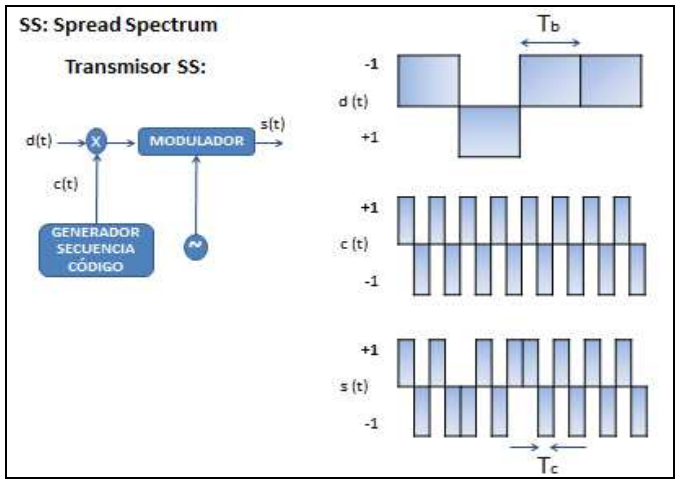


Figura 2. 3 Transmisión de Espectro Ensanchado.

Fuente: [1].

A la relación entre el tiempo de chip y el tiempo de símbolo se le llama Factor de Ensanchamiento SF y se describe a través de la fórmula:

$$SF = 2^k \qquad \text{(Ec. 1)}$$

Donde k puede tomar los valores 0, 1, 2,…., 8.

Al disminuir el periodo debido a la modulación, aumentará el ancho de banda de la señal a transmitir, tal como se muestra en la figura 2.4.

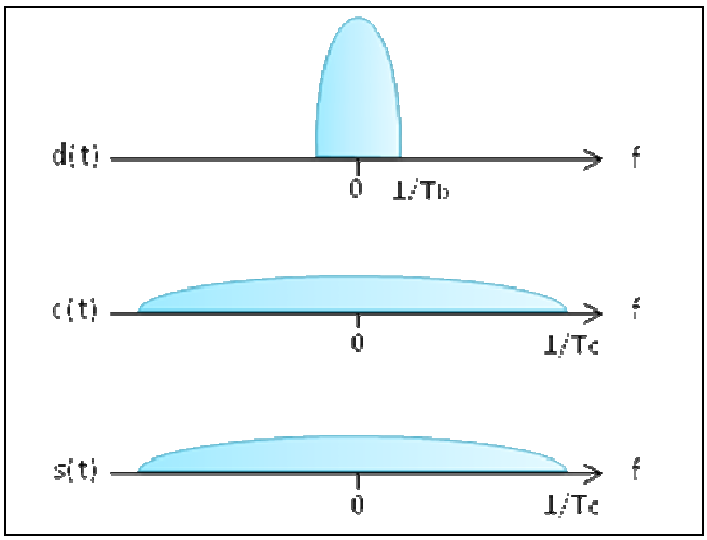


Figura 2. 4 Ensanchamiento del espectro.

Fuente: [1].

Es importante destacar que los usuarios de WCDMA, compartirán el medio físico durante todo el periodo que se esté utilizando y sobre la totalidad del espectro de frecuencias.

En la figura 2.5 se muestra la diferencia de WCDMA con respecto a FDMA y TDMA, en donde el usuario no tiene disponibilidad de los recursos de tiempo y frecuencia en su totalidad, sino de una pequeña porción de éstos.

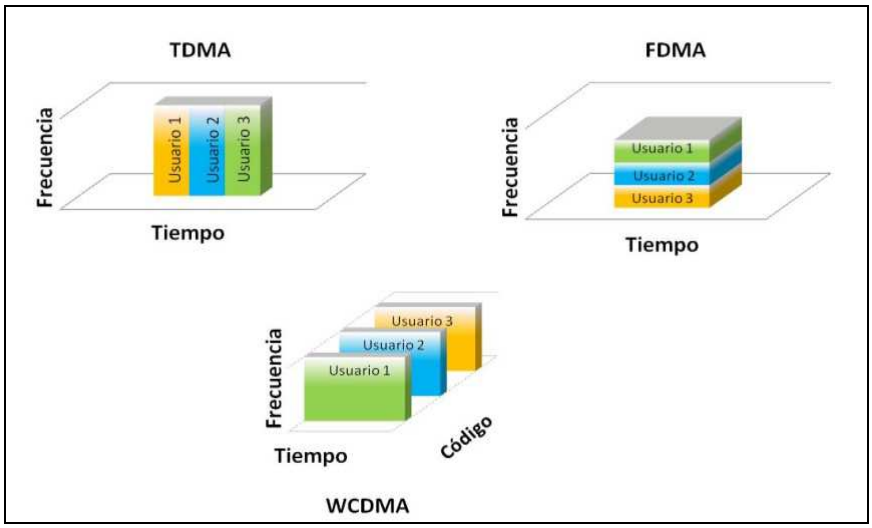


Figura 2. 5 Comparación de WCDMA vs. TDMA y FDMA.

Fuente: [1].

Entre las ventajas de utilizar el espectro expandido se pueden resaltar:

(a) Mayor velocidad de transmisión de datos, tanto downlink como uplink.
(b) Menor probabilidad de intercepción por parte de un agente externo.
(c) Proporciona múltiple facilidad de acceso.
(d) Posibilidad de utilizar diversas técnicas como diversidad multicamino, así como diversidad en tiempo y frecuencia.
(e) Mayor resistencia a interferencias.

La señal pseudoaleatoria utilizada en el proceso utiliza un código de expandido, tal como se mencionó anteriormente, éste se conforma a su vez por códigos de canalización y códigos de scrambling. En la tabla 2.1 se muestra una breve descripción del funcionamiento de cada uno para direcciones downlink y uplink.

Tabla 2. 1 Tipos de códigos de WCDMA.

Tipos de códigos	Dirección Uplink	Dirección Downlink
Códigos Scrambling	Separación de usuario	Separación de celda
Códigos de Canalización	Canales de control y de data para el mismo terminal	Usuarios para una celda
Código Spreading	Código de canalización por código scrambling	Código de canalización por código scrambling

Fuente: [4].

2.4 High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)

Korhonen (2004), define la tecnología HSDPA como una mejora a la tecnología de acceso WCDMA de la red UMTS 3G, especificada por primera vez en la Release 5 de la 3GPP, la cual consiste en añadir un nuevo canal compartido en el enlace de bajada (downlink) para optimizar la velocidad de transferencia de datos. Está diseñada para servicios donde se requiera un mayor tráfico de downlink que de uplink.

HSDPA incorpora tres nuevos canales en conjunto con los canales existentes de UMTS, dos canales de control y un canal de datos. Además, emplea una innovadora estructura de trama y nuevos esquemas de retransmisión y modulación. En la figura 2.6 se muestran los dos esquemas de acceso a la red R99 y R5, con los canales a resaltar.

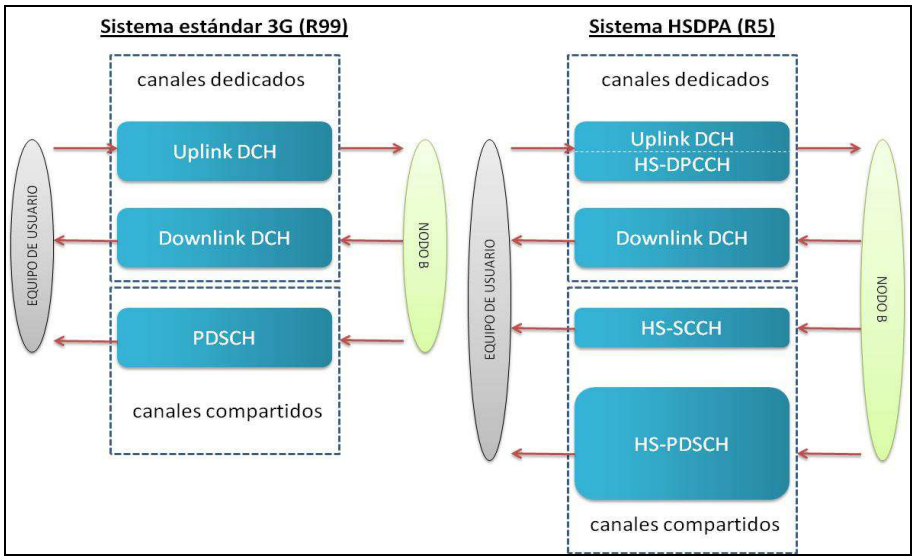


Figura 2. 6 Comparación de las redes 3G y 3.5G.

Fuente: [7].

HS-PDSCH: Canal de datos en dirección downlink el cual posee la particularidad de ser compartido entre todos los usuarios de la celda. Está multiplexado en tiempo y en códigos de canalización, además utiliza un único factor de expandido de 16, a diferencia de los canales dedicados con factor de expandido variable utilizados en UMTS. En la figura 2.7 se muestran los dos tipos de multiplexado.

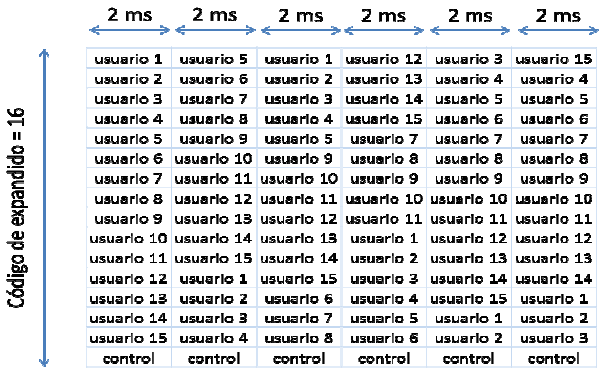


Figura 2. 7 Multiplexado en tiempo y código del canal HS-PDSCH.

Fuente: [7].

Por lo tanto, se observa que los recursos de transmisión serán reasignados a los usuarios de la celda cada trama de 2 ms, y el número de usuarios máximos por celda será de 15, ya que uno de los códigos se manejará para funciones de control.

Sin embargo, la red HSDPA tiene la capacidad de asignar más de un código a un mismo usuario. Esta asignación dependerá del número de usuarios ubicados en la celda durante la trama y el tipo de servicio que los usuarios estén utilizando, entre otros factores. En otras palabras, a un mismo usuario le podrán ser asignados uno, cinco, diez y hasta quince códigos por trama.

Adicionalmente, la asignación de las tasas de codificación así como la modulación empleada en el canal dependerán de la calidad del mismo en ese instante; este fenómeno se conoce como Adaptative Modulation and Coding (AMC) y es una mejora con respecto a UMTS. La calidad del canal será monitoreada constantemente mediante los canales de control tanto downlink como uplink.

En la tabla 2.2 se muestra la velocidad de transmisión máxima teórica que podrá obtener un usuario en distintos escenarios de modulación, códigos asignados y tasa de codificación.

Tabla 2. 2 Velocidad de transmisión en sentido Downlink para HSDPA.

Modulación	Tasa de Codificación	Throughput en Mbps (1 código)	Throughput en Mbps (5 códigos)	Throughput en Mbps (10 códigos)	Throughput en Mbps (15 códigos)
QPSK	1/4	0.12	0.6	1.2	1.8
	2/4	0.24	1.2	2.4	3.6
	3/4	0.36	1.8	3.6	5.4
16 - QAM	2/4	0.48	2.4	4.8	7.2
	3/4	0.72	3.6	7.2	10.7
	4/4	0.96	4.8	9.6	14.4

Fuente: [8].

Tal como se observó en la tabla 2.2, HSDPA utiliza dos esquemas de modulación para transmitir la información, QPSK y 16-QAM. En el caso de QPSK cada símbolo aporta 2 bits, mientras que para el caso de 16-QAM cada símbolo aporta 4 bits (Marija, 2006).

Con respecto a la tasa de codificación, este valor indica el número de bits redundantes que se transmiten con la finalidad de corregir errores. El denominador indica el número de bits totales transmitidos y el numerador el número de bits de información.

Por lo tanto, HSDPA puede llegar a alcanzar una tasa máxima de 14.4 Mbps para el canal Downlink, aunque en el caso de la Corporación Digitel este valor será como máximo 3.6 Mbps.

Como explica Romero (2009), debido a los nuevos esquemas de modulación y codificación utilizados, es necesaria la utilización de nuevos equipos terminales capaces de soportar dichos esquemas. Existen diferentes categorías de equipos las cuales dependen del número de códigos máximos que puedan manejar. (Ver tabla 2.3)

Tabla 2. 3 Velocidad de transmisión en sentido downlink para diferentes categorías de UE.

Categoría	Máximo número de códigos en paralelo HS-PDSCH	Máxima tasa de transferencia (Mbps)
1	5	1.2
2	5	1.2
3	5	1.8
4	5	1.8
5	5	3.6
6	5	3.6
7	10	7.2
8	10	7.2
9	15	10.2
10	15	14.4
11	5	0.9
12	5	1.8

Fuente: [7].

HS-SCCH: Contiene la información de control la cual permite al UE demodular y decodificar el canal HS-PDSCH. Posee un factor de expandido de 128 y se retransmite en cada trama de 2 ms.

HS-DPCCH: Envía información de acuse de recibo de paquetes y calidad del canal utilizado. Posee un factor de expandido de 256 y existe únicamente en el canal uplink. Solicita la retransmisión de los datos en caso de que existan errores o envía acuses de recibo si la transmisión de los datos es correcta.

DCH: Canal dedicado proveniente de las especificaciones anteriores de UMTS, utilizado tanto en el canal downlink como en uplink. Puede llegar a alcanzar velocidades de 384 Kbps y se utiliza principalmente para servicios de voz y videollamada.

2.5 High Speed Uplink Packet Access (HSUPA)

HSUPA es la evolución de la tecnología HSDPA (3.75G) y que también forma parte del paquete de tecnologías HSPA. Está especificada por primera vez en Release 6 por la 3GPP. Esta tecnología está enfocada en la transmisión de datos de subida (uplink), la cual no tenía ninguna modificación en la versión HSDPA con respecto a WCDMA. Emplea técnicas similares a HSDPA en cuanto a los métodos de mejora, como la agregación de un canal dedicado mejorado E-DCH.

Digitel no dispone actualmente del manejo de dicha tecnología, aunque próximamente estará a disposición de los usuarios en el país, por lo que no se hará referencia de su uso en el presente trabajo de grado.

2.6 Modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI) y protocolos resaltantes.

Según Cisco (2011), el modelo de interconexión de sistemas abiertos es un modelo de red creado por la Organización Internacional para la Estandarización, que tiene como finalidad definir un marco de referencia para arquitecturas de sistemas de comunicaciones. Está compuesto por siete capas las cuales abarcan diversidad de protocolos; estos protocolos a su vez se agrupan de acuerdo a diferentes pilas o grupos. Las capas del modelo OSI son mostradas a continuación (figura 2.8).

Figura 2. 8 Modelo OSI.

Fuente: [10].

Capa Física: Es la primera capa del modelo OSI y es la encargada de definir los medios físicos para enviar y recibir los datos hacia y desde las capas superiores. Incluye todas las formas de transmisión electromagnética ya sea luz, señales eléctricas u ondas de radio, entre los más importantes. Comprende las jerarquías PDH y SDH a nivel de redes WAN, así como los medios de conexión par trenzado y cable coaxial a nivel de redes LAN.

Capa de Enlace de Datos: Es la segunda capa del modelo y tiene como función proporcionar fiabilidad en la transferencia de la información. Controla como se ubican los datos en los medios y la manera en la que se reciben desde los medios usando técnicas de control de acceso y detección de errores. Los bloques de datos ubicados en esta capa se denominan tramas y entre los principales protocolos de esta capa se encuentran:

(a) Ethernet: Opera a través de las dos capas mencionadas del modelo OSI aunque es considerado un protocolo de enlace de datos. Pertenece al grupo de protocolos TCP/IP.

En la capa física implica señales, secuencias de bits, transportadas a través de los medios físicos. En esta capa Ethernet no puede comunicarse con las capas superiores, ni identificar dispositivos.

En la capa de enlace de datos, Ethernet separa las funciones en dos subcapas llamadas Control de Acceso al Medio (MAC) y Control de Enlace Lógico (LLC). MAC es la subcapa inferior y está ligada con el hardware del equipo; tiene como finalidad encapsular los datos así como controlar el acceso al medio, mientras que LLC establece la conexión con las capas superiores y es independiente del equipo físico.

(b) Multiprotocol Label Switching (MPLS): Es un protocolo cuya función principal es la unificación de los datos en redes que utilizan conmutación de circuitos y redes que utilizan conmutación de paquetes.

(c) Media Access Control (MAC): No debe confundirse con la subcapa MAC mencionada en Ethernet, ya que pertenece a un grupo distinto de protocolos. Forma parte de la pila de protocolos de red UMTS y HSPA, ejecutándose en la interfaz Uu del subdominio de acceso y en las interfaces Iub e Iur del subdominio de

la red núcleo. Posee el control de la comunicación sobre los canales de transporte WCDMA pertenecientes a la capa física, es decir, define qué tipo y en qué momento la información se envía en la interfaz Uu.

Además, distribuye la capacidad de los canales de transporte entre el número de usuarios asociados a un Nodo-B dependiendo de la tasa de bits ofrecida en cierto instante.

C**apa de red:** Es la tercera capa del modelo, la cual proporciona el direccionamiento de los datos a través de la red, además, enruta la información desde el origen hasta el destino. Los bloques de datos utilizados en esta capa se denominan paquete y entre los protocolos de la misma se encuentran:

(a) Internet Protocol (IP): es el protocolo más utilizado a nivel mundial, perteneciente a la pila de protocolos TCP/IP. Es el único usado para propagar la información a través de Internet. No se establece conexión antes de enviar los datos y la entrega de los datos no proporciona confiabilidad con la finalidad de no sobrecargar el servicio. Además, es independiente de los medios de transmisión utilizados, es decir, cualquier paquete IP podrá transportarse por fibra óptica, señales eléctricas por cable o señales de radio.

(b) Radio Link Control (RLC): Forma parte de la pila de protocolos de red UMTS y HSPA, y se ejecuta al igual que el protocolo MAC, entre el equipo terminal y el equipo RNC. Cumple funciones de segmentación, corrección de errores, control de flujo y cifrado.

(c) GPRS Tunneling Protocol (GTP): Perteneciente al grupo de protocolos de red UMTS/HSPA, se encarga de enrutar los datos a través de toda la red, desde el equipo terminal hasta el SGSN, y desde éste hasta el equipo terminal destino. En el

caso de transmitir los datos hacia Internet, actúa mediante el equipo GGSN. Está soportado en el protocolo IP para realizar sus funciones.

Otros protocolos pertenecientes a la capa de red son: SCCP, MTP3, SCTP, pertenecientes a las redes UMTS/HSPA.

Capa de transporte: Es la cuarta capa del modelo y tiene como función principal proporcionar el transporte entre dos o más equipos terminales. Los bloques de datos utilizados se denominan segmentos o datagramas según el caso. También proporciona un mecanismo para distinguir distintas aplicaciones dentro de una misma máquina, a través del concepto de puerto. Básicamente está compuesta por dos protocolos:

(a) Transmission Control Protocol (TCP): Protocolo fundamental para transmitir la información, el cual tiene como principal característica estar orientado a conexión, lo que garantiza que los datos sean entregados a su destino sin errores y en el mismo orden en el que fueron transmitidos, además de poseer control de flujo. Es utilizado normalmente para servicios de exploradores web, correo electrónico, y transferencia de archivos.

(b) User Datagram Protocol (UDP): Protocolo no orientado a conexión, lo que no garantiza la llegada de los datos al usuario destino. Además, no posee control de flujo ni orden en la llegada de los datos. Se usa principalmente para video en tiempo real y voz sobre IP.

Capa de sesión: Quinta capa del modelo encargada de crear y mantener las sesiones entre el equipo origen y el, o los equipos destino, además reinicia sesiones que se interrumpieron o desactivaron durante un periodo de tiempo prolongado. Entre los principales protocolos se encuentran: RANAP, RNSAP, NBAP, RRC y PDCP, todos ellos pertenecientes a la pila de protocolos de red UMTS/HSPA.

Capa de Presentación: Es la sexta capa del modelo y se encarga principalmente de la codificación y conversión de datos de la capa superior para garantizar que los datos del equipo origen puedan ser interpretados por la aplicación adecuada en el dispositivo destino. Además, comprime los datos de forma que puedan descomprimirse en el dispositivo destino y se encarga de encriptar los mismos cuando lleguen al destino. Los principales protocolos son: GMM, SM, MM, CC y NAS pertenecientes a la pila de protocolos UMTS/HSPA.

Capa de Aplicación: Séptima capa del modelo, la cual tiene como función principal proporcionar la interfaz entre las aplicaciones que utiliza el usuario y la red subyacente donde se transmite la información. Los protocolos utilizados en esta capa se utilizan para intercambiar los datos entre los programas que ejecuta el usuario, tanto origen como destino. Entre los protocolos más conocidos de esta capa se pueden listar los siguientes:

(a) Hipertext Transfer Protocol (HTTP): Protocolo utilizado para acceder a la mayoría de las páginas web a nivel mundial, encargado de transferir la información entre clientes web y servidores web.

(b) File Transfer Protocol (FTP): Usado para la transferencia de archivos entre un equipo servidor y un equipo cliente.

(c) Simple Mail Transport Protocol (SMTP): Utilizado para transferir correo electrónico entre un equipo servidor y un equipo cliente.

Los protocolos mencionados utilizan el protocolo TCP para transmitir sus datos, debido a que los servicios que prestan requieren seguridad en la llegada de los mismos al destino. Algunos protocolos de la capa de aplicación que utilizan el UDP son:

(a) Domain Name System (DNS): Traduce nombres de dominio a identificadores binarios para poder localizar y direccionar los equipos mundialmente.

(b) Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP): Protocolo que permite a los equipos clientes obtener una configuración IP automáticamente.

Otros protocolos importantes de esta capa son: NAT, POP, TELNET y TFTP, todos ellos pertenecientes a la pila de protocolos TCP/IP.

2.7 Herramientas de medición de velocidad de transmisión en una red de telecomunicaciones.

Una vez descrito el modelo OSI y sus protocolos principales es necesario describir los principales tipos de herramientas utilizadas para realizar las mediciones de velocidad.

(a) Herramientas alojadas en servidores web ubicados en Internet: Estas suelen ser las más numerosas en el mercado y por consiguiente las más populares entre los usuarios. Están alojadas en servidores pertenecientes a empresas o grupos donde el usuario no posee ningún tipo de vínculo.

Su funcionamiento es similar a acceder a una página web cualquiera, es decir, mediante una dirección URL colocada en un explorador web, se especifica la ruta de destino haciendo una petición HTTP, de tal manera que el servidor web acceda a transferir los datos entre ambos equipos y por lo tanto realizar el procedimiento.

La ventaja principal de este tipo de herramientas es que la mayoría de ellas son de carácter gratuito, aunque también poseen diversas desventajas como por ejemplo, la posibilidad de que la medición se vea afectada por el trayecto utilizado,

recordando que los equipos servidores se ubican en Internet. Por lo tanto, en el caso de que se quiera medir el desempeño de la red a la que se está suscrito, puede existir una mala interpretación de los resultados obtenidos.

Una desventaja adicional es la falta de información por parte del usuario en cuanto al procedimiento utilizado para la medición, ya que la mayoría de las herramientas no publican los métodos que utilizan al realizar las mediciones, lo que cuestiona la confiabilidad de la herramienta.

(b) Herramientas alojadas en servidores web ubicados dentro de la red a la que se está suscrito: Contrariamente a las herramientas antes mencionadas, no son numerosas en el mercado y por lo tanto no es sencillo acceder a las mismas. Muchos de los proveedores de servicios en el mundo no poseen herramientas propias para que sus usuarios accedan a medir su velocidad, lo que conlleva a los mismos a utilizar las herramientas anteriormente descritas.

Sin embargo, es conveniente para un proveedor acceder a esta clase de herramientas debido a que realizando una medición se muestran resultados únicamente dependientes de la red a la que se está suscrito.

Igualmente, el acceso es mediante la aplicación de una dirección URL en un explorador web, donde se realiza una petición web y el servidor web responde con la transferencia de los datos solicitados. Se rigen por los protocolos comentados en el punto anterior, desde la capa de aplicación hasta la capa física y viceversa aunque los protocolos varían de acorde al tipo de red utilizada y al método utilizado en la medición.

Aunque parte de estas herramientas no son de carácter gratuito, es posible la total manipulación de los archivos que la conforman, así como el conocimiento del método empleado en la medición. Por lo tanto, es necesario la ubicación de los

archivos en un equipo terminal destino, el cual puede ser un servidor o un equipo de escritorio que posea un software servidor, aunque existen herramientas para las cuales este software no es necesario.

2.8 Herramientas de uso secundario.

(a) Software Apache: Es una aplicación de código abierto utilizado en sistemas operativos Unix, Microsoft Windows® y Macintosh® entre otras. Es usado principalmente para enviar páginas web estáticas y dinámicas en redes tanto LAN como WAN. Soporta los lenguajes de programación PHP, Perl, Python y Ruby, además soporta un número de 100 usuarios clientes conectados simultáneamente, aunque este número puede ser configurable.

(b) Internet Information Services (IIS): Es una aplicación para el sistema operativo Microsoft Windows® integrado en la mayoría de sus versiones. Ofrece servicios FTP, SMTP y HTTP, convirtiendo una PC en un servidor web tanto para Internet como una Intranet, permitiendo mostrar páginas web local o remotamente. Incluye los lenguajes de programación ASP y ASP.NET, ambos propietarios de Windows®. También pueden ser incluidos los de otros fabricantes, como PHP o Perl. Es importante destacar que la IIS dependerá de la versión del sistema operativo Windows utilizado y el número de conexiones simultáneas de clientes al servidor, dependerá de la versión de IIS que se esté utilizando.

(c) Wireshark: es un analizador de protocolos en redes de telecomunicaciones, recomendado más que todo para redes Ethernet aunque puede ser utilizado en otros tipos de redes. Posee una interfaz gráfica la cual indica el tráfico de datos que entra o sale de la tarjeta de red del equipo, indicando los protocolos utilizados de acuerdo al modelo de capas OSI. Además posee la opción de filtrado de paquetes según el protocolo, así como filtrado de direcciones IP entre otras opciones.

(d) SPSS: Es un software estadístico diseñado por IBM®, que permite obtener parámetros de estadística descriptiva**,** tales como promedio, desviación estándar, histograma de frecuencia y diagramas de caja.

2.9 Análisis de datos a través de técnicas estadísticas.

El campo de la estadística trata de la recolección, presentación, análisis y uso de los datos para tomar decisiones, solucionar problemas y diseñar productos y procesos. Debido a que diversos aspectos del ejercicio de la ingeniería implican trabajar con datos, resulta evidente la importancia de ciertos conocimientos en estadística para cualquier ingeniero (Montgomery, 2003).

Las técnicas estadísticas utilizadas en el presente estudio, se resumen en: análisis exploratorio y gráfico de los datos:

Análisis exploratorio

Esto permite analizar los datos exhaustivamente y detectar las posibles anomalías que presentan las observaciones, de esta forma se desarrolla una perspectiva del carácter de los datos y de las relaciones que existen entre ellos.

Los estadísticos descriptivos más utilizados son:

(a) Media aritmética o promedio: Corresponde a la suma de un número finito de datos obtenidos dividida entre el número de sumandos. Su fórmula matemática es la siguiente:

$$X' = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} A_i = \frac{A_1 + A_2 + ... + A_n}{n} \qquad \text{(Ec. 2)}$$

Donde *Ai* es el valor en magnitud del dato obtenido y *n* es el número de muestras totales.

(b) Desviación estándar: es una medida de la dispersión de los datos con respecto al promedio para un intervalo determinado.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(X_i - X')^2} \qquad \text{(Ec. 3)}$$

Donde *n* es el número de muestras totales, x_i es el valor en magnitud de la muestra *i* y *X´* se refiere al valor promedio del conjunto de muestras.

Sin embargo, el uso automático de estos parámetros no es recomendable. Es conveniente utilizar los mismos, sólo cuando la distribución de los datos es aproximadamente normal o los resultados darán valores dispersos. Es por ello que datos atípicos o ausentes deberán ser removidos del análisis en el caso de aplicar ambos parámetros.

Gráficos de datos

De igual manera es necesario considerar los valores atípicos o ausentes en el estudio estadístico, para ello se recomienda un análisis exploratorio de los datos con gráficos que permitan visualizar su estructura. El método grafico mayormente utilizado es el diagrama de caja y bigote, el cual permite describir simultáneamente, varias características importantes de un conjunto de datos dado, y por lo tanto poder estudiar la simetría de los datos, la dispersión y detectar valores atípicos.

El gráfico de caja y bigotes divide los datos en cuatro áreas de igual frecuencia, una caja central dividida en dos áreas por una línea vertical y otras dos por dos segmentos horizontales (bigotes), que parten del centro de cada lado vertical

de la caja. La caja central encierra el cincuenta por ciento central de los datos, ya que el extremo izquierdo de la misma representa el primer cuartil (Q1), y el derecho representa al tercer cuartil (Q3), esto demuestra que la caja representa el rango intercuartílico (IQR) (Ec.4).

$$IQR = Q_3 - Q_1 \qquad \text{(Ec. 4)}$$

El sistema dibuja la mediana como una línea vertical en el interior de la caja, si esta línea está en el centro de la caja, hay asimetría entre los datos. Partiendo del centro de cada lado vertical de la caja se dibujan los dos bigotes, uno hacia la izquierda y el otro hacia la derecha. Cada bigote posee a su vez la cuarta parte de las muestras.

Una utilidad importante del diagrama de caja es la detección de los valores atípicos en un intervalo de datos obtenidos. Estos datos atípicos se obtienen de la siguiente manera:

$$Q_1 - 1.5 \times IQR > Atípico\_Leve > Q_3 + 1.5 \times IQR \qquad \text{(Ec. 5)}$$

Para valores atípicos leves y

$$Q_1 - 3 \times IQR > Atípico\_Extremo > Q_3 + 3 \times IQR \qquad \text{(Ec. 6)}$$

Para valores atípicos extremos.

La figura 2.9, describe las partes de un gráfico de caja y bigotes.

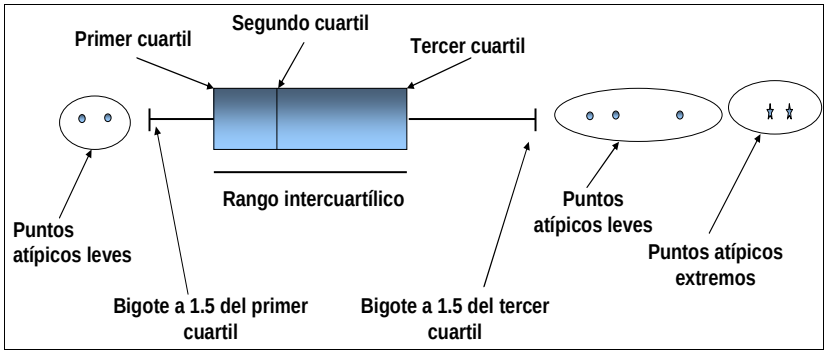


Figura 2. 9 Descripción de un gráfico de caja.

Fuente: [11]

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN DE RED DE ESTUDIO

La arquitectura de la red de Digitel está compuesta por 6 regiones principales que a su vez brindarán servicio a otras regiones secundarias abarcando la totalidad del país. Las regiones principales son: Cubo Negro (CBN), Barquisimeto (BTO), Maracaibo (MBO), Valencia (VAL), Puerto La Cruz (PLC) y Universidad Simón Bolívar (USB).

En la figura 3.1 se muestran las regiones principales conectadas entre sí, detallando sus componentes más importantes.

Las regiones CBN, BTO, MBO, VAL y PLC poseen diversidad de elementos de red, aunque en la figura se señalan sólo los elementos de mayor significado, estos son: los equipos BSC que controlarán las diversas BTS, pertenecientes a la red 2G y sus evoluciones (GSM, GPRS, EDGE) y los elementos RNC que controlarán sus respectivos Nodos B pertenecientes a la red 3G y su evolución 3.5G (UMTS, HSDPA).

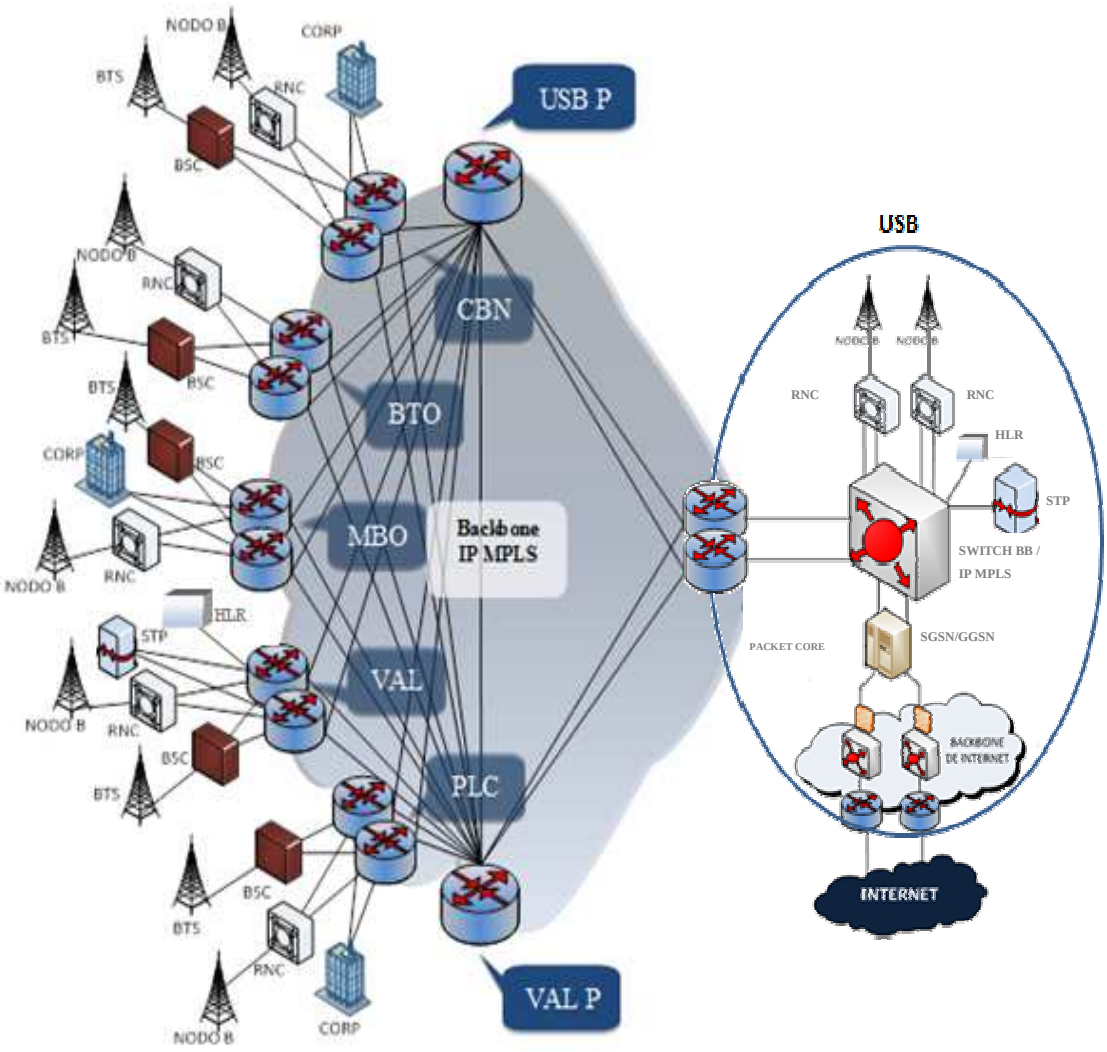


Figura 3. 1 Estructura de red de la Corporación Digitel.

Fuente: Corporación Digitel, 2011.

Cabe destacar que ninguna de las regiones antes mencionadas tendrá relación directa con el Backbone de Internet, es decir, no poseen un núcleo de paquetes con componentes SGSN/GGSN que harán posible el tráfico de datos entre los equipos móviles de la red. Así como a redes externas de Digitel. Para ello es indispensable que el tráfico de datos sea direccionado al núcleo USB (Figura 3.2).

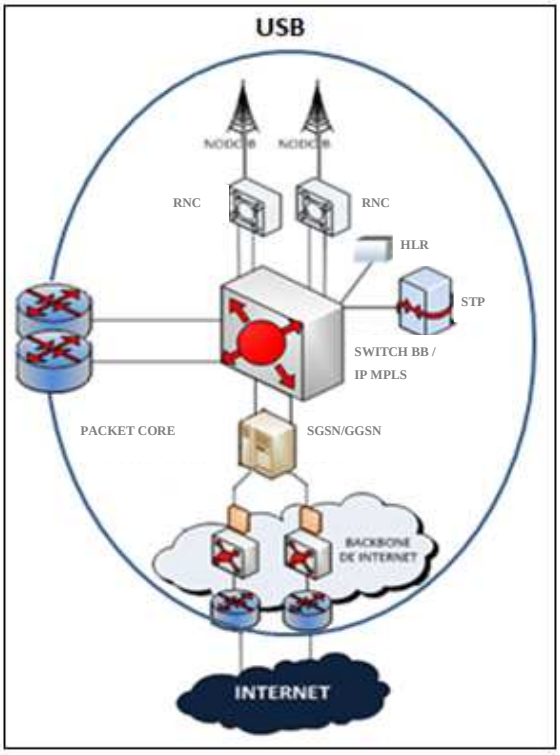


Figura 3. 2 Núcleo USB de la Corporación Digitel.

Fuente: Corporación Digitel, 2011.

El núcleo USB es el núcleo principal a analizar en esta investigación ya que posee los componentes y el camino para que cualquier usuario en la red pueda acceder a Internet, es decir, en el núcleo USB se ubica la puerta de salida hacia las redes ubicadas en el resto del mundo.

Profundizando en la configuración de la red del núcleo USB, se observa que todo el tráfico de paquetes proveniente de las otras cinco regiones del país es destinado a dos Routers de alta capacidad, los cuales transferirán los datos hacia un Switch BB IP, este Switch proporcionará conectividad con el núcleo de paquetes e Internet.

A su vez en este Switch están conectados dos elementos RNC que proporcionan servicio 3G y 3.5G a la zona de Caracas. También se encuentra un dispositivo STP el cual cumple funciones de gateway de señalización.

El núcleo de paquetes o Packet Core, contiene los elementos que interconectarán la red Digitel con el Backbone de Internet. Al Packet Core pertenecen el SGSN y el GGSN, este último establecerá el vínculo con el Backbone de Internet.

El Backbone de Internet es la parte final de la red de Digitel que a su vez pertenece a un gran conglomerado de redes, formando lo que comúnmente se denomina Internet. Esta red de redes está formada por gran número de Routers pertenecientes a numerosos ISP en el mundo, instituciones gubernamentales, universitarias y comerciales, entre otras; lo que hace posible la transmisión de datos a nivel mundial.

En la tabla 3.1 se observan los elementos principales de la arquitectura correspondiente al Backbone Internet de Digitel, compuesto por dos dispositivos de seguridad perimetral o Firewalls que se encargan de proteger la red de tráfico malicioso así como de ataques de navegación de servicios y detección de intrusos, entre otros. Dos Switch de distribución que permiten la agregación de diferentes plataformas para obtener el servicio de Internet, además dos Routers de borde encargados de la comunicación con los ISP y el resto de las redes de Internet.

Tabla 3. 1 Elementos principales de la red 3G de Digitel.

Dispositivo	Símbolo	Ubicación	Modelo existente en la red IP de Digitel	Funcionalidad
Nodo B		USB	Nokia\Ericsson	Comunicación con el usuario final o UE
		CBN	Nokia\Ericsson	
		BTO	Huawei	
		MBO	Huawei	
		VAL	Huawei	
		PLC	Nokia\ZTE	
RNC		USB	Nokia\Ericsson	Agregación de Nodos B y proporciona servicios de control y conmutación en la red de acceso.
		CBN	Nokia\Ericsson	
		BTO	Huawei	
		MBO	Huawei	
		VAL	Huawei	
		PLC	Ericsson\ZTE	
STP		USB\VAL	Huawei	Señalización Gateway
Switch BB IP/MPLS		USB	Huawei S8505	Conectividad con el núcleo de paquetes e Internet
GGSN\SGSN		USB	Ericsson	Establecer transferencia de paquetes a través de la red y hacia el Backbone de Internet.
Firewalls		USB	Cisco ASA	Dispositivo de seguridad
Switch Secundarios		USB	Huawei S8505	Conectividad entre el Firewall y el router de frontera
Router Frontera		USB	Huawei NE40E	Comunicación con los ISP y redes de Internet
Routers		USB	Huawei NE40E + NE80E	Enrutar paquetes de datos entre los distintos núcleos de la red
		CBN	Huawei NE40E	
		BTO	Huawei NE40E	
		MBO	Huawei NE40E	
		VAL	Huawei NE40E + NE80E	
		PLC	Huawei NE40E	

Fuente: Corporación Digitel, 2011.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

El proyecto realizado en el presente trabajo de grado se enfocó en el estudio de las redes 3.5G, comúnmente conocidas como redes con tecnologías de acceso HSDPA; así como también, en distintos tipos de herramientas que permitieran medir velocidades de transmisión y desempeño de la red de la Corporación Digitel por parte del usuario.

El tipo de investigación utilizada en el proyecto fue la científica de carácter exploratorio, ésta pretende dar una visión general respecto a una determinada realidad. Este tipo de investigación es normalmente utilizada cuando el tema en estudio ha sido poco explorado, es decir, se presenta cuando el autor posee escasos recursos para elaborar un estudio más profundo (Fidias, 2006).

El trabajo además de clasificarse como científico de carácter exploratorio también es considerado de tipo aplicado, ya que se apoya en la búsqueda de soluciones para mejorar la calidad de vida de una sociedad en específico y a su vez se considera de tipo documental, al estar enfocado hacia la revisión de distintas fuentes de información, tales como libros, manuales y documentos en la web.

4.1 Modelo de investigación científica

Existen numerosos métodos para la realización de una investigación de carácter científico, dependiendo del entorno y el tema a estudiar, así como de los recursos que se posean para realizar la misma.

Un modelo de referencia ampliamente utilizado es el modelo propuesto por Neil J. Salking en su libro “Métodos de la Investigación”, donde se aplican una serie de pasos generales, que dependiendo de la investigación se adaptarán de una u otra manera con el fin de lograr los objetivos. Los pasos utilizados se muestran a continuación:

4.1.1. Formulación del Problema

En esta etapa se formula el problema planteado mediante dos premisas previas:

(a) Selección de la idea o tema de investigación: El tópico principal de la investigación fue la medición de velocidades de transmisión que realizan los usuarios de la red Digitel a través de equipos con tecnología HSDPA.

(b) Investigación exploratoria: Es llevada a cabo luego de ser seleccionada la idea general a investigar.

Una vez cumplidas las premisas mencionadas anteriormente, la empresa se formuló un problema: Digitel presenta inconvenientes respecto a la percepción que poseen los usuarios en cuanto al desempeño de su red en determinado momento. Es importante resaltar que hasta esta etapa, el autor no ha formado parte de la investigación; es después de identificar la problemática cuando ocurre la primera interacción entre el autor y la empresa.

4.1.2. Factores que describen el Problema

El problema planteado en esta investigación, puede ser resumido mediante la siguiente descripción:

(a) La percepción que posee un usuario en cuanto al desempeño de la red a la que está conectado depende únicamente de los parámetros de velocidad de los canales downlink y uplink de la red de acceso, debido a que es en este tramo de la red donde se presenta mayor problema en la distribución del ancho de banda. Digitel garantiza poca congestión de tráfico dentro de su red núcleo.

(b) Debido a que la mayor parte de los usuarios requiere datos provenientes de la red, Digitel asigna una mayor importancia al tráfico del canal downlink que del canal uplink, sin embargo este último no debe ser descartado del todo, ya que en un futuro es posible la implementación de HSUPA.

(c) Digitel no posee una herramienta que muestre a sus usuarios velocidades de downlink y uplink en un equipo terminal.

(d) Además de no disponer de herramientas, Digitel no informa a sus usuarios un valor tentativo de velocidad que ofrece su red.

(e) Al no disponer de herramientas propias, los usuarios interesados en conocer su velocidad recurren a herramientas ajenas a Digitel.

(f) Al recurrir a herramientas ajenas a Digitel, junto con el desconocimiento de las velocidades otorgadas, se crea un ambiente general de desinformación que desprestigia a la empresa.

(g) La empresa pierde atractivo desde el punto de vista de su desempeño por parte de sus usuarios.

4.1.3. Formulación de las Hipótesis de Investigación

En este capítulo se presentan por primera vez las hipótesis ideadas por el autor para la posible solución al problema planteado.

Hipótesis 1: Con la implementación de una herramienta de medición en un punto dentro de la red de Digitel, las mediciones de velocidad de transmisión del canal downlink que experimenta el usuario presentarán un comportamiento más

cercano al valor teórico, en comparación a lo obtenido al usar herramientas ubicadas físicamente en Internet proporcionadas por entes ajenos a Digitel.

Hipótesis 2: Con la implementación de una herramienta de medición en un punto dentro de la red de Digitel, las mediciones de velocidad de transmisión que experimenta el usuario del canal downlink presentarán un comportamiento de menor dispersión, en comparación a lo obtenido al usar herramientas ubicadas físicamente en Internet proporcionadas por entes ajenos a Digitel.

Obsérvese que las hipótesis no contemplan las velocidades uplink, debido a que actualmente no es prioridad para Digitel este tipo de tráfico.

4.1.4. Investigación documental

Estuvo conformada a su vez por las siguientes fases:

(a) Redes que involucren tecnologías HSPA como método de acceso: Tal como fue descrito anteriormente, la red de la Corporación Digitel se basa en el estándar UMTS para brindar transporte de datos en sus redes de tercera generación. Se realizó una investigación bibliográfica de este estándar en sus principales versiones, así como también, de la tecnología de acceso a la red HSPA, principalmente HSDPA ya que es la única utilizada por Digitel actualmente.

(b) Red de paquetes de la Corporación Digitel: La documentación de la red de paquetes de la Corporación se realizó con ayuda del personal de apoyo de la empresa. Las coordinaciones de Transporte IP y Optimización RF brindaron información de carácter confidencial con el fin de ampliar los conocimientos del autor respecto a la red de estudio. La información proporcionada se detalló en el Capítulo III del presente informe.

(c) Funcionamiento general de herramientas de medición de velocidades: Esta documentación jugó un papel importante en la fase experimental del proyecto. Estuvo condicionada al tipo de aplicación utilizada y regida completamente a través de documentos web.

(d) Herramientas de uso secundario: Se enfocó en la obtención de información de aplicaciones que ayudaron a obtener un mayor conocimiento de las mediciones, entre las que se pueden mencionar el detector de paquetes Wireshark y el software estadístico SPSS. Además, comprendió todo lo referente al estudio de las aplicaciones IIS y Apache.

(e) Análisis de datos a través de técnicas estadísticas: Cumplió un papel determinante en el análisis de los resultados finales. Se basó en la investigación de métodos de estadística descriptiva.

4.1.5. Recopilación de datos experimentales

Después de realizada la investigación, necesaria tanto en el estudio de las redes estándar como en la red específica de la empresa, se ejecutó la parte práctica del trabajo. En ésta se centra la mayor parte del estudio debido a que se realiza la búsqueda de todos los datos que servirán para la comprobación o refutación de las hipótesis planteadas. Estuvo conformada por todas las fases en donde se llevó a cabo la experimentación para el logro de los resultados; éstas son indicadas a continuación:

(a) Evaluación de la arquitectura de la red Digitel con el fin de localizar un nodo óptimo para la colocación de herramientas de medición: La experimentación en esta fase estuvo basada en la investigación documental antes descrita. Se realizó un estudio exploratorio de los posibles sectores en la red donde existe la posibilidad de colocación y se evaluaron los grados de factibilidad humana y técnica en cada uno de ellos.

(b) Recopilación de distintos tipos de herramientas de medición: La recolección estuvo basada en la documentación del funcionamiento de herramientas de medición antes mencionado. Se recopilaron herramientas por medio de motores de búsqueda en la web, formando un grupo total de observación.

(c) Descarte y selección de herramientas de medición: Se descartaron y seleccionaron herramientas del grupo total de muestras recolectadas de acuerdo a diversas premisas. Las herramientas seleccionadas se dividieron en dos grupos:

- Grupo I: Conformado por herramientas manipulables por parte del autor capaz de alojarse en un equipo servidor de la empresa.
- Grupo II: Conformado por herramientas no manipulables por parte del autor y donde la única forma de acceder a ellas es por medio de la página web alojada en un servidor de Internet.

(d) Realización de pruebas con el primer grupo de herramientas: La realización de las pruebas estuvo dividida a su vez en varias etapas:

- Elaboración de pruebas piloto con el fin de verificar el funcionamiento de las herramientas y obtener mayor conocimiento de las mismas.
- Ubicación de equipos Nodos-B para realización de pruebas definitivas.
- Definición de intervalos de tiempo para la realización de pruebas definitivas.
- Elaboración de pruebas definitivas.
- Observación de resultados.

e) Análisis estadístico de resultados del primer grupo: Una vez concluida la fase anterior, se procede al análisis de los resultados obtenidos mediante técnicas estadísticas, con los parámetros media aritmética (promedio), desviación estándar y diagramas de caja.

f) Relación entre los datos obtenidos y el desempeño de la red Digitel: En esta fase Digitel proporcionó datos referentes al número de usuarios en su red durante los intervalos de medición y se realizó un análisis del desempeño de la red durante los mismos.

g) Selección del mejor intervalo de medición de acuerdo a los parámetros estadísticos estudiados: Se procedió a la escogencia del intervalo de medición en donde tanto las herramientas evaluadas como la red obtuvieran un mejor desempeño.

h) Elaboración de pruebas con el grupo II de herramientas de medición: En esta fase las pruebas se acoplaron a las mejores condiciones o mejores escenarios en donde el primer grupo de herramientas logró resultados más atractivos. Una vez descubierto este escenario, se procedieron a realizar las pruebas de medición en este segundo grupo para luego obtener un nuevo conjunto de valores de velocidades downlink y uplink.

i) Análisis estadístico de resultados del segundo grupo: Al igual que lo planteado para el primer grupo de medición y concluida la fase anterior, se procedió al estudio estadístico de los resultados obtenidos mediante el grupo dos, empleando métodos de estadística descriptiva para así finalizar la recolección de los datos que permitirán la verificación o refutación de las hipótesis planteadas.

4.1.6. Comprobación de las Hipótesis Planteadas.

Posterior a la recolección y análisis de la totalidad de los datos, se buscó verificar que las hipótesis planteadas fuesen correctas por medio del análisis de los resultados obtenidos.

4.1.7. Planteamiento de Nuevas Teorías, Formulación de Nuevas Interrogantes

Debido a la obtención de nuevos conocimientos con respecto al problema planteado, es lógico que cada vez más se logre perfeccionar u obtener un mejor dominio del mismo, por lo tanto, es normal que se planteen interrogantes adicionales respecto al tema en cuestión, ya sea por parte de la Corporación Digitel o del propio autor. En el presente informe, el autor mostró sus recomendaciones de manera tal que se originen nuevas teorías y se formulen preguntas a partir de las mismas en investigaciones futuras.

4.1.8. Elaboración de Conclusiones Finales

A partir de toda la información recopilada, el autor señaló su punto de vista en la investigación, creando una opinión de los detalles más importantes.

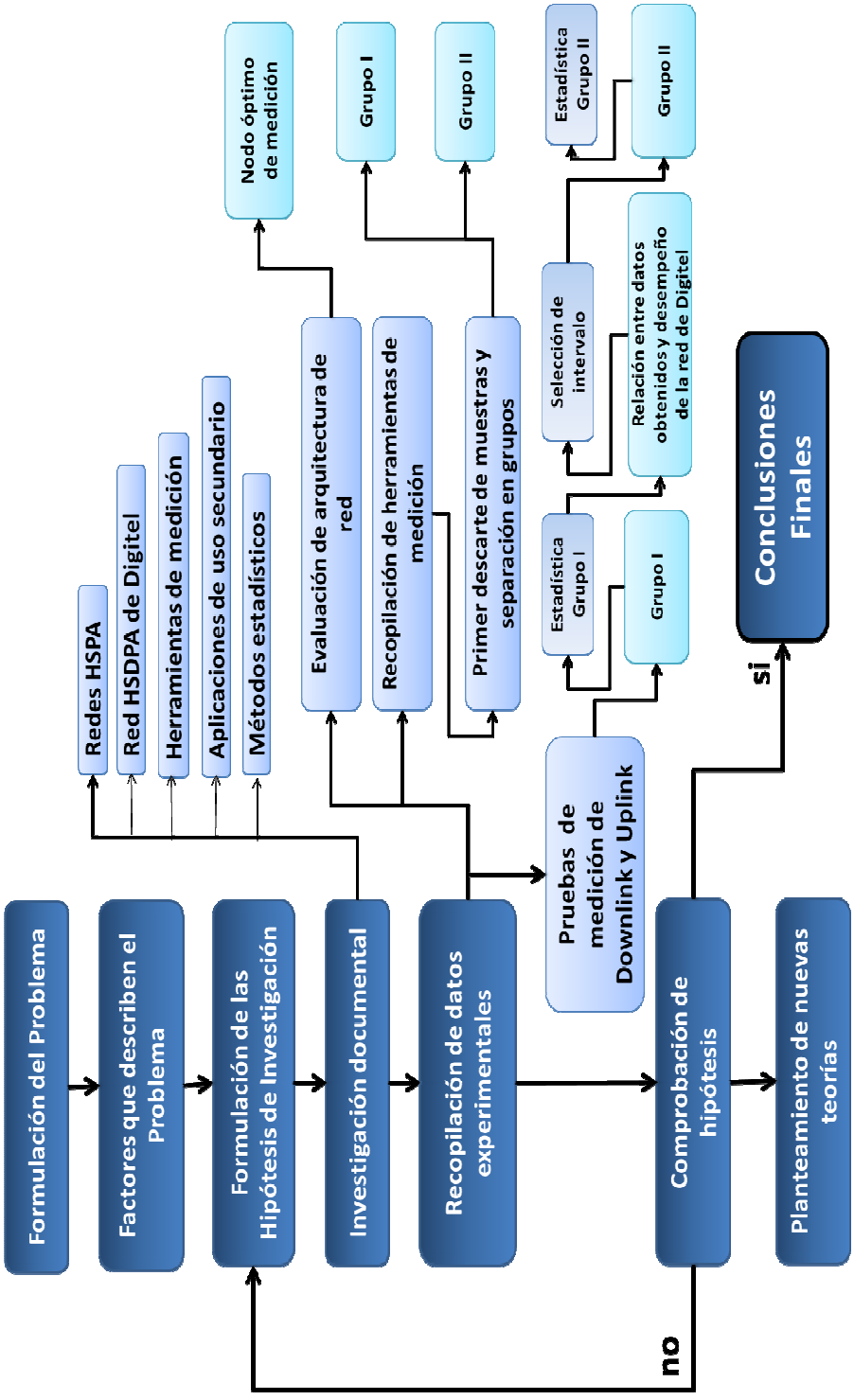


Figura 4. 1 Metodología de trabajo

Fuente: Autor, 2011.

4.2 Herramientas y equipos a utilizar

Como recursos disponibles para la realización del presente estudio se listan: Computadora personal, documentación técnica, equipos de medición, acceso a la infraestructura existente y asesoría del personal autorizado.

Entre los equipos utilizados durante la realización del presente estudio se encuentran:

(a) Computadores para realización de pruebas.
(b) Acceso a Internet: Modem BAM 3G Huawei E1552
(c) Software detector de trafico Wireshark
(d) Software estadístico SPSS 20.0.0, versión de prueba
(e) Software servidor Apache, versión 2.2.17
(f) Software servidor IIS, versión 5.1 para Windows XP Professional

4.3 Análisis de factibilidad

El proyecto se realizó en las instalaciones de la Corporación Digitel C.A, específicamente en el Departamento de Transporte IP, el cual se encuentra ubicado en el Centro Banavén, caracas, Venezuela. Además de la sede ubicada en la Universidad Simón Bolívar (USB).

Para la realización del presente trabajo, la Corporación Digitel se hizo responsable de suministrar el espacio físico, material y asesoramiento técnico necesario para el desarrollo del proyecto. Con lo enunciado anteriormente se afirma que los objetivos y actividades requeridas para este trabajo son totalmente factibles.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Evaluación de la arquitectura de la red Digitel con el fin de localizar un nodo óptimo para la colocación de herramientas de medición.

La primera fase práctica dentro de esta investigación, estuvo ligada a la evaluación de la arquitectura actual de la red de Digitel con la finalidad de ubicar un nodo dentro de ésta y poder llevar a cabo la realización de la primera fase de pruebas, es decir, las pruebas realizadas con aplicaciones que pueden ser alojadas dentro de la red.

Tal como se mencionó en la metodología de estudio, la ubicación del nodo óptimo en la red Digitel para realizar las pruebas estuvo condicionada a dos tipos de factibilidad: factibilidad humana y factibilidad técnica.

La figura 5.1 muestra la zona donde se cumplen ambos tipos de factibilidad, notando que la misma pertenece al Backbone de Internet, resaltándola como el punto de ubicación del nodo escogido para la colocación del equipo servidor.

La razón de escogencia del nodo en esta zona se debe a los siguientes factores:

(a) No es posible conectar el equipo servidor en algún nodo anterior al equipo SGSN, ya que como se explicó anteriormente, el SGSN es el elemento encargado de la transmisión de paquetes de datos en la red. Esta transferencia de información se realiza mediante el protocolo GTP, transportando todos los datos por

un túnel virtual creado por el mismo. Por lo tanto, sin la participación del equipo SGSN no es posible la transmisión de datos de ningún tipo entre dos equipos terminales.

(b) El hecho de conectar el equipo servidor antes del equipo GGSN implicaría la necesidad de poseer una dirección IP privada o Corporativa, lo cual restringe el acceso únicamente a trabajadores de la empresa. Esto es necesario para todos los equipos ubicados antes del Backbone de Internet, principalmente para fines de seguridad, por lo tanto la factibilidad de carácter humano es nula.

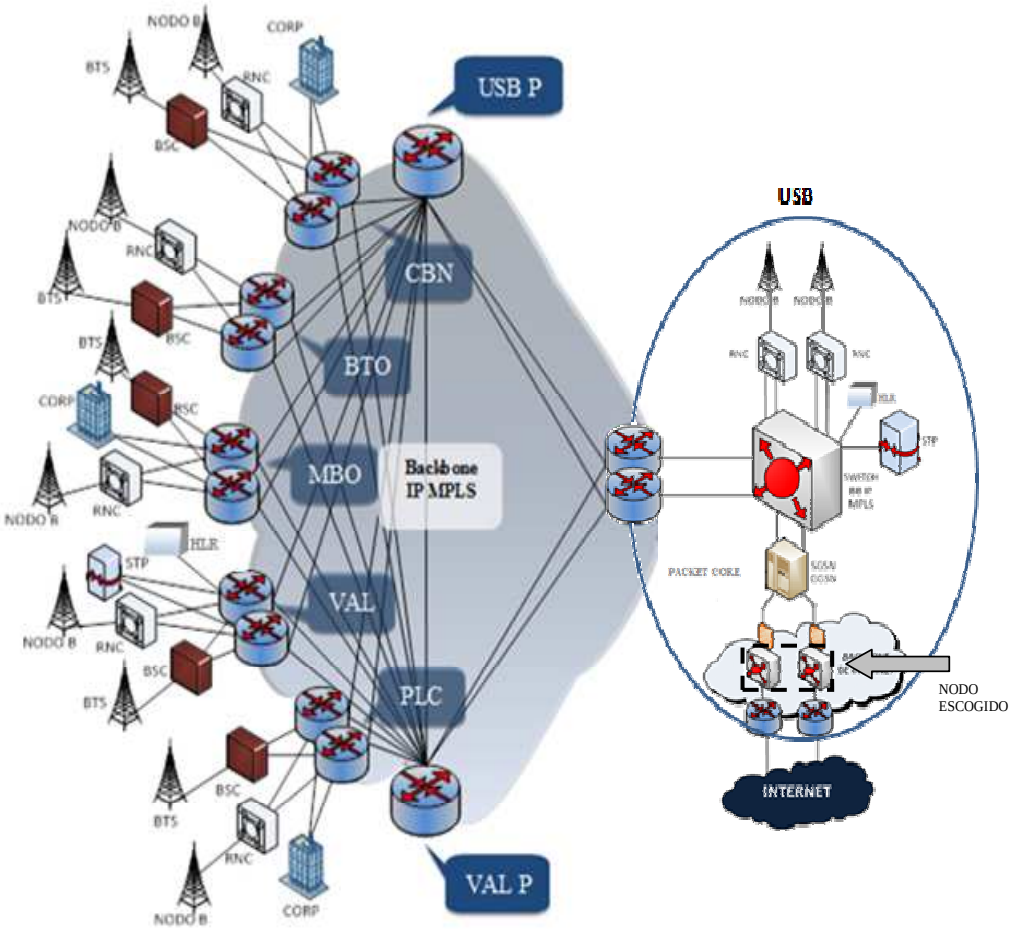


Figura 5. 1 Ubicación del Nodo de Medición.

Fuente: Autor, 2011.

En referencia a la escogencia del punto más óptimo dentro del Backbone de Internet de Digitel se observa que el grado de factibilidad humana es máximo, ya que cualquier usuario suscrito a la red podrá acceder sin inconvenientes a la herramienta de medición, sin embargo el grado de factibilidad técnica depende de las especificaciones del equipo considerado para la colocación. La tabla 5.1 muestra parte de las especificaciones de estos equipos, lo cual representará el factor definitivo a la hora de la escogencia entre ellos.

Tabla 5. 1 Especificaciones técnicas de equipos del Backbone de Internet.

Nombre del equipo	Modelo	Número de puertos disponibles para conexiones
Firewall	Cisco ASA	3
Switch	S8505	48
Router	NE80E Huawei	22

Fuente: Autor, 2011.

Tal como es observado en la tabla anterior, los tres elementos del Backbone de Internet poseen puertos Ethernet o interfaces para la conexión de equipos. El dispositivo Firewall posee sólo 3 puertos, el equipo Router de borde posee 22 puertos, mientras que el equipo Switch de borde posee 48 puertos, por esta razón es más factible la conexión a este último en comparación a los equipos anteriores, ya que no es viable para la empresa ocupar uno de los pocos puertos disponibles en los dispositivos Firewall y Router, que pudiera ser utilizado para otras funciones imprescindibles dentro de la red, como seguridad o tráfico. Por lo antes expuesto, se propone como nodo óptimo para la medición de velocidades al equipo Switch, tal como fue resaltado en la figura 5.1.

Es necesario mencionar nuevamente que las herramientas de medición utilizadas en el presente estudio son aplicaciones que operan bajo un equipo que cumpla las funciones de servidor, el cual podrá ser un equipo servidor diseñado

específicamente para entregar información a sus equipos clientes o un equipo de escritorio con una aplicación que ejecute las funciones de servidor para ese equipo. En este caso, se utilizó un equipo de escritorio, proporcionado por Digitel, el cual fue movilizado con ayuda de personal de la empresa hasta la ubicación escogida anteriormente.

Se utilizó un cable UTP Categoría 6 para conectar el equipo al Switch S8505 y poder establecer la conexión, posteriormente se colocaron las respectivas direcciones IP, mascara de subred y gateway por defecto. En la tabla 5.2 se resumen estos datos.

Tabla 5. 2 Configuración de equipos.

Especificación	USB
Dirección IP	190.121.237.254
Máscara de subred	255.255.255.252
Gateway predeterminado	190.121.237.253

Fuente: Corporación Digitel, 2011.

5.2 Recopilación de distintos tipos de herramientas de medición

En base a la metodología de estudio, se seleccionaron distintas aplicaciones luego de escoger el nodo de medición dentro de la red de Digitel, es decir, fueron recolectadas páginas web que prestaran servicios de medición de velocidad de descarga y de subida en un periodo de tiempo dado. La totalidad de las páginas web recopiladas son mostradas en la tabla 5.3.

Tabla 5. 3 Tabla de páginas web recolectadas.

Dirección Web	Herramienta en la que se basa el sitio web para prestar el servicio	Ubicación de equipo servidor	Tecnología de Acceso
http://www.ookla.com/speedtest.php	Ookla net Metrics	Norteamerica	No especificado
http://www.ookla.com/trial.php	Ookla net Metrics	Servidor propio	No especificado
http://www.speedtest.net/	Ookla net Metrics	Mundial	No especificado
http://www.speakeasy.net/speedtest/	Ookla net Metrics	Norteamerica	No especificado
http://beta.speedtest.net/es/mini.php	Ookla net Metrics	Servidor propio	No especificado
http://speedtest.ifxnw.cl/	GPL v2	Chile	No especificado
http://www.bandwidthplace.com/	No especificado	Desconocida	No especificado
http://www.dslreports.com/speedtest?flash=1	No especificado	Norteamerica	xDSL
http://www.speed.io/index_en.html	Speedmeter	Reino Unido	No especificado
http://speedtest.gtdinternet.com/	Ookla net Metrics	Desconocida	No especificado
http://www.internetfrog.com/mypc/speedtest/	No especificado	Desconocida	No especificado
http://speedtest.neotel.co.za/	Ookla net Metrics	Colombia	No especificado
http://www.testsdevelocidad.es/	Ookla net Metrics	España	No especificado
http://speedtest.claro.com.sv/	Ookla net Metrics	El Salvador	No especificado
http://www.speed.com.do/	Ookla net Metrics	Rep Dominicana	No especificado
http://www.adsltest.com.uy/	Ookla net Metrics	Uruguay	No especificado
http://testvitesse.videotron.ca/index-en.html	Ookla net Metrics	Francia	No especificado
http://www.ozspeedtest.com/bandwidth-test/	No especificado	Australia	xDSL
http://washington-dc.speedtest.qwest.net/	Ookla net Metrics	Norteamerica	No especificado
http://www.broadbandspeedchecker.co.uk/	No especificado	Reino Unido	No especificado
http://www.myconnectionserver.com/download.html	MyConnection Server	Servidor propio	No especificado
http://us.mcafee.com/root/speedometer/test_0600.asp	Desconocida	Norteamerica	No especificado
http://www.vodafone.co.nz/broadband/speedtest/	Ookla net Metrics	Reino Unido	No especificado
http://speedtest.us.amnetdatos.net/	Ookla net Metrics	Norteamerica	No especificado
http://speedtest.shaw.ca/results	No especificado	Canada	No especificado
http://www.auditmypc.com/internet-speed-test.asp	Audit	Desconocido	No especificado
http://www.auditmypc.com/broadband-speed-test.asp	Audit	Servidor propio	No especificado
http://www.abeltronica.com/velocimetro/pt/?idioma=uk	Beltronica	Mundial	No especificado
http://speedtest.streamyx.com.my/index1.php?307474793	No especificado	Malasia	No especificado
http://reviews.cnet.com/internet-speed-test/	No especificado	Desconocida	No especificado
http://www.beelinebandwidthtest.com/espanol/	Beeline	Desconocida	No especificado
http://speedtest.edpnet.be/speedtest4.php	EDPnet	Desconocida	No especificado
http://bandwidth.com/tools/speedTest/	Ookla net Metrics	Norteamerica	No especificado
http://bm.speed.net.id/results.php	PT Speed	Desconocida	No especificado
http://www.tracert.org/bandwidth_meter/results.php	TraceRT	Desconocida	No especificado

Fuente: Autor, 2011.

Al finalizar la búsqueda, se obtuvo un total de treinta y cinco páginas Web, las cuales alojan aplicaciones de medición de velocidad entre un equipo terminal y un equipo servidor. La tabla mostrada anteriormente, resume las páginas web recopiladas indicando la dirección URL de las mismas, además de especificar el nombre de la herramienta utilizada en la medición, ubicación geográfica del servidor donde se aloja la aplicación y el tipo de tecnología con la cual es compatible. Estas características serán los factores de selección o descarte, así como de su clasificación en grupos.

5.3 Descarte y selección de herramientas de medición

Una vez definido el conjunto de páginas web a evaluar, se procedió a realizar un proceso de descarte, selección y clasificación de las herramientas de medición proporcionadas en cada página, para ello se tomaron en cuenta las siguientes premisas:

(a) Herramientas de carácter manipulable por parte del autor para realizar la experimentación serán clasificadas en el primer grupo de herramientas o grupo I. El termino manipulable indica que existe posibilidad de descarga, acceso a los archivos que lo conforman y lenguajes de programación.

(b) Herramientas de carácter no manipulable por parte del autor para realizar la experimentación serán clasificadas en el segundo grupo de herramientas o grupo II.

(c) Herramientas que posean la misma fuente de creación, en este caso, la misma empresa creadora, serán descartadas conservando sólo una de este tipo.

(d) Herramientas que indiquen explícitamente estar diseñadas para tecnologías distintas a HSPA serán descartadas, como por ejemplo xDSL.

En la tabla 5.4 se muestran las herramientas seleccionadas y clasificadas por grupos:

Tabla 5. 4 Grupo I y II de aplicaciones seleccionadas.

Grupo de aplicación	Dirección Web	Herramienta en la que se basa el sitio web para prestar el servicio	Ubicación de equipo servidor	Tecnología de Acceso
1	http://www.ookla.com/trial.php	Ookla net Metrics	Servidor propio	No especificado
	http://beta.speedtest.net/es/mini.php	Ookla net Metrics	Servidor propio	No especificado
	http://www.myconnectionserver.com/download.html	Visualware	Servidor propio	No especificado
	http://www.auditmypc.com/broadband-speed-test.asp	Audit	Servidor propio	No especificado
2	http://www.speedtest.net/	Ookla net Metrics	Mundial	No especificado
	http://speedtest.ifxnw.cl/	GPL v2	Chile	No especificado
	http://www.bandwidthplace.com/	Desconocida	Desconocida	No especificado
	http://www.speed.io/index_en.html	Speedmeter	Reino Unido	No especificado
	http://www.internetfrog.com/mypc/speedtest/	Desconocida	Desconocida	No especificado
	http://www.broadbandspeedchecker.co.uk/	Desconocida	Reino Unido	No especificado
	http://us.mcafee.com/root/speedometer/test_0600.asp	Desconocida	Norteamerica	No especificado
	http://speedtest.shaw.ca/results	Desconocida	Canada	No especificado
	http://www.auditmypc.com/internet-speed-test.asp	Audit	Desconocido	No especificado
	http://www.abeltronica.com/velocimetro/pt/?idioma=uk	Beltronica	Mundial	No especificado
	http://speedtest.streamyx.com.my/index1.php?307474793	Desconocida	Malasia	No especificado
	http://reviews.cnet.com/internet-speed-test/	Desconocida	Desconocida	No especificado
	http://www.beelinebandwidthtest.com/espanol/	Beeline	Desconocida	No especificado
	http://speedtest.edpnet.be/speedtest4.php	EDPnet	Desconocida	No especificado
	http://bm.speed.net.id/results.php	PT Speed	Desconocida	No especificado
	http://www.tracert.org/bandwidth_meter/results.php	TraceRT	Desconocida	No especificado

Fuente: Autor, 2011.

Para el primer grupo de herramientas de medición se recolectaron cuatro aplicaciones, las cuales están diseñadas para alojarse en servidores personales o manipulables, sin depender de la página Web que lo provee. Obsérvese que la herramienta Ookla Net Metrics®, comúnmente llamada Ookla®, se muestra dos veces en este grupo, lo cual no cumple con la tercera premisa de descarte mencionada anteriormente, sin embargo las mismas no fueron removidas del estudio. Esto se debe a dos factores:

(a) Las herramientas de este grupo son mucho más escasas de conseguir en la Web que las herramientas del segundo grupo.

(b) Las herramientas de este grupo son el tópico principal de esta investigación, por lo que mientras mayor número de aplicaciones de este tipo se disponga para el análisis, más opciones tendrá la empresa a la hora de tomar la decisión final.

Al acceder a las dos páginas web mencionadas, se observa que la primera dirección web corresponde a la página oficial de Ookla®, mientras que la segunda es una extensión de la misma que proporciona una herramienta llamada Speedtest Mini™, aunque de igual manera ésta basa su funcionamiento en Ookla® para realizar las mediciones. Los nombres SpeedTest Mini y Ookla, serán los utilizados de ahora en adelante en el presente informe al referirse a dichas herramientas.

Con respecto al segundo grupo de aplicaciones, fueron descartadas quince páginas web de las treinta y uno mostradas previamente en la tabla 6.2, resultando un total de dieciséis páginas para este grupo. Obsérvese que catorce de las treinta y un páginas recopiladas para este set de aplicaciones, trabajan con la misma herramienta de medición (Ookla Net Metrics) por lo tanto trece de estas páginas web fueron removidas del análisis. Por otra parte, dos de las páginas recolectadas fueron descartadas ya que las mismas especifican que sus aplicaciones están diseñadas para trabajar con conexiones que soporten tecnología xDSL, la cual no es compatible con la tecnología HSPA (tecnología de estudio).

5.4 Realización de pruebas con el primer grupo de herramientas

La realización de pruebas para este grupo de herramientas se consideró la etapa más importante en la investigación, es por ello que fueron estudiadas a mayor detalle en comparación a las aplicaciones del grupo II. Estuvo conformada a su vez por varias fases mostradas a continuación.

5.4.1 Elaboración de pruebas piloto.

El primer paso realizado en esta etapa correspondió a la instalación de las cuatro herramientas seleccionadas. Esta instalación se realizó a través de las páginas web indicadas en la tabla 6.3, en donde se descargaron los respectivos archivos que harán posible el funcionamiento de la herramienta.

Debido a que el equipo ubicado en el núcleo USB es un equipo PC de escritorio originalmente, fue necesario instalar aplicaciones adicionales que hicieran las funciones de servidor. Entre las más comunes para este tipo de requerimiento se analizaron las herramientas IIS y Apache. Esta última fue la escogida finalmente debido a que soporta cincuenta conexiones simultáneas al equipo, en comparación a las diez conexiones que soporta IIS.

Una vez realizada la instalación de las herramientas, se especificaron las direcciones URL de acceso. Estas direcciones son mostradas en la tabla 5.5, en donde además se indica si las mismas requieren instalación en una aplicación servidor así como el tiempo de licencia otorgado una vez que fue instalada la herramienta.

Tabla 5. 5 Direcciones URL de acceso al primer grupo de herramientas de medición.

Herramienta	Dirección URL	Tipo de licencia	Tiempo de expiración de licencia	Software Servidor
MyConnection Server	http:// 190.121.237.254:81/myspeed/admin	Comercial	15 Días	No
Ookla	http:// 190.121.237.254/digitelookla/index.html	Comercial	30 Días	Si
Speedtest Mini	http:// 190.121.237.254/digitelmini/index-php.html	Gratuita	No Aplica	Si
Audit	http:// 190.121.237.254/digitelaudit/index.html	Gratuita	No Aplica	Si

Fuente: Autor, 2011.

Es notable que dos de las herramientas del primer grupo de medición, MyConnection Server y Ookla, posean licencias de carácter comercial mientras que Speedtest Mini y Audit cuentan con licencias gratuitas. Las herramientas de carácter comercial proveen licencias de prueba con periodos de tiempo limitado, que permiten evaluar el funcionamiento de la misma, antes de tener que tomar una decisión que implique inversión de dinero.

Por lo antes mencionado, las pruebas estuvieron condicionadas a intervalos de tiempo de acuerdo a los periodos de licencia disponibles para las herramientas MyConnection Server y Ookla, por lo tanto, el tiempo de pruebas quedó definido en máximo quince días por ser el periodo de licencia más breve entre las herramientas analizadas.

Una vez logrado esto, se procedió a la realización de pruebas piloto con las cuatro herramientas. La finalidad de estas pruebas como se mencionó anteriormente fue la verificación del funcionamiento de las aplicaciones. Además, las pruebas fueron monitoreadas a través de la herramienta Wireshark, con el fin de adentrarse en el mecanismo de funcionamiento de las mismas, mediante sus protocolos utilizados y tamaños de archivos empleados, entre otros aspectos. Estas pruebas iniciales se realizaron sin tomar en cuenta la hora y el día de la medición, al no considerarse necesario.

Luego de la realización de pruebas piloto en las herramientas, se corroboró que las mismas funcionaran sin mostrar señales de error de ningún tipo. Además se observaron las siguientes características respecto a su funcionamiento:

(a) MyConnection Server® (MCS): Utiliza un único tamaño de datagrama para transmitir la información. Se basa en el protocolo UDP lo que conlleva a no requerir retransmisión de paquetes perdidos.

(b) Ookla® y Speedtest Mini™: Usan tamaños variables de archivos de datos los cuales se escogerán de acuerdo a una prueba inicial que se realiza internamente. Se basan en el protocolo TCP para transmitir su información, por lo tanto se requiere retransmisión de los paquetes. Trabajan con hilos paralelos de ejecución.

(c) Audit©: Se basa en el protocolo TCP para transmitir la información, utilizando un único tamaño de archivo. No es capaz de soportar hilos paralelos de ejecución.

5.4.2 Ubicación de equipos Nodos-B para realización de pruebas definitivas

Para la escogencia de los Nodos-B, fueron considerados los siguientes factores:

(a) Equipos Nodos-B en donde el autor pudiera acceder con relativa facilidad, sin comprometer su integridad física y con la menor cantidad de tiempo invertido para ubicarse en su zona de cobertura.

(b) Equipos Nodo-B en donde el autor tuviera la mayor disponibilidad de tiempo continuo en un mismo día para la realización de las pruebas.

Tomando en cuenta los factores antes descritos, se seleccionaron los siguientes Nodos-B:

(a) Equipo NODO-B CAFETAL NOKIA: Ubicado en la zona El Cafetal, Municipio Baruta, Edo Miranda. Fue seleccionado debido a que su zona de cobertura abarca la residencia del autor, lo cual hacia posible realizar mediciones a cualquier hora del día y en cualquier día de la semana. De este Nodo se recolectaron la mayoría de las muestras.

(b) Equipo NODO-B CUBONEGRO NOKIA: Ubicado en la zona Chuao, Municipio Chacao, Edo Miranda. Se seleccionó debido a que su zona de cobertura abarca la sede de la Corporación Digitel, en donde fueron elaboradas las labores de pasantía por parte del autor. Las mediciones realizadas en este nodo estuvieron restringidas a horarios laborales.

5.4.3 Definición de intervalos de tiempo para la realización de pruebas definitivas.

Definidos los equipos Nodos-B a evaluar, se procedió finalmente a la realización de las pruebas, con el fin de formar la población estadística de estudio. Esta población estuvo constituida por el número máximo de muestras posibles que se pudieran recolectar, intentando abarcar el mayor número de intervalos de tiempo en la mayor cantidad de días. La razón de esto, es simular de la mejor manera posible, el comportamiento del usuario promedio en la red, el cual tiene la posibilidad de acceder a la misma en cualquier momento.

Los intervalos de tiempo fueron conformados por bloques de tres horas continuas y aproximadamente dos o tres intervalos por día. En el caso del Nodo-B Cafetal los intervalos de tiempo fueron más dispersos que en el Nodo-B Cubo Negro, debido a que se disponía de la totalidad del espacio físico en cualquier momento del día, mientras que en el Nodo-B Cubo Negro las mediciones tendieron a realizarse en horarios del mediodía y tarde-noche únicamente.

El proceso de medición durante una hora se describe en el siguiente ciclo (figura 5.2), en donde se observa que éste tuvo una duración aproximada de quince minutos, abarcando una medición por herramienta.

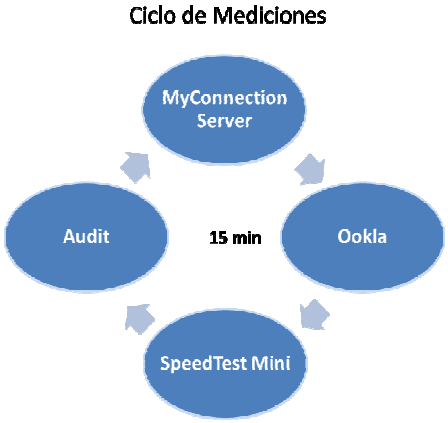


Figura 5. 2 Resumen de ciclo de mediciones.

Fuente: Autor, 2011.

5.4.4 Elaboración de pruebas definitivas.

Teniendo en cuenta los factores antes descritos, las tablas 5.6 - 5.9 resumen la totalidad de los resultados obtenidos para ambos Nodo-B, indicando los valores de velocidad downlink, uplink, duración de las pruebas y latencia, en el caso de que aplique.

Tabla 5. 6 Resultados de medición, grupo I. Nodo-B Cafetal, intervalos 1, 2 y 3.

1	Sabado 6/8/2011											Sabado 6/8/2011										
	MyConnection Server					Ookla						Speedtest Mini					Audit					
Hora	Downlink (Mbps)	Tiempo (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo (s)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo (s)	Latencia (ms)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo (s)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo (s)	Latencia (ms)	Tiempo TOTAL (s)
10:00 a.m	2,73	91,36	0,08	55,44	146,80	1,05	9,37	0,33	1,60	336	34,00	0,62	3,57	0,32	9,49	20,53	0,33	44,13	0,36	12,30	89	66,61
	2,69	63,39	0,16	53,51	116,90	1,04	4,84	0,11	5,29	332	30,24	0,61	11,14	0,32	3,28	21,61	0,32	48,73	0,30	12,37	98	71,08
	1,96	50,52	0,37	39,02	89,54	1,00	8,21	0,33	3,26	135	22,76	0,60	5,14	0,29	2,15	21,33	0,32	48,73	0,30	12,37	98	71,08
	1,82	73,23	0,24	52,97	126,20	0,60	14,16	0,34	2,02	320	38,72	0,98	9,11	0,27	5,43	23,19	0,32	47.71	0,35	12,63	88	70,56
11:00 a.m	2,74	66,82	0,37	73,62	140,44	1,03	7,74	0,33	2,32	82	20,66	1,02	10,70	0,32	4,23	23,16	0,33	44,11	0,35	13,00	87	67,52
	2,36	57,52	0,24	50,59	108,11	0,61	13,85	0,33	10,17	92	34,93	1,00	12,09	0,12	6,54	26,89	0,32	48,24	0,35	12,42	88	70,79
	1,98	64,92	0,25	53,26	118,18	0,97	8,53	0,30	1,94	84	28,24	1,00	9,60	0,33	4,93	22,85	0,33	48,36	0,34	12,48	90	70,51
	2,31	49,68	0,32	45,08	94,76	1,02	8,05	0,13	11,43	84	30,13	1,07	12,11	0,11	4,92	25,97	0,32	47,97	0,12	12,36	97	70,42
12:00 p.m	1,84	68,15	0,36	69,71	137,86	0,62	7,00	0,31	2,13	323	32,94	1,01	4,78	0,33	3,32	16,23	0,28	54,60	0,35	12,24	108	76,49
	1,54	88,33	0,24	61,21	149,54	0,61	14,09	0,33	2,01	314	39,38	1,00	10,10	0,11	6,69	26,37	0,32	48,42	0,35	12,41	95	71,30
	2,73	62,77	0,36	53,21	115,98	0,61	13,87	0,30	2,17	327	38,72	0,62	7,12	0,28	5,18	19,37	0,31	49,21	0,26	12,22	97	71,75
	2,35	104,09	0,35	55,76	159,85	0,64	6,69	0,34	2,18	350	31,16	0,62	5,38	0,32	3,31	22,36	0,32	44,86	0,36	12,53	96	67,41
2	Sabado 6/8/2011											Sabado 6/8/2011										
	MyConnection Server					Ookla						Speedtest Mini					Audit					
Hora	Downlink (Mbps)	Tiempo (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo (s)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo (s)	Latencia (ms)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo (s)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo (s)	Latencia (ms)	Tiempo TOTAL (s)
5:00 p.m	2,59	42,27	0,37	70,04	112,31	0,61	7,15	0,35	6,98	354	28,48	0,60	4,81	0,35	9,49	22,75	0,31	46,91	0,36	12,29	97	69,32
	2,45	81,32	0,37	69,24	150,56	0,62	13,90	0,36	8,31	103	33,25	0,59	5,67	0,33	1,85	14,79	0,29	49.49	0,28	14,36	103	71,46
	1,46	81,87	0,32	49,39	131,26	1,01	7,99	0,23	5,65	89	25,06	0,55	4,92	0,35	7,44	21,44	0,31	46.57	0,34	12,18	102	68,90
	1,78	70,80	0,36	68,59	139,39	0,97	8,43	0,34	1,85	94	20,99	0,62	2,89	0,35	8,46	19,03	0,31	45,94	0,37	12,36	94	68,20
6:00 p.m	1,91	78,10	0,37	75,49	153,59	0,98	8,49	0,28	3,54	140	22,89	0,95	4,78	0,33	5,60	19,55	0,29	52,56	0,34	12,27	103	74,26
	2,28	47,61	0,24	46,83	94,44	0,95	8,76	0,29	3,06	140	23,50	0,92	5,94	0,26	3,31	19,48	0,30	51,55	0,30	12,47	101	73,78
	0,70	109,00			109,00	0,57	14,94	0,35	6,21	87	33,02	0,95	4,86	0,32	5,29	19,40	0,29	52,01	0,34	12,37	97	74,28
	2,63	91,65	0,25	56,27	147,92	0,95	9,92	0,34	7,18	143	27,30	0,95	4,98	0,26	3,79	17,71	0,29	52,63	0,35	12,22	104	74,86
7:00 p.m	2,58	77,56	0,24	64,83	142,39	0,96	9,06	0,30	3,02	148	22,69	0,61	10,02	0,26	5,60	29,83	0,31	50,38	0,35	12,20	101	72,18
	2,49	74,37	0,36	51,54	125,91	0,98	9,42	0,34	4,68	138	25,32	0,92	11,07	0,10	6,94	27,88	0,31	46,93	0,36	13,48	94	70,12
	2,60	50,85	0,28	55,80	106,65	0,97	13,51	0,26	1,76	140	21,68	0,97	4,88	0,26	3,67	17,11	0,31	48,89	0,13	12,47	99	71,22
	2,74	56,91	0,37	67,36	124,27	0,58	7,34	0,34	5,70	84	28,99	0,95	4,52	0,30	5,37	19,20	0,28	54,30	0,33	12,54	106	76,43
3	Domingo 7/8/2011											Domingo 7/8/2011										
	MyConnection Server					Ookla						Speedtest Mini					Audit					
Hora	Downlink (Mbps)	Tiempo (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo (s)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo (s)	Latencia (ms)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo (s)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo (s)	Latencia (ms)	Tiempo TOTAL (s)
7:00 a.m	2,58	71,30	0,24	55,36	126,66	0,61	7,08	0,35	6,77	312	26,82	1,05	4,60	0,25	6,10	19,93	0,31	46,17	0,35	12,23	99	68,55
	2,74	81,01	0,25	60,70	141,71	0,97	8,52	0,33	1,93	121	20,96	0,97	4,78	0,26	3,94	17,25	0,31	45,77	0,35	6,37	99	68,10
	2,79	79,09	0,24	41,39	120,48	0,99	8,68	0,35	10,47	85	29,46	0,97	5,03	0,32	3,54	17,33	0,31	46,41	0,35	12,33	91	68,47
	2,42	90,30	0,36	50,42	140,72	1,01	8,19	0,33	3,19	138	22,44	1,04	9,44	0,11	7,91	26,86	0,32	48,15	0,36	12,48	88	70,64
8:00 a.m	2,46	106,60	0,27	55,04	161,64	0,61	7,18	0,33	12,56	364	33,72	0,97	4,74	0,26	5,74	19,23	0,32	48,36	0,24	12,51	90	70,59
	2,46	94,23	0,36	66,23	160,46	0,98	8,47	0,33	3,31	84	22,81	1,05	4,73	0,33	3,38	16,73	0,31	49,20	0,36	12,35	97	71,30
	2,17	56,83	0,36	53,50	110,33	0,61	13,99	0,34	8,62	85	33,49	0,94	4,68	0,26	5,63	19,67	0,32	47,95	0,35	12,47	88	70,70
	2,77	91,61	0,37	80,22	171,83	1,00	8,81	0,28	3,60	146	23,71	0,63	3,08	0,35	9,05	25,62	0,30	51,47	0,32	12,51	103	73,47
9:00 a.m	2,65	75,54	0,24	67,75	143,29	0,59	7,33	0,36	7,78	317	28,98	1,00	4,88	0,26	3,92	17,01	0,31	47,58	0,28	12,78	101	70,15
	2,76	67,17	0,25	53,93	121,10	0,98	8,49	0,33	4,35	140	23,07	1,06	10,29	0,10	6,82	25,84	0,32	48,93	0,22	12,68	95	71,09
	1,93	91,44	0,25	42,74	134,18												0,31	46,87				46,87
						1,02	8,01	0,33	3,82	1,02	22,91	0,98	10,01	0,10	6,74	26,01	0,47	33,60	0,30	12,56	57	56,62

Fuente: Autor, 2011.

Tabla 5. 7 Resultados de medición, grupo I. Nodo-B Cafetal, intervalos 4, 5 y 6.

4	Domingo 7/8/2011											Domingo 7/8/2011										
	MyConnection Server					Ookla						Speedtest Mini					Audit					
Hora	Downlink (Mbps)	Tiempo (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo (s)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo (s)	Latencia (ms)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo (s)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo (s)	Latencia (ms)	Tiempo TOTAL (s)
2:00 p.m						0,57	7,97	0,33	8,36	318	33,13	0,62	6,52	0,07	11,83	26,42	0,32	48,43	0,35	12,51	90	71,18
	2,09	71,73	0,22	51,44	123,17	0,90	9,62	0,34	2,86	85	23,09	0,99	11,38	0,10	8,75	28,79	0,30	48,72	0,35	12,43	100	71,24
	2,20	57,00	0,25	68,37	125,37	0,94	10,08	0,26	3,15	156	25,22	0,96	12,09	0,10	7,63	29,48	0,32	48,36	0,36	12,43	91	70,55
3:00 p.m	2,60	73,66	0,32	55,64	129,30	0,96	9,00	0,26	5,53	135	25,51	0,87	5,22	0,25	3,42	14,73	0,32	48,36	0,36	12,06	89	70,83
	2,62	125,00	0,25	49,48	174,48	0,96	9,06	0,29	4,03	139	23,88	1,04	10,66	0,33	4,80	24,59	0,30	50,91	0,35	12,40	95	73,08
	2,76	52,29	0,37	63,85	116,14	0,97	9,32	0,33	3,21	134	23,54	1,04	5,19	0,22	3,54	13,45	0,30	52,26	0,35	12,30	95	74,51
						0,63	7,15	0,33	10,40	312	30,47	0,58	3,44	0,34	5,95	24,64	0,32	45,39	0,36	14,30	95	67,88
4:00 p.m						0,97	8,60	0,11	7,11	89	26,92	0,98	10,18	0,11	7,13	25,29	0,32	47,89	0,36	12,72	88	70,60
	2,76	69,48	0,24	51,11	120,59	0,99	8,34	0,12	5,99	93	24,87	0,98	5,08	0,24	6,11	19,96	0,31	49,49	0,35	12,33	97	71,68
	2,75	76,46	0,36	67,47	143,93	1,01	8,18	0,33	3,22	86	22,65	0,52	8,47	0,35	7,74	28,59	0,32	48,57	0,23	12,43	99	71,00
	2,74	76,49			76,49	0,99	8,38	0,22	3,85	142	26,02	1,03	12,05	0,11	6,54	27,76	0,31	49,32	0,36	12,58	100	72,28
5	Lunes 8/8/2011											Lunes 8/8/2011										
	MyConnection Server					Ookla						Speedtest Mini					Audit					
Hora	Downlink (Mbps)	Tiempo (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo (s)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo (s)	Latencia (ms)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo (s)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo (s)	Latencia (ms)	Tiempo TOTAL (s)
2:00 a.m	2,76	78,65	0,36	64,34	142,99	1,00	8,23	0,33	5,33	137	24,69	0,97	3,25	0,33	3,63	12,93	0,31	50,50	0,36	6,34	98	60,15
	2,80	84,58	0,36	92,83	177,41	1,01	8,05	0,33	3,41	82	22,40	0,97	4,83	0,06	12,14	25,62	0,31	51,87	0,33	13,86	99	76,52
	2,12	70,85	0,32	37,55	108,40	0,96	8,54	0,26	5,02	142	30,00	0,60	5,18	0,31	10,48	29,56	0,31	49,51	0,35	12,37	96	71,67
3:00 a.m	2,77	107,19	0,35	68,03	175,22	0,60	7,28	0,31	5,38	333	31,68	0,61	6,43	0,08	18,46	30,19	0,57	24,99	0,13	22,42	47	56,34
	2,73	82,60	0,35	68,27	150,87	0,61	7,24	0,31	5,35	317	35,86	1,02	12,49	0,33	4,93	25,40	0,32	48,44	0,35	12,35	93	70,87
	2,79	59,12	0,25	79,45	138,57	0,94	9,36	0,33	2,12	133	28,57	1,00	4,91	0,07	15,69	29,99	0,32	47,74	0,28	12,64	86	70,32
	2,80	96,77	0,36	75,14	171,91	0,91	9,00	0,06	11,39	134	34,39	0,93	4,78	0,07	20,29	34,15	0,31	50,22	0,33	13,07	101	73,57
	2,78	85,70	0,36	50,56	136,26	1,02	8,18	0,25	5,27	137	24,56	1,06	11,69	0,10	6,16	26,84	0,30	50,84	0,29	12,06	101	72,88
4:00 a.m	2,79	84,76	0,36	74,40	159,16	0,98	8,38	0,11	5,62	138	32,65	0,98	10,14	0,11	6,44	20,92	0,31	49,54	0,33	10,95	98	72,27
	2,76	97,96	0,37	66,65	164,61	1,01	11,61	0,33	2,20	135	33,85	0,99	13,29	0,09	10,14	32,20	0,30	51,56	0,35	12,65	100	73,97
	2,76	52,82	0,25	85,28	138,10	0,61	6,94	0,33	0,85	322	33,22	0,96	5,02	0,33	3,21	17,04	0,31	45,50	0,34	12,57	99	68,91
	2,75	67,76	0,33	73,24	141,00	1,00	8,72	0,12	5,99	89	28,63	0,61	6,09	0,26	2,16	15,72	0,32	48,77	0,36	12,80	97	71,81
6	Lunes 8/8/2011											Lunes 8/8/2011										
	MyConnection Server					Ookla						Speedtest Mini					Audit					
Hora	Downlink (Mbps)	Tiempo (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo (s)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo (s)	Latencia (ms)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo (s)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo (s)	Latencia (ms)	Tiempo TOTAL (s)
9:00 p.m	2,65	56,25	0,27	66,00	122,25	0,51	9,50	0,35	5,79	330	35,97	0,86	11,17	0,12	9,91	32,41	0,31	46,96	0,27	12,57	100	69,43
	2,63	94,56	0,37	64,58	159,14	0,59	8,33	0,35	9,28	86	34,74	0,60	7,75	0,09	11,37	26,06	0,27	58,08	0,35	12,14	113	78,93
	2,27	84,27	0,35	69,80	154,07	0,57	7,94	0,24	11,81	334	36,26	0,90	9,16	0,28	5,09	19,41	0,27	56,70	0,24	12,28	115	78,66
	2,25	98,44	0,37	71,08	169,52	0,61	6,91	0,34	2,19	336	32,80	0,58	13,95	0,32	2,36	26,63	0,27	56,32	0,35	11,83	108	78,11
10:00 p.m	2,64	64,70	0,37	68,85	133,55	0,93	9,13	0,08	18,04	109	39,19	0,56	12,68	0,32	3,06	24,51	0,27	63,03	0,12	12,45	116	86,42
	2,36	77,78	0,36	70,25	148,03	0,81	11,99	0,32	7,11	135	38,30	0,93	11,15	0,32	4,84	28,66	0,39	37,07	0,31	11,93	72	59,14
	2,44	60,34	0,36	66,57	126,91	0,58	9,08	0,12	6,81	365	41,30	0,91	14,69	0,33	3,26	42,68	0,31	50,48	0,35	11,99	96	72,72
	2,61	72,84	0,36	50,84	123,68	0,51	18,62	0,35	8,81	87	41,30	0,59	7,87	0,33	6,54	22,45	0,29	53,31	0,21	12,52	107	77,41
11:00 p.m	2,63	84,42	0,36	86,07	170,49	0,62	6,87	0,28	2,16	338	29,79	0,78	8,81	0,29	5,50	36,11	0,30	52,65	0,28	12,48	95	73,84
	2,78	56,98	0,32	54,54	111,52	1,01	8,41	0,34	9,71	145	30,07	0,60	2,71	0,31	8,40	25,84	0,31	50,32	0,35	12,24	96	72,77
	2,76	84,29	0,37	67,61	151,90	0,32	13,54	0,20	19,85	384	56,61	1,02	8,57	0,18	2,71	26,41	0,30	50,61	0,35	12,09	101	72,91
	2,73	82,24	0,37	104,37	186,61	1,02	8,02	0,32	1,73	136	22,78	1,02	10,82	0,10	6,33	25,38	0,32	48,63	0,34	12,27	88	73,58

Fuente: Autor, 2011.

Tabla 5. 8 Resultados de medición, grupo I. Nodo-B Cubo Negro, intervalos 1 y2.

1	Lunes 8/8/2011											Lunes 8/8/2011										
	MyConnection Server					Ookla						Speedtest Mini					Audit					
Hora	Downlink (Mbps)	Tiempo DL (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo UL (s)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo DL (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo UL (s)	Tiempo TOTAL (s)	Latencia (ms)	Downlink (Mbps)	Tiempo DL (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo UL (s)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo DL (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo UL (s)	Tiempo TOTAL (s)	Latencia (ms)
03:00 p.m						0,61	13,94	0,11	7,15	48,00	358	1,01	8,16	0,11	6,91	24,33	0,31	49,55	0,29	12,37	77,89	100
	2,84	77,42			77,42	0,96	9,00	0,11	4,99	31,95	366	0,62	13,80	0,31	4,96	34,47	0,31	50,11	0,31	12,28	74,58	98
	2,69	77,35	0,36	66,85	144,20	0,64	7,68	0,12	5,61	28,46	103	0,61	7,65	0,12	5,72	21,57	0,32	49,02	0,31	12,38	82,50	82
	2,83	98,51	0,37	15,45	113,96	0,99	8,39	0,10	7,54	36,30	143	0,86	12,26	0,16	4,68	29,41	0,31	49,98	0,04	14,11	80,86	97
04:00 p.m	2,19	48,26			48,26	1,00	7,88	0,05	11,98	36,08	150	1,03	4,10	0,11	10,22	19,29	0,33	46,94	0,31	12,37	76,56	83
	2,57	85,94			85,94	0,62	13,77	0,11	6,79	46,79	359	1,02	8,23	0,12	4,88	25,67	0,33	47,71	0,32	12,46	76,38	88
	2,18	63,01			63,01	1,03	7,52	0,33	10,30	28,87	140	0,58	16,41	0,12	13,96	36,92	0,23	61,98	0,31	12,20	86,13	130
	2,87	56,11			56,11	1,02	7,47	0,22	6,18	25,55	113	0,60	7,36	0,35	10,05	19,95	0,32	45,17	0,34	12,26	67,74	89
05:00 p.m	2,79	62,98	0,35	11,55	74,53	1,02	7,95	0,12	11,27	35,63	154	1,09	5,07	0,08	15,01	30,36	0,48	35,72	0,33	12,55	61,66	62
	2,90	90,06	0,36	111,66	201,72	1,04	8,39	0,12	15,89	32,81	154	1,01	8,59	0,28	4,04	22,47	0,32	48,02	0,32	12,44	73,18	93
	2,52	84,54			84,54	0,53	18,48	0,11	4,67	42,37	114	1,05	9,30	0,05	13,27	33,16	0,27	63,33	0,33	12,44	86,08	112
						1,01	8,38	0,27	2,49	28,32	140	0,77	12,73	0,06	14,18	31,58	0,31	71,40	0,30	12,30	100,21	99
2	Martes 9/8/2011											Martes 9/8/2011										
	MyConnection Server					Ookla						Speedtest Mini					Audit					
Hora	Downlink (Mbps)	Tiempo DL (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo UL (s)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo DL (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo UL (s)	Tiempo TOTAL (s)	Latencia (ms)	Downlink (Mbps)	Tiempo DL (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo UL (s)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo DL (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo UL (s)	Tiempo TOTAL (s)	Latencia (ms)
11:00 a.m	1,76	85,51			85,51	0,98	8,92	0,04	18,54	51,80	352	0,96	9,69	0,07	11,95	34,39	0,28	54,32	0,29	12,26	82,46	108
	2,72	76,07	0,27	54,44	130,51	1,14	8,02	0,12	5,07	37,59	378	0,91	5,50	0,33	9,75	24,51	0,31	46,00	0,30	12,15	74,15	97
	2,87	61,00			61,00	1,03	8,11	0,05	11,73	39,43	327	0,59	7,09	0,12	6,54	17,82						
12:00 p.m	2,14	57,60			57,60	0,62	3,41	0,34	8,14	29,61	364	0,91	6.61	0,05	10,11	21,52	0,28	52,03	0,05	11,35	68,80	99
						0,62	7,42	0,24	5,33	30,06	364	1,04	4,20	0,12	6,89	16,44	0,47	50,51	0,32	14,93	79,68	52
	2,66	62,03			62,03	0,99	8,54	0,22	3,76	23,90	154	0,98	9,08	0,11	6,01	20,31	0,29	33,62	0,33	12,37	60,93	104
	2,67	77,31			77,31	1,03	7,84	0,20	5,26	24,06	152	0,60	15,73	0,35	6,86	27,92	0,32	53,49	0,22	11,78	68,50	86
01:00 p.m	2,58	83,91	0,37	74,50	158,41	0,61	6,92	0,34	8,09	29,12	356	0,95	10,28	0,25	5,76	20,92	0,26	48,47	0,32	12,60	74,88	114
	2,90	64,85	0,24	53,24	118,09																	

Fuente: Autor, 2011.

Tabla 5. 9 Resultados de medición, grupo I. Nodo-B Cubo Negro, intervalos 3,4 y5.

3	Miércoles 10/8/2011											Miércoles 10/8/2011										
	MyConnection Server					Ookla						Speedtest Mini					Audit					
Hora	Downlink (Mbps)	Tiempo DL (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo UL (s)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo DL (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo UL (s)	Tiempo TOTAL (s)	Latencia (ms)	Downlink (Mbps)	Tiempo DL (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo UL (s)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo DL (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo UL (s)	Tiempo TOTAL (s)	Latencia (ms)
03:00 p.m	2,82	78,95	0,20	46,96	125,91	0,93	9,54	0,34	2,70	27,06	153	0,96	9,17	0,33	4,86	24,14	0,30	50,77	0,17	11,23	74,24	96
						0,98	8,35	0,32	3,36	24,23	172	0,15	25,31	0,03	22,86	63,16						
						0,99	8,17	0,31	2,37	21,83	161	0,96	9,75	0,07	8,69	28,69	0,22	66,20	0,24	12,55	92,61	124
04:00 p.m						0,98	8,63	0,11	4,92	63,46	152						0,31	45,74	0,04	27,30	84,56	86
	1,10	47,31			47,31	0,56	7,98	0,16	5,64	34,69	378						0,30	79,06	0,03	46,31	125,39	97
	2,54	56,95	0,17	54,52	111,47	1,05	7,63	0,17	4,29	23,48	155	0,90	10,86	0,18	4,90	20,70	0,32	47,98	0,06	14,98	84,64	89
05:00 p.m	2,78	92,20	0,16	53,28	145,48	0,97	0,15	0,11	5,81	26,69	158	0,98	9.45	0,12	6,03	27,89						
						0,95	9,24	0,11	7,00	32,32	167	1,02	8,76	0,12	7,47	26,59	0,32	49,54	0,29	12,25	74,30	84
																	0,31	65,39	0,21	30,50	119,87	96
4	Viernes 12/8/2011											Viernes 12/8/2011										
	MyConnection Server					Ookla						Speedtest Mini					Audit					
Hora	Downlink (Mbps)	Tiempo DL (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo UL (s)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo DL (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo UL (s)	Tiempo TOTAL (s)	Latencia (ms)	Downlink (Mbps)	Tiempo DL (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo UL (s)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo DL (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo UL (s)	Tiempo TOTAL (s)	Latencia (ms)
01:00 p.m	2,77	103,84	0,28	53,89	157,73																	
						0,92	9,50	0,29	3,54	24,61	160	1,00	5,16	0,19	3,83	14,57	0,44	32,97	0,34	12,38	61,28	64
02:00 p.m																						
03:00 p.m	2,33	49,09			49,09																	
						0,97	8,68	0,11	7,14	27,17	151	0,58	7,47	0,11	10,39	22,66	0,25	57,53	0,33	12,33	80,50	114
5	Viernes 12/8/2011											Viernes 12/8/2011										
	MyConnection Server					Ookla						Speedtest Mini					Audit					
Hora	Downlink (Mbps)	Tiempo DL (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo UL (s)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo DL (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo UL (s)	Tiempo TOTAL (s)	Latencia (ms)	Downlink (Mbps)	Tiempo DL (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo UL (s)	Tiempo TOTAL (s)	Downlink (Mbps)	Tiempo DL (s)	Uplink (Mbps)	Tiempo UL (s)	Tiempo TOTAL (s)	Latencia (ms)
04:00 p.m																						
						0,96	8,99	0,11	6,88	34,69	150	0,98	10,38	0,11	5,62	21,04	0,25	53,18	0,33	26,34	85,05	114
05:00 p.m	2,61	93,43			93,43	1,01	8,46	0,11	7,23	27,28	160	1,12	4,93	0,20	6,36	19,92	0,28	54,12	0,35	13,03	76,56	100
	1,50	43,48			43,48																	
	2,81	75,82			75,82																	
	2,81	59,04			59,04	0,59	6,95	0,07	15,38	57,72	171	1,04	3,81	0,12	7,41	16,69						
06:00 p.m	2,57	77,53	0,02	70,12	147,65							0,51	6,37	0,30	4,70	18,28	0,49	32,33	0,28	12,38	57,72	53
						1,04	7,87	0,29	5,07	24,82	150											
	2,09	75,43	0,25	57,89	133,32	1,01	10,02	0,07	11,46	38,51	154	1,05	7,85	0,09	6,59	25,30	0,51	28,50	0,14	12,47	52,54	59
	2,41	54,45			54,45	0,95	11,71	0,09	6,98	35,35	156	1,04	7,92	0,32	2,33	20,86						

Fuente: Autor, 2011.

5.4.5 Observación de resultados.

De los resultados mostrados anteriormente fue posible observar tendencias, regularidades y las relaciones entre los resultados obtenidos para cada herramienta. En este sentido fue necesario emplear métodos estadísticos, principalmente descriptivos, que faciliten el análisis y la obtención de conclusiones mucho más robustas.

5.5 Análisis estadístico de resultados del primer grupo

En esta fase se analizan los resultados por medio de técnicas estadísticas descriptivas básicas, con el fin de un mejor entendimiento de los datos obtenidos. En las tablas 5.10 – 5.13 se muestran los valores promedio, desviación estándar y valores extremos para las velocidades downlink y uplink, así como los valores promedio de duración de la prueba para cada intervalo de tres horas. En la tabla 5.14 se analizan los mismos parámetros para la totalidad de los datos en cada Nodo-B.

Tabla 5. 10 Estadística descriptiva para las mediciones de Uplink, Downlink y tiempo total en el grupo I de aplicaciones. Nodo-B Cafetal, MSC y Ookla.

MyConnection Server											
Intervalo	Día	Horas	Downlink				Uplink				Tiempo Total
			Media	Desv. Std	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Std	Mínimo	Máximo	Media
1	Sábado	10am-1pm	2,25	0,40	1,54	2,74	0,28	0,09	0,08	0,37	125,35
2	Sábado	5pm- 8pm	2,18	0,59	0,70	2,74	0,32	0,05	0,24	0,37	129,88
3	Domingo	7am-10am	2,52	0,26	1,93	2,79	0,29	0,06	0,24	0,37	139,31
4	Domingo	2pm- 5pm	2,56	0,25	2,09	2,76	0,29	0,06	0,22	0,37	133,28
5	Lunes	2am-5am	2,72	0,18	2,12	2,80	0,34	0,04	0,25	0,37	150,38
6	Lunes	9pm-12pm	2,56	0,18	2,25	2,78	0,35	0,03	0,27	0,37	146,47
Ookla											
Intervalo	Día	Horas	Downlink				Uplink				Tiempo Total
			Media	Desv. Std	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Std	Mínimo	Máximo	Media
1	Sábado	10am-1pm	0,82	0,20	0,60	1,05	0,29	0,08	0,11	0,34	31,82
2	Sábado	5pm- 8pm	0,85	0,18	0,57	1,01	0,32	0,04	0,23	0,36	26,10
3	Domingo	7am-10am	0,85	0,19	0,59	1,02	0,33	0,02	0,28	0,36	26,22
4	Domingo	2pm- 5pm	0,90	0,14	0,57	1,01	0,27	0,08	0,11	0,34	25,94
5	Lunes	2am-5am	0,89	0,16	0,60	1,02	0,26	0,10	0,06	0,33	30,04
6	Lunes	9pm-12pm	0,67	0,21	0,32	1,02	0,27	0,09	0,08	0,35	36,59

Fuente: Autor, 2011.

Tabla 5. 11 Estadística descriptiva para las mediciones de Uplink, Downlink y tiempo total en el grupo I de aplicaciones. Nodo-B Cafetal, Speedtest Mini y Audit.

SpeedTest Mini											
Intervalo	Día	Horas	Downlink				Uplink				Tiempo Total
			Media	Desv. Std	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Std	Mínimo	Máximo	Media
1	Sábado	10am-1pm	0,85	0,20	0,60	1,07	0,26	0,09	0,11	0,33	22,49
2	Sábado	5pm-8pm	0,80	0,17	0,55	0,97	0,29	0,07	0,10	0,35	20,68
3	Domingo	7am-10am	0,97	0,11	0,63	1,06	0,24	0,09	0,10	0,35	21,04
4	Domingo	2pm-5pm	0,87	0,19	0,52	1,04	0,20	0,10	0,07	0,35	23,97
5	Lunes	2am-5am	0,89	0,17	0,60	1,06	0,18	0,12	0,06	0,33	25,05
6	Lunes	9pm-12pm	0,78	0,17	0,56	1,02	0,25	0,09	0,09	0,33	28,05
Audit											
Intervalo	Día	Horas	Downlink				Uplink				Tiempo Total
			Media	Desv. Std	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Std	Mínimo	Máximo	Media
1	Sábado	10am-1pm	0,32	0,01	0,28	0,33	0,32	0,07	0,12	0,36	70,46
2	Sábado	5pm-8pm	0,30	0,01	0,28	0,31	0,32	0,06	0,13	0,37	72,08
3	Domingo	7am-10am	0,33	0,04	0,30	0,47	0,32	0,05	0,22	0,36	69,06
4	Domingo	2pm-5pm	0,31	0,01	0,30	0,32	0,34	0,04	0,23	0,36	71,35
5	Lunes	2am-5am	0,33	0,07	0,30	0,57	0,32	0,06	0,13	0,36	69,94
6	Lunes	9pm-12pm	0,30	0,03	0,27	0,39	0,29	0,07	0,12	0,35	74,49

Fuente: Autor, 2011.

Tabla 5. 12 Estadística descriptiva para las mediciones de Uplink, Downlink y tiempo total en el grupo I de aplicaciones. Nodo-B Cubo Negro, MSC y Ookla.

MyConnection Server											
Intervalo	Día	Horas	Downlink				Uplink				Tiempo Total
			Media	Desv. Std	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Std	Mínimo	Máximo	Media
1	Lunes	3pm-6pm	2,64	0,26	2,18	2,90	0,36	0,01	0,35	0,37	133,60
2	Martes	11am-2pm	2,54	0,37	1,76	2,90	0,29	0,05	0,24	0,37	135,67
3	Miércoles	3pm-6pm	2,31	0,71	1,10	2,82	0,18	0,01	0,16	0,20	127,62
4	Viernes	1pm- 4pm	2,55	0,22	2,33	2,77	0,28	0,00	0,28	0,28	157,73
5	Viernes	4pm-7pm	2,40	0,44	1,50	2,81	0,14	0,11	0,02	0,25	140,49
Ookla											
Intervalo	Día	Horas	Downlink				Uplink				Tiempo Total
			Media	Desv. Std	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Std	Mínimo	Máximo	Media
1	Lunes	3pm-6pm	0,87	0,19	0,53	1,04	0,15	0,08	0,05	0,33	35,09
2	Martes	11am-2pm	0,88	0,21	0,61	1,14	0,19	0,11	0,04	0,34	33,20
3	Miércoles	3pm-6pm	0,93	0,14	0,56	1,05	0,20	0,09	0,11	0,34	31,72
4	Viernes	1pm- 4pm	0,94	0,03	0,92	0,97	0,20	0,09	0,11	0,29	25,89
5	Viernes	4pm-7pm	0,93	0,15	0,59	1,04	0,12	0,07	0,07	0,29	36,40

Fuente: Autor, 2011.

Tabla 5. 13 Estadística descriptiva para las mediciones de Uplink, Downlink y tiempo total en el grupo I de aplicaciones. Nodo-B Cubo Negro, Speedtest Mini y Audit.

SpeedTest Mini											
Intervalo	Día	Horas	Downlink				Uplink				Tiempo Total
			Media	Desv. Std	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Std	Mínimo	Máximo	Media
1	Lunes	3pm-6pm	0,85	0,20	0,58	1,09	0,16	0,10	0,05	0,35	27,43
2	Martes	11am-2pm	0,87	0,16	0,59	1,04	0,18	0,11	0,05	0,35	22,98
3	Miércoles	3pm-6pm	0,83	0,31	0,15	1,02	0,14	0,10	0,03	0,33	31,86
4	Viernes	1pm- 4pm	0,79	0,21	0,58	1,00	0,15	0,04	0,11	0,19	18,62
5	Viernes	4pm-7pm	0,96	0,20	0,51	1,12	0,19	0,09	0,09	0,32	20,35
Audit											
Intervalo	Día	Horas	Downlink				Uplink				Tiempo Total
			Media	Desv. Std	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Std	Mínimo	Máximo	Media
1	Lunes	3pm-6pm	0,32	0,05	0,23	0,48	0,29	0,08	0,04	0,34	78,65
2	Martes	11am-2pm	0,32	0,07	0,26	0,47	0,26	0,09	0,05	0,33	72,77
3	Miércoles	3pm-6pm	0,30	0,03	0,22	0,32	0,15	0,10	0,03	0,29	93,66
4	Viernes	1pm- 4pm	0,28	0,03	0,25	0,32	0,33	0,00	0,33	0,34	70,89
5	Viernes	4pm-7pm	0,38	0,12	0,25	0,51	0,27	0,08	0,14	0,35	62,27

Fuente: Autor, 2011.

Tabla 5. 14 Estadística descriptiva para las mediciones de Uplink, Downlink y tiempo total en el grupo I de aplicaciones. Nodo-B Cafetal y Cubo Negro.

Nodo B	Herramienta	Downlink				Uplink				Tiempo
		Media	Desv. Std	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Std	Mínimo	Máximo	Media
CAFETAL	MyConnection Server	2,46	0,40	0,70	2,80	0,31	0,06	0,08	0,37	137,85
	Ookla	0,83	0,20	0,32	1,05	0,29	0,08	0,06	0,36	29,55
	Speedtest Mini	0,86	0,18	0,52	1,07	0,24	0,10	0,06	0,35	23,58
	Audit	0,32	0,04	0,27	0,57	0,32	0,06	0,12	0,37	71,26
CUBO NEGRO	MyConnection Server	2,51	0,42	1,10	2,90	0,26	0,10	0,02	0,37	135,61
	Ookla	0,90	0,18	0,53	1,14	0,17	0,09	0,04	0,34	33,63
	Speedtest Mini	0,87	0,22	0,15	1,12	0,16	0,10	0,03	0,35	25,40
	Audit	0,32	0,07	0,22	0,51	0,25	0,10	0,03	0,35	78,63

Fuente: Autor, 2011.

Observando los valores promedio por intervalo para cada herramienta, se puede notar que existen cuatro tendencias de comportamiento en general para el caso de medición del canal downlink y una única tendencia para el caso de medición del canal uplink. Primeramente para el caso downlink, las tendencias son:

(a) Valores superiores a 2 Mbps para el caso de MCS, incluso llegando a valores cercanos a 3 Mbps.
(b) Valores semejantes para el caso de Ookla y Speedtest Mini, situándose entre 0,8 Mbps y 1 Mbps.
(c) Valores promedio alrededor de 0,3 Mbps para el caso de Audit, siendo la herramienta que presenta resultados más bajos en magnitud.

Los rangos de valores antes mencionados se pueden observar incluso en el promedio general para cada Nodo-B mostrado en la tabla 5.14.

La explicación de este comportamiento se debe, tal como fue comentado anteriormente, al método de medición utilizado por la herramienta. El protocolo UDP no utiliza retransmisiones a diferencia del protocolo TCP, por lo tanto, la cantidad de datos transmitidos en un mismo intervalo de tiempo no será la misma en ambos casos. Es por ello que MCS aprovecha de mejor manera la capacidad del canal que las demás herramientas. Sin embargo, el hecho de que Ookla y Speedtest Mini sean aplicaciones multihilo incrementará la velocidad de transmisión en comparación con herramientas que trabajan con un solo hilo de ejecución como es el caso de Audit.

Por lo tanto se recomienda la herramienta MCS en el caso de tener como objetivo primordial mostrar la capacidad máxima del canal downlink en un instante de tiempo.

Es posible utilizar las herramientas Ookla, Speedtest Mini y Audit con el fin de medir la capacidad del canal downlink, pero será necesario aclarar al usuario las limitaciones que posee cada una en cuanto a su mecanismo para transferir la

información. Sabiendo esto, el usuario tendrá una mejor idea del resultado obtenido evitando una mala interpretación en cuanto al desempeño de la red Digitel.

En el caso del canal uplink se describe una única tendencia para las cuatro herramientas de estudio, presentándose valores promedio alrededor de los 0,3 Mbps en cualquier herramienta.

La razón de esto viene dada por la capacidad máxima del canal uplink en comparación con el canal downlink. La capacidad máxima para un único usuario en el canal downlink será de 3.6 Mbps en condiciones ideales, mientras que la capacidad del canal uplink es como máximo 0.384 Mbps, por lo tanto, la diferencia entre la transmisión por medio del protocolo UDP y TCP es mucho menor al caso del canal downlink, incluso en ausencia de hilos de ejecución paralelos.

Es por ello que se recomiendan las cuatro herramientas utilizadas en este grupo para realizar mediciones del canal de subida. Es importante señalar que la tecnología HSPA utilizada actualmente por la Corporación Digitel es únicamente HSDPA por lo que la información en dicho canal estará conformada únicamente por información del control del canal. Se espera que en un futuro próximo Digitel implemente la sub tecnología HSUPA en su red de datos y será en ese momento donde las mediciones del canal uplink adquirirán una mayor utilidad.

Por otra parte, es válido analizar el desempeño de una herramienta en específico desde otro punto de vista distinto a la muestra de un valor máximo de capacidad, como por ejemplo, la dispersión que presentan los datos entre sí para un intervalo de tiempo determinado.

Observando la desviación estándar en cada intervalo, para la medición de capacidad del canal downlink se observa que la herramienta MCS presenta en

términos generales, una desviación mayor que las mostradas en Ookla y Speedtest Mini, mientras que la desviación para la herramienta Audit es mínima.

En la tabla 5.14, se observa que la desviación estándar se comporta de igual manera para la totalidad de los datos en cada Nodo-B al igual que ocurre con los valores promedio, por lo tanto, se concluye que el comportamiento general de las herramientas es independiente de las horas de medición y del Nodo-B utilizado.

Para una mayor explicación de los valores de desviación estándar en cada herramienta, es necesario ahondar en el mecanismo de funcionamiento de la red y de qué manera maneja los recursos disponibles entre los usuarios. Recuérdese que la capacidad que obtiene un usuario depende del número de códigos que le asigna la red en un instante de tiempo. La asignación de los códigos depende a su vez del número de usuarios utilizando el canal compartido en dicho instante, por lo tanto, es lógico que las aplicaciones que requieran una mayor cantidad de datos como es el caso de MCS vean mermado su desempeño ya que al utilizar un mayor ancho de banda del canal en su funcionamiento, el mismo no podrá ser otorgado en su totalidad debido a que es necesario cubrir las necesidades de transferencia de datos para otros usuarios.

No obstante, herramientas que requieran una menor asignación de códigos en un instante de tiempo no se verán afectadas de la misma manera, debido a que la capacidad requerida para transmitir los datos no requiere de todos los recursos de red posibles, y por consiguiente, no afectará de igual manera la dispersión de distintas mediciones realizadas.

Sin embargo, como se comentó anteriormente, para el canal downlink existen tendencias en los valores, tanto valores promedio como desviación estándar. La variación en los datos no es lo suficientemente alta para concluir que el comportamiento de la herramienta es impredecible. Por lo tanto se concluye que la

red proporciona una alta garantía en la transmisión de los datos durante el tiempo en que se esté ejecutando la medición.

Esto puede traer como consecuencia que durante el tiempo de medición, la capacidad de otros usuarios se vea disminuida e incluso, contrariamente, es posible que la medición no se realice debido al tipo de servicio que utilizan los demás usuarios en ese instante. En la siguiente fase se comentará con más detalle este fenómeno.

Por otra parte y aunque no sea un factor primordial en la investigación, es importante considerar el tiempo total de duración de la prueba. Es lógico que las herramientas presenten tiempos promedio diferentes debido a que los métodos de medición no son similares entre sí.

Para el caso de MCS, los promedios de duración total de la prueba por intervalos de medición están alrededor de los ciento treinta segundos, es decir, aproximadamente dos minutos de duración, incluso algunos llegando a alcanzar los tres minutos. Esto ocurre debido a que, como se explicó en la fase 5.4.1, la herramienta envía ráfagas de datos mediante el protocolo UDP, pero no de manera constante. Estos intervalos de tiempo en donde no se envían datos, generarán un tiempo agregado que se verá reflejado en el tiempo total de medición.

Las herramientas Ookla y Speedtest Mini, trabajan con archivos de tamaño variable, de manera que su escogencia en la medición dependerá de una prueba inicial que realiza la herramienta internamente. Esta prueba escogerá el archivo indicado de tal manera que la medición de velocidad en cada canal se realice en un intervalo de diez segundos aproximadamente. Por lo tanto, como se observa en la tabla 5.14, los promedios de tiempo tienden a estar entre veinte y treinta segundos, conformado principalmente por la medición inicial de prueba, medición de velocidad downlink, uplink y latencia.

Por último, en el caso de la herramienta Audit, la alta duración de la prueba se debe a que se utiliza un único archivo para realizar la descarga, dependiendo únicamente de la capacidad del canal en ese instante. En este caso, el promedio de duración de la prueba supera el minuto de duración.

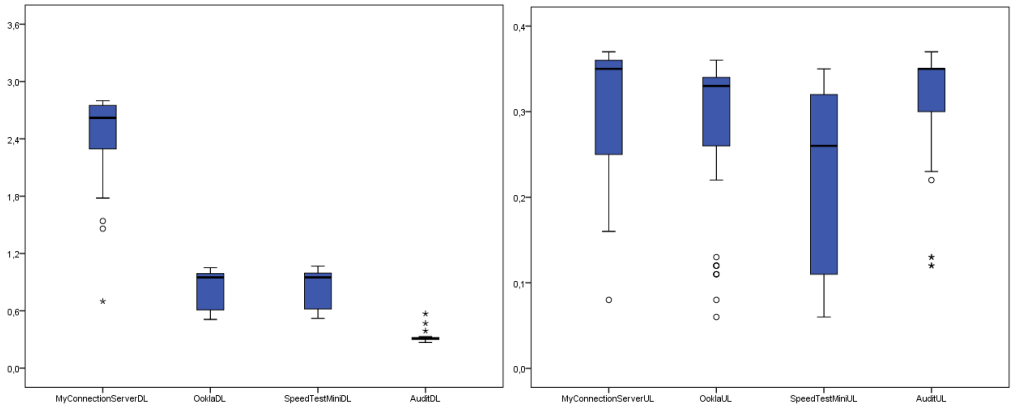
Por lo tanto, en el caso de que el factor tiempo de duración sea la prioridad en la escogencia de la herramienta, se recomiendan las herramientas Ookla y Speedtest Mini, seguido de Audit y por último, la herramienta MCS.

Un aspecto importante no mencionado hasta el momento, es la presencia de datos ausentes durante diversos intervalos, especialmente en intervalos de tiempo pertenecientes al Nodo-B Cubo Negro. Estos datos ausentes fueron mediciones no realizadas debido a la falta de conexión con la red de acceso, presentándose un mensaje de error.

Los valores promedio y desviación estándar no poseen ningún tipo de información acerca de los datos ausentes, ya que son calculados únicamente en base a las muestras donde fue posible ejecutar la medición. De igual manera los diagramas de caja no muestran la influencia de estos valores.

En resumen a todo lo anterior, se muestran los diagramas de caja para los canales downlink y uplink de las cuatro herramientas de estudio utilizando como población estadística la totalidad de las mediciones obtenidas. (Figura 5.3)

Nodo B - Cafetal



Nodo B - Cubo Negro

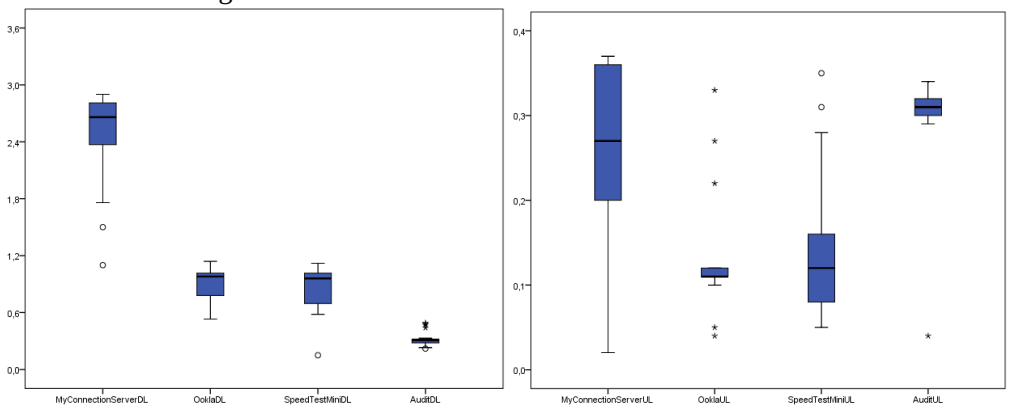


Figura 5. 3 Diagramas de caja y bigote para valores de downlink y uplink en los Nodo-B evaluados.

Fuente: Autor, 2011.

5.6 Relación entre los datos obtenidos y el desempeño de la red Digitel

En esta fase se procedió a buscar una relación entre los datos obtenidos y el desempeño de la red HSDPA de Digitel, para los intervalos de tiempo estudiados. Para ello la Corporación Digitel proporcionó el número de usuarios promedio en una hora utilizando el canal compartido HS-PDSCH para cada Nodo-B de estudio. En la tabla 5.15 se muestran los datos proporcionados.

Tabla 5. 15 Número de usuarios promedio por nodo evaluado.

Hora	NODO-B CAFETAL			NODO-B CUBO NEGRO			
	Usuarios simultaneos promedio por hora en HS-PDSCH			Usuarios simultaneos promedio por hora en HS-PDSCH			
	06/08/2011	07/08/2011	08/08/2011	08/08/2011	09/08/2011	10/08/2011	12/08/2011
12:00 a.m.	2	2	2		2	2	2
01:00 a.m.	2	2	2		2	2	2
02:00 a.m.	2	2	2		2	2	2
03:00 a.m.	2	2	2		2	2	2
04:00 a.m.	2	2	2	2	2	2	2
05:00 a.m.	2	2	2	2	2	2	2
06:00 a.m.	2	2	2	2	2	2	2
07:00 a.m.	2	2	2	5	5	5	5
08:00 a.m.	2	2	2	11	10	10	10
09:00 a.m.	2	2	2	12	11	12	12
10:00 a.m.	2	2	2	12	12	11	14
11:00 a.m.	2	2	2	15	12	12	13
12:00 p.m.	2	2	2	10	10	13	8
01:00 p.m.	2	2	2	14	12	13	13
02:00 p.m.	2	2	2	14	14	13	14
03:00 p.m.	2	2	2	14	14	15	15
04:00 p.m.	2	2	2	11	13	12	13
05:00 p.m.	2	2	2	4	6	6	7
06:00 p.m.	2	2	2	2	3	3	3
07:00 p.m.	2	2	2	2	2	2	2
08:00 p.m.	2	3	2	2	2	2	2
09:00 p.m.	2	2	2	2	2	2	2
10:00 p.m.	2	2	2	2	2	2	2
11:00 p.m.	2	2	2	2	2	2	2
Media	2	2	2	7	6	6	6
Desv. Std.	0	0	0	5	5	5	6

Fuente: Corporación Digitel, 2011.

Es importante recordar que la red de acceso asigna los recursos radio al conjunto de usuarios conectados en el Nodo-B cada 2 milisegundos. Este tiempo es sumamente corto para hacer un análisis en donde se busca, principalmente, un comportamiento general de la red durante los intervalos de medición seleccionados.

Además de esto, Digitel no posee estadísticas del número de usuarios conectados durante tiempos infinitesimales, más si posee estadísticas de usuarios promedios en intervalos de tiempo mayores, como por ejemplo una hora. Es por ello que se asumirá el número de usuarios promedio por hora como el número de usuarios conectados al Nodo-B durante todo el periodo sin interrupción.

En la tabla 5.16 se muestran las especificaciones teóricas que utiliza la Corporación Digitel para transmitir los datos en el canal downlink por usuario.

Tabla 5. 16 Especificaciones de la red de acceso de Digitel.

Modulación	Tasa de Codificación	Throughput en Mbps (1 código)	Throughput en Mbps (5 códigos)	Throughput en Mbps (10 códigos)
QPSK	1/4	0.12	0.6	1.2
	2/4	0.24	1.2	2.4
	3/4	0.36	1.8	3.6
16 - QAM	2/4	0.48	2.4	No Aplica
	3/4	0.72	3.6	No Aplica
	4/4	0.96	No Aplica	No Aplica

Fuente: Corporación Digitel, 2011.

De la tabla anterior se observa que el número de códigos otorgados por la red a un usuario serán de uno, cinco o diez como máximo, durante un time slot (2 ms), por lo tanto las mejores condiciones otorgadas a un usuario serán:

(a) Modulación 16-QAM, tasa de codificación igual a ¾ utilizando cinco códigos.

(b) Modulación QPSK, tasa de codificación igual a ¾ utilizando diez códigos.

Aclarado esto, se evaluaron dos escenarios extremos: en el primer escenario se estudió el comportamiento de la red de acceso con el menor número de usuarios conectados durante una hora. En el segundo escenario se evaluó el comportamiento de la red de acceso con el mayor número de usuarios conectados durante una hora. Finalmente se analiza el comportamiento de las herramientas de estudio durante ambos escenarios.

Escenario 1: Menor número de usuarios conectados en una hora.

Tal como se observa en la tabla 5.15, el menor número de usuarios promedio en una hora es de dos, y corresponde a cualquier hora de medición realizada en el Nodo-B Cafetal. En la siguiente figura (Figura 5.4) se muestran posibles asignaciones de los códigos durante varios time slots.

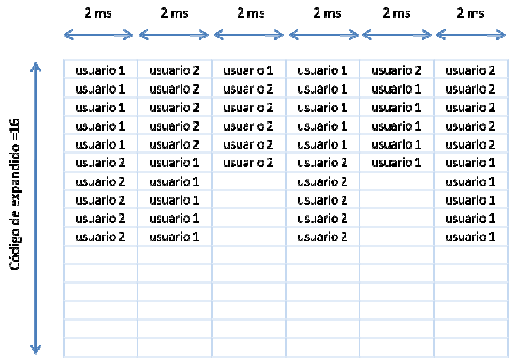


Figura 5. 4 Multiplexación en tiempo y código del canal HS-PDSCH con 2 usuarios simultáneos.

Fuente: Autor, 2011.

Se puede observar que en el caso de existir solo dos usuarios utilizando el canal compartido, la transmisión puede considerarse continua para ambos durante todo el tiempo de actividad, incluso el hecho de que puedan asignarse cinco códigos por usuario implica que las velocidades alcanzadas puedan ser máximas dentro de los parámetros establecidos.

Sin embargo, el hecho de que existan más de dos usuarios en la red, implicará que no se asignarán los diez códigos disponibles de forma equitativa entre ellos, desfavoreciendo a parte de los mismos. Esto trae como consecuencia que los usuarios que utilicen la herramienta, vean disminuido en parte su capacidad downlink debido a que los datos no se transmiten equitativamente por time slot.

Escenario 2: Mayor número de usuarios conectados en una hora.

En la tabla 5.15 se observa que el mayor número de usuarios es de quince, pertenecientes a dos intervalos de una hora en Nodo-B Cubo Negro.

Así como se explicó anteriormente, al existir más de dos usuarios en la red, los diez códigos asignados deberán distribuirse de manera dispareja en cada time slot. El caso extremo ocurre cuando el número de usuarios sobrepasa el número de códigos

disponibles y por consiguiente parte de los mismos no tendrá acceso a los datos. En la figura 5.5 se ilustra el comportamiento del canal compartido con un número de quince usuarios en promedio.

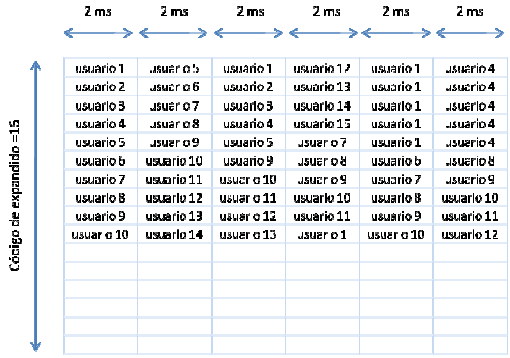


Figura 5. 5 Multiplexación en tiempo y código del canal HS-PDSCH con 15 usuarios simultáneos.

Fuente: Autor, 2011.

Se observa que la tercera parte del grupo total de usuarios no tendrá acceso al canal compartido en cada time slot transmitido, en el mejor de los casos, asumiendo que los diez usuarios beneficiados se les asigne un código a cada uno. Incluso existe la posibilidad de que parte de los usuarios requiera un servicio en donde sea necesaria la asignación de más de un código, dejando a más usuarios inhabilitados para el uso del canal.

Tal como se explicó en la fase 5.5, las cuatro herramientas presentan valores con tendencias constantes entre todos los intervalos de medición. Estas tendencias se muestran de mejor manera con los valores promedio y desviación estándar, aunque dichos valores no incluyen los datos ausentes o errores de conexión hacia la red.

El hecho de que los valores promedio y desviación estándar sean relativamente constantes durante todo el proceso de medición significa que la asignación de los códigos al usuario dependerá de alguna manera del tipo de servicio que el mismo esté utilizando, es decir, la red otorgará recursos radio suficientes

mientras se requieran, incluso si es necesario afectar a otros usuarios en el Nodo-B con tal de garantizar la transferencia de los datos.

Esto explica la razón por la cual una medición pueda ejecutarse durante un intervalo de tiempo en donde existan gran número de usuarios y aun así presente valores máximos para esa herramienta.

Es por ello que a simple vista el comportamiento de ambos Nodos-B es similar a pesar de que en el Nodo-B Cubo Negro el número de mediciones realizadas fue mucho menor.

La justificación por la cual en el Nodo-B Cubo Negro no se realizaran gran parte de las mediciones, se debió a que durante el proceso de medición el número de usuarios fue mucho mayor en promedio al Nodo-B Cafetal presentándose la posibilidad de que los servicios utilizados por los demás usuarios requirieran de la totalidad de los códigos durante largo tiempo.

En la tabla 5.17 se muestra el porcentaje de mediciones realizadas en ambos Nodos-B indicando el número de mediciones fallidas por herramienta.

Tabla 5. 17 Efectividad de mediciones realizadas en el grupo I.

	NODO B - CUBO NEGRO							
	MyConnection Server		Ookla		Speedtest Mini		Audit	
	Downlink (Mbps)	Uplink (Mbps)	Downlink (Mbps)	Uplink (Mbps)	Downlink (Mbps)	Uplink (Mbps)	Downlink (Mbps)	Uplink (Mbps)
Datos ausentes	29	47	24	24	26	26	28	28
Mediciones realizadas	63	63	63	63	63	63	63	63
Mediciones logradas	54%	25%	62%	62%	59%	59%	56%	56%
	NODO B - CAFETAL							
	MyConnection Server		Ookla		Speedtest Mini		Audit	
	Downlink (Mbps)	Uplink (Mbps)	Downlink (Mbps)	Uplink (Mbps)	Downlink (Mbps)	Uplink (Mbps)	Downlink (Mbps)	Uplink (Mbps)
Datos ausentes	5	7	2	2	2	2	1	2
Mediciones realizadas	72	72	72	72	72	72	72	72
Mediciones logradas	93%	90%	97%	97%	97%	97%	99%	97%

Fuente: Autor, 2011.

5.7 Selección del mejor intervalo de medición de acuerdo a los parámetros estadísticos estudiados

La finalidad de esta fase fue seleccionar un intervalo de medición con el propósito de recrear el escenario más idóneo en el cual se pudieran realizar las pruebas con el segundo grupo de herramientas. Los factores a tomar en cuenta fueron:

(a) Realizar la totalidad de las pruebas tanto para los canales downlink como canales uplink.
(b) Presentar el mayor promedio de velocidad del canal downlink.
(c) Reflejar la menor desviación estándar para la velocidad del canal downlink.

Recordando lo antes expuesto en las tablas 5.6 – 5.9, se observa que sólo tres intervalos de mediciones realizadas en el Nodo-B Cafetal cumplen con el primer factor mencionado y ningún intervalo en el Nodo-B Cubo Negro.

El segundo y tercer factor se observa mejor en las tablas 5.10 - 5.13, donde se puede apreciar que el intervalo 5 presenta el mejor promedio y la menor desviación estándar de los tres intervalos mencionados anteriormente.

Por lo tanto el quinto intervalo de mediciones que comprende el bloque de horas 2:00 a 5:00 am. realizado en el Nodo-B Cafetal, será tomado como ejemplo del mejor comportamiento tanto de las herramientas de medición como del desempeño de la red Digitel.

5.8 Elaboración de pruebas con el grupo II de herramientas de medición.

La tercera y última parte de la investigación comprendió la realización de pruebas con herramientas de medición alojadas en equipos servidores en Internet, sin ningún tipo de vínculo con la red Digitel. Estas pruebas se realizaron en el mejor escenario propiciado por las herramientas del primer grupo, de tal manera que se

pudiera establecer una comparación entre sus desempeños y así comprobar o refutar las hipótesis originalmente planteadas.

El escenario de mejor desempeño para la realización de las pruebas es de 2:00 a 5:00 am. en el Nodo-B ubicado en el Cafetal. Dichas pruebas se realizaron bajo el mismo método empleado en el primer grupo, es decir, mediciones en intervalos de quince minutos para cuatro herramientas, lo que conlleva a cuatro mediciones por hora, durante un intervalo de tres horas, resultando en un total de doce mediciones por herramienta.

Debido a que el número de aplicaciones seleccionadas para el grupo II fue de dieciséis, las mediciones abarcaron cuatro días continuos durante las horas especificadas anteriormente. En las tablas 5.18 y 5.19 se muestran las herramientas, junto a sus valores downlink y uplink, además del promedio y desviación estándar.

Tabla 5. 18 Resultados de pruebas de medición para el grupo II de aplicaciones seleccionadas. Parte I.

	Direccion web	Download (Mbps)	Upload (Mbps)		Direccion web	Download (Mbps)	Upload (Mbps)
1	http://www.speedtest.net/	1,09	0,28	2	http://speedtest.ifxnw.cl/	1,20	No se muestra
		0,74	0,31			0,92	
		2,52	0,32			0,74	
		0,87	0,24			0,78	
		0,43	0,24			0,68	
		0,92	0,23			2,82	
		1,15	0,28			0,09	
		0,55	0,33			0,88	
		0,32	0,08			1,40	
		0,46	0,08			1,05	
		1,37	0,33			1,37	
		0,40	0,19			0,98	
	Media Aritmetica	0,90	0,24		Media Aritmetica	1,08	
	Desviacion Estandar	0,61	0,09		Desviacion Estandar	0,65	
	Direccion web	**Download (Mbps)**	**Upload (Mbps)**		**Direccion web**	**Download (Mbps)**	**Upload (Mbps)**
3	http://www.bandwidthplace.com/	0,30	0,26	4	http://www.speed.io/index_en.html	1,37	0,25
		0,55	0,24			1,79	0,31
		0,62	0,26			1,16	0,29
		1,24	0,22			1,47	0,31
		1,16	0,01			0,50	0,15
		0,51	0,18			1,14	0,20
		3,43	0,33			0,69	0,24
		1,68	0,29			0,91	0,34
		1,91	0,02			2,38	0,23
		1,36	0,12			0,93	0,33
		0,79	0,07			0,91	0,34
		0,49	0,28			0,90	0,38
	Media Aritmetica	1,17	0,19		Media Aritmetica	1,18	0,28
	Desviacion Estandar	0,88	0,11		Desviacion Estandar	0,52	0,07
	Direccion web	**Download (Mbps)**	**Upload (Mbps)**		**Direccion web**	**Download (Mbps)**	**Upload (Mbps)**
5	http://www.internetfrog.com/mypc/speedtest/	1,85	1,12	6	http://www.broadbandspeedchecker.co.uk/	0,40	0,09
		1,79	0,84			1,16	0,11
		1,37	0,99			1,78	0,23
		0,83	1,14			0,58	0,15
		0,88	1,07			0,84	0,01
		1,00	1,09			1,84	0,11
		1,17	1,46			1,13	0,12
		0,77	0,64			1,90	0,11
		0,70	1,67			1,48	0,01
		0,66	1,08			1,50	0,30
		0,64	2,16			2,31	0,11
		0,87	1,32			0,84	0,15
	Media Aritmetica	1,04	1,22		Media Aritmetica	1,31	0,13
	Desviacion Estandar	0,42	0,40		Desviacion Estandar	0,59	0,08
	Direccion web	**Download (Mbps)**	**Upload (Mbps)**		**Direccion web**	**Download (Mbps)**	**Upload (Mbps)**
7	http://us.mcafee.com/root/speedometer/test_0600.asp	0,20	No se muestra	8	http://speedtest.shaw.ca/results	0,28	0,16
		0,20				1,94	0,16
		0,50				1,11	0,08
		0,20				0,43	0,13
		0,20				0,69	0,10
		0,20				0,76	0,21
		0,20				0,61	0,11
		0,50				0,97	0,13
		1,00				1,36	0,08
		0,50				2,25	0,21
		2,00				1,42	0,14
		2,00				0,60	0,13
	Media Aritmetica	0,64			Media Aritmetica	1,04	0,14
	Desviacion Estandar	0,68			Desviacion Estandar	0,61	0,04

Fuente: Autor, 2011.

Tabla 5. 19 Resultados de pruebas de medición para el grupo II de aplicaciones seleccionadas. Parte II.

	Direccion web	Download (Mbps)	Upload (Mbps)		Direccion web	Download (Mbps)	Upload (Mbps)
9	http://www.auditmypc.com/internet-speed-test.asp	1,00	0,44	10	http://www.abeltronica.com/velocimetro/pt/?idioma=uk	0,97	0,40
		2,52	0,09			0,20	0,25
		1,01	0,44			0,97	0,40
		0,99	0,40			0,98	0,40
		2,87	0,09			0,96	0,21
		1,01	0,44			1,09	0,38
		1,01	0,45			0,18	0,36
		1,02	0,45			2,52	0,07
		1,01	0,44			2,42	0,18
		0,99	0,39			2,42	0,17
		1,82	0,09			0,84	0,30
		2,14	0,09			0,97	0,38
	Media Aritmetica	1,45	0,32		Media Aritmetica	1,21	0,29
	Desviacion Estandar	0,70	0,17		Desviacion Estandar	0,81	0,11
	Direccion web	**Download (Mbps)**	**Upload (Mbps)**		**Direccion web**	**Download (Mbps)**	**Upload (Mbps)**
11	http://speedtest.streamyx.com.my/index1.php?307474793	0,98	0,11	12	http://reviews.cnet.com/internet-speed-test/	0,95	No se muestra
		0,82	0,12			0,69	
		0,63	0,09			0,95	
		0,50	0,09			0,52	
		1,36	0,10			1,94	
		0,85	0,09			1,31	
		0,38	0,09			0,95	
		0,71	0,10			0,84	
		0,86	0,28			2,51	
		0,19	0,11			2,48	
		0,91	0,08			2,17	
		1,27	0,07			0,87	
	Media Aritmetica	0,79	0,11		Media Aritmetica	1,35	
	Desviacion Estandar	0,34	0,06		Desviacion Estandar	0,72	
	Direccion web	**Download (Mbps)**	**Upload (Mbps)**		**Direccion web**	**Download (Mbps)**	**Upload (Mbps)**
13	http://www.beelinebandwidthtest.com/espanol/	0,68	No se muestra	14	http://speedtest.edpnet.be/speedtest4.php	0,99	No se muestra
		0,55				0,10	
		0,76				0,31	
		0,79				2,64	
		0,42				1,11	
		0,96				2,30	
		0,28				1,00	
		0,08				0,84	
		0,73				2,41	
		0,28				1,10	
		0,08				1,34	
		0,28				2,21	
	Media Aritmetica	0,49			Media Aritmetica	1,36	
	Desviacion Estandar	0,30			Desviacion Estandar	0,84	
	Direccion web	**Download (Mbps)**	**Upload (Mbps)**		**Direccion web**	**Download (Mbps)**	**Upload (Mbps)**
15	http://bm.speed.net.id/results.php	0,76	No se muestra	16	http://www.tracert.org/bandwidth_meter/results.php	1,00	No se muestra
		0,02				0,20	
		0,04				0,23	
		0,37				0,70	
		0,20				0,40	
		0,57				1,00	
		0,80				0,46	
		0,99				0,48	
		0,49				0,55	
		0,86				0,35	
		0,77				0,59	
		0,41				0,51	
	Media Aritmetica	0,52			Media Aritmetica	0,54	
	Desviacion Estandar	0,32			Desviacion Estandar	0,26	

Fuente: Autor, 2011.

La primera observación resaltante en las tablas 5.18 y 5.19 es que de las dieciséis herramientas seleccionadas, seis no poseen la capacidad para medir la velocidad de transmisión en el canal uplink. Aunque este factor no tiene mucho peso en redes HSDPA, la falta de medición de dicho parámetro pudiera ser un inconveniente en el caso de redes HSUPA.

5.9 Análisis estadístico de resultados del segundo grupo

Al igual que en la etapa anterior, se realizó un estudio estadístico que permitió un análisis más profundo de los valores obtenidos.

Tabla 5. 20 Estadística descriptiva para las mediciones de uplink y downlink en el grupo II de aplicaciones.

	Páginas Web	Downlink				Uplink			
		Media Arit	Desv Est	Mínimo	Máximo	Media Arit	Desv Est	Mínimo	Máximo
1	http://www.speedtest.net/	0,90	0,61	0,32	2,52	0,24	0,09	0,08	0,33
2	http://speedtest.ifxnw.cl/	1,08	0,65	0,09	2,82				
3	http://www.bandwidthplace.com/	1,17	0,88	0,30	3,43	0,19	0,11	0,01	0,33
4	http://www.speed.io/index_en.html	1,18	0,52	0,50	2,38	0,28	0,07	0,15	0,38
5	http://www.internetfrog.com/mypc/speedtest/	1,04	0,42	0,64	1,85	1,22	0,40	0,64	2,16
6	http://www.broadbandspeedchecker.co.uk/	1,31	0,59	0,40	2,31	0,12	0,08	0,01	0,30
7	http://us.mcafee.com/root/speedometer/test_0600.asp	0,64	0,68	0,20	2,00				
8	http://speedtest.shaw.ca/results	1,04	0,61	0,28	2,25	0,14	0,04	0,08	0,21
9	http://www.auditmypc.com/internet-speed-test.asp	1,45	0,70	0,70	2,87	0,32	0,17	0,09	0,45
10	http://www.abeltronica.com/velocimetro/pt/?idioma=uk	1,21	0,81	0,18	2,52	0,29	0,11	0,07	0,40
11	http://speedtest.streamyx.com.my/index1.php?307474793	0,79	0,34	0,19	1,36	0,11	0,06	0,07	0,28
12	http://reviews.cnet.com/internet-speed-test/	1,35	0,72	0,52	2,51				
13	http://www.beelinebandwidthtest.com/espanol/	0,48	0,31	0,08	0,96				
14	http://speedtest.edpnet.be/speedtest4.php	1,36	0,84	0,10	2,64				
15	http://bm.speed.net.id/results.php	0,52	0,32	0,02	0,99				
16	http://www.tracert.org/bandwidth_meter/results.php	0,54	0,26	0,20	1,00				

Fuente: Autor, 2011.

En cuanto a los valores promedio, se observa una mayor dificultad a la hora de establecer una tendencia de valores, tanto para downlink como para uplink, a diferencia de las herramientas del grupo I en donde se podía apreciar una tendencia más marcada. Esta dispersión de los datos se ve reflejada a su vez en la desviación estándar, la cual llega incluso a superar la mitad del valor promedio en la mayoría de los casos.

Comparando los resultados obtenidos para el grupo II de medición, con el intervalo 5 de las tablas 5.10 y 5.11 (grupo I) se observa que existen herramientas que superan los valores promedio en magnitud a las herramientas Ookla, Speedtest Mini y Audit, sin embargo la desviación estándar es mucho mayor a estas herramientas. En todo caso, los valores no sobrepasan los 2 Mbps lo que indica que la herramienta MCS sigue siendo la herramienta indicada en el caso de que se tenga como prioridad mostrar la capacidad downlink al usuario.

En los siguientes diagramas de caja (figuras 5.6 y 5.7) se muestra de manera ilustrativa el comportamiento de las herramientas del grupo II en conjunto con las cuatro herramientas del grupo I en el intervalo escogido para el canal downlink y uplink.

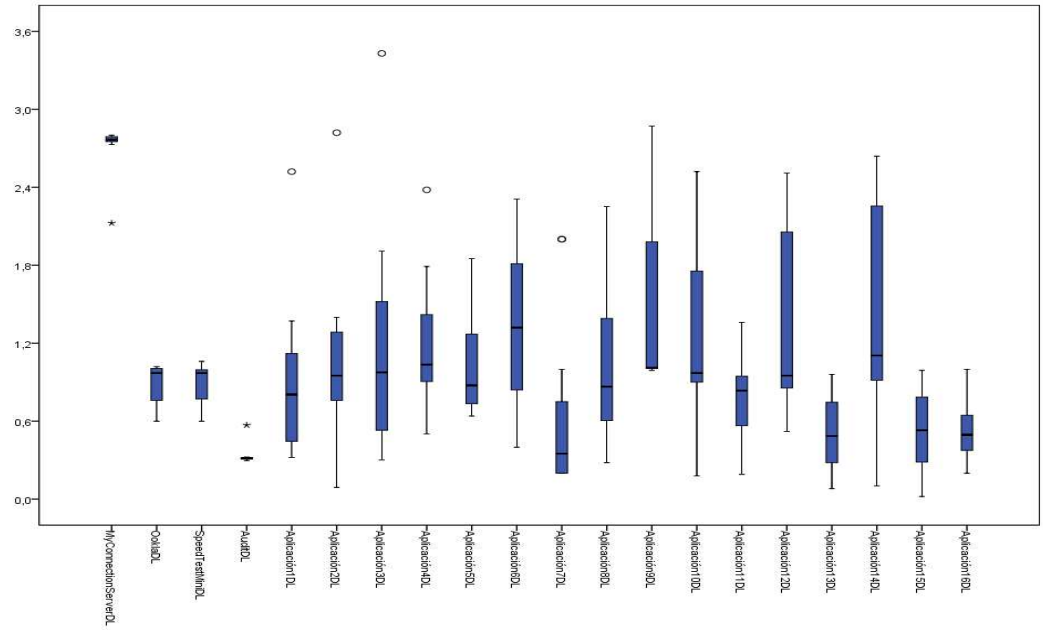


Figura 5. 6 Diagramas de caja y bigote para valores de downlink en los grupos I y II evaluados.

Fuente: Autor, 2011.

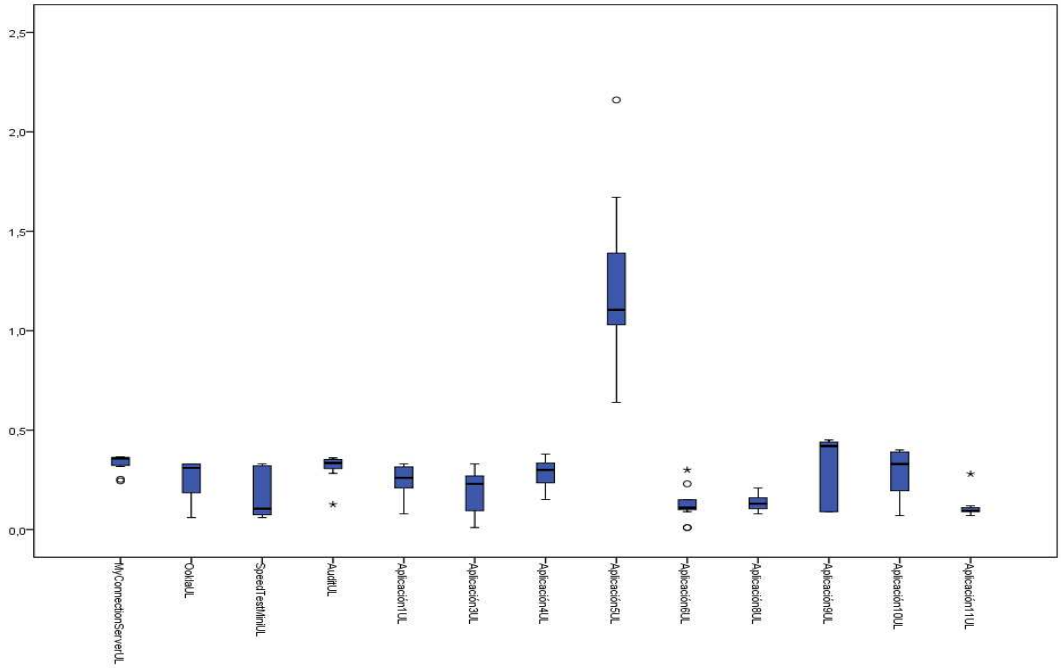


Figura 5. 7 Diagramas de caja y bigote para valores de uplink en los grupos I y II evaluados.

Fuente: Autor, 2011.

Con respecto a la dispersión de los datos, en la figura 5.6 se observa que las cuatro herramientas del primer grupo presentan una menor dispersión en comparación a cualquier herramienta del segundo grupo. Esta observación permite reafirmar la hipótesis 2 planteada en el presente trabajo, la cual establece que utilizando herramientas de medición internas en la red Digitel se obtendrá una menor dispersión en los datos obtenidos, respecto a herramientas ubicadas en Internet. En este caso, las cuatro herramientas obedecen el cumplimiento de la segunda hipótesis.

Por otra parte, las velocidades de transmisión de datos en sentido uplink mostradas en la figura 5.7, indican una dispersión semejante para todas las herramientas, tanto en el grupo I como en el grupo II, a excepción de la herramienta número cinco, sin embargo, la misma arroja datos incluso superiores a 1 Mbps, lo que indica que sus mediciones no son confiables.

Para el resto de los resultados obtenidos es posible concluir que las mediciones del canal uplink no se ven tan afectadas por la dispersión a diferencia del canal downlink. Recuérdese que en el caso del canal downlink, la mayor causa de la dispersión en los valores es la congestión por tráfico de redes externas, así como la variabilidad de este tráfico en cada instante de tiempo. Para el canal uplink, es lógico afirmar que las redes externas pertenecientes a Internet trabajan de igual manera en función de la transmisión de datos hacia los usuarios, por lo que el tráfico general en los canales de subida es mucho menor y menos variable.

De igual manera, es importante resaltar que la prioridad principal en el presente trabajo de grado es obtener conclusiones satisfactorias respecto al canal downlink ya que actualmente Digitel cuenta únicamente con la tecnología de acceso HSDPA, por lo tanto se concluye que el desempeño de las herramientas del grupo I para el canal Uplink es óptimo.

En cuanto al valor en magnitud de los datos obtenidos, tomando como referencia la figura 5.6 se observa que el diagrama de caja presentado por MCS contempla los valores más altos en magnitud, estando alrededor de 2.4 y 3Mbps.

No sucede lo mismo con las aplicaciones Ookla y Speedtest Mini, donde los datos se asemejan a las aplicaciones del segundo grupo, e incluso inferiores para el caso de Audit. De igual manera, el hecho de conocer su funcionamiento ubica a estas tres herramientas en ventaja en comparación con las del grupo II donde no se tiene conocimiento alguno acerca del funcionamiento de las mismas.

Por lo tanto, es posible reafirmar la primera hipótesis planteada en la investigación, ya que con herramientas ubicadas dentro de la red Digitel, se obtienen velocidades más cercanas a los valores máximos ofrecidos por la empresa.

5.10 Evaluación económica de las herramientas del primer grupo de medición

A pesar de no ser un objetivo dentro del presente trabajo de grado, ha sido realizado un breve análisis económico de las herramientas del primer grupo de medición, al ser éstas las más importantes en el estudio, para ayudar a la Corporación Digitel a evaluar todos los escenarios posibles en materia de medición de velocidad de acuerdo a diferentes requerimientos.

Dentro del primer grupo estudiado, sólo Ookla y MyConnection Server poseen licencias comerciales, en comparación a Speedtest Mini y Audit, las cuales no requieren inversión alguna para poder ser usadas.

Ookla posee dos versiones comerciales, que difieren en costos debido a los servicios que pueden prestar. Se tiene una versión básica cuya interfaz no puede ser personalizada y que está disponible para aquellos usuarios con presupuesto más ajustado. Su costo es de 395$/año y posee las siguientes características:

(a) Mide el rendimiento de carga y descarga.
(b) No mide la latencia.
(c) No se muestra en la interfaz la dirección IP del cliente.
(d) Mantenimiento y mejoras tecnológicas incluidas.

La siguiente herramienta proporcionada por Ookla es una versión mejorada con respeto a la anterior, cuya licencia de prueba fue utilizada en este estudio. Esta versión puede ser alojada en el servidor del usuario, es capaz de probar hasta más de 100 Mbps, es altamente configurable y se instala en minutos. Su costo aproximado es de $495/año y además de brindar los servicios proporcionados por la versión más básica, permite medir la latencia y contar con apoyo de expertos y constantes actualizaciones de la tecnología.

Por otra parte, los costos de las licencias correspondientes a MyConnection Server varían de acuerdo a la duración de la misma.

La tabla 5.21, resume los costos para la herramienta utilizada en el presente trabajo de grado, referidos al tiempo de duración de la licencia contratada. En donde es posible notar que a pesar de que MCS se presenta como la opción más costosa en comparación a todas las demás estudiadas, posee la ventaja de poder ser perpetua. Es importante resaltar que el requerimiento de la Corporación Digitel es para ser aplicado en carácter indefinido, por esta razón, al evaluar ambas herramientas comerciales (Ookla y MCS) la opción de MyConnection Server se presenta como la más atractiva.

Tabla 5. 21 Costos de licencias de MCS.

Paquete	Licencias de Plazo Incluye mantenimiento, soporte y actualizaciones			Licencias Perpetuas y 1 año de mantenimiento, soporte y actualizaciones
	1 año	2 años	3 años	
MyConnection Server	$695	$1,250	$1,775	$2,100

Fuente: Autor, 2011.

Sin embargo, de ser la economía un factor condicionante, incluso al tratarse de una compañía con los estándares de Digitel, debería escogerse SpeedTest Mini. Ésta posee licencia gratuita y sus resultados, aunque no se acercan a lo obtenido con MCS, son aproximados a los de Ookla, aun cuando ésta posee licencia comercial. Es notable que entre las herramientas analizadas para este grupo de medición, la menos atractiva resulta ser Audit, ya que es la que proporcionó resultados más alejados al valor teórico, estando incluso por debajo de la mayoría de las herramientas no posicionadas dentro de la red de Digitel.

CONCLUSIONES

1. Se estudió la evolución que han presentado las comunicaciones móviles de manera general y se profundizó el estudio en las redes 3G y 3.5G, específicamente las tecnologías UMTS y HSDPA propuestas por la 3GPP, ya que la Corporación Digitel se basa en dichas tecnologías para prestar servicios de transmisión de datos a sus usuarios.

2. Se comprendió el funcionamiento principal de la tecnología de acceso WCDMA utilizada en UMTS, la cual está basada en la técnica de espectro expandido. Esta técnica permite un mejor aprovechamiento del canal, mayor seguridad en la transmisión y mayor resistencia a interferencias, entre otras ventajas.

3. En el caso de HSDPA se entendió la principal diferencia con respecto a UMTS y es la agregación de un canal compartido en sentido descendente, el cual permite a todos los usuarios de la celda obtener mayores velocidades por medio de la asignación múltiple de códigos. Adicionalmente, HSDPA emplea técnicas de modulación más avanzadas que UMTS.

4. Se estudió la red de datos de la Corporación Digitel, la cual está compuesta por seis núcleos principales que a su vez brindarán servicio al resto de las regiones del país. El núcleo USB contiene los elementos SGSN y GGSN, encargados de transferir paquetes de datos entre los usuarios de la red y hacia el Backbone de Internet.

5. Con respecto a la red de acceso, se discutió el tema con personal de la Corporación Digitel y se concluyó que la velocidad máxima alcanzada por un usuario

es de 3.6 Mbps para el canal downlink y 0,384 Mbps para el canal uplink, aunque estos valores máximos son teóricos.

6. Se realizó la escogencia del nodo donde se situará el equipo que a su vez alojará las herramientas de medición escogidas, mediante grados de factibilidad técnica y humana. Se concluyó que dicho nodo deberá estar ubicado en el Backbone de Internet, específicamente en el Switch S8505, ya que posee el mayor número de puertos disponibles respecto a los demás equipos. Una vez seleccionado el nodo, se procedió a colocar el equipo que cumplirá las funciones de servidor, asignándole una dirección IP pública, máscara de subred y gateway por defecto.

7. Se realizó una recolección mediante motores de búsqueda en Internet de distintos tipos de herramientas de medición, de acuerdo a la documentación realizada anteriormente y se procedió al descarte y selección en dos grupos de acuerdo a diversas premisas.

8. El primer grupo estuvo conformado por herramientas de carácter manipulable por parte del autor, con posibilidad de descarga de sus archivos y el acceso a los mismos, pudiéndose alojar en un servidor propio; mientras que el segundo grupo estuvo conformado por herramientas de carácter no manipulable, donde no fuera posible el acceso a sus archivos alojándose en servidores en cualquier parte del mundo.

9. Al realizar las mediciones pertinentes, se recurrió a técnicas de estadística descriptiva con el fin de obtener una mejor idea de los resultados. Se concluyó que el mejor desempeño en el canal downlink lo posee la herramienta MyConnection Server (MCS), obteniendo valores en magnitud cercanos a 3 Mbps. Las herramientas Ookla y Speedtest Mini presentan valores alrededor de 1 Mbps y la herramienta Audit presenta valores alrededor de 0,3 Mbps. La diferencia en estos valores radica en el método de medición utilizado. En el caso del canal uplink las

cuatro herramientas seleccionadas poseen un desempeño similar, obteniendo valores alrededor de 0,3 Mbps.

10. Al realizar mediciones con el segundo grupo se observó que MyConnection Server sigue presentando los mayores valores en magnitud con respecto a todas las herramientas, no ocurriendo lo mismo con Ookla, Speedtest Mini y Audit, sin embargo, estas cuatro herramientas presentan menor dispersión en sus valores que cualquiera del segundo grupo, concluyendo que sí existirá una influencia negativa en la colocación del equipo servidor posterior al Backbone de Internet, ya sea por factores como el tráfico impredecible de Internet, niveles de congestión, además de una distancia mayor que deberán recorrer los paquetes entre ambos equipos.

11. Se comprendió la importancia del uso de técnicas de estadística descriptiva en los análisis de resultados, debido a que permiten obtener comportamientos o tendencias generales de un conjunto de muestras donde el análisis individual no aportaría mayor información.

12. Se realizó un breve análisis económico y se concluyó que la herramienta MyConnection Server presenta una mejor opción en el caso de que la Corporación Digitel esté dispuesta a realizar una inversión de dinero para solucionar el problema. A pesar de que la herramienta Ookla posee un costo menor anualmente, es lógico pensar que la operación de la herramienta será de carácter permanente, y en este caso, MCS presenta una inversión de mayor atractivo, añadiendo el hecho de que los resultados presentados por MCS fueron mucho más convincentes a los de la herramienta Ookla.

13. En el caso de ser la economía un factor condicionante, se concluyó que la herramienta adecuada es Speedtest Mini, ya que aunque no presenta valores

cercanos a los obtenidos por MCS, se asemejan a los obtenidos por Ookla, incluso siendo este último de carácter comercial.

RECOMENDACIONES

1. Es recomendable la realización de pruebas en el primer grupo de herramientas con más de un Modem BAM simultáneamente, ya que todos los resultados obtenidos pertenecen a mediciones realizadas con sólo un dispositivo y es necesario observar el comportamiento de las herramientas al momento de realizar mediciones en paralelo.

2. En el caso de implementar la tecnología HSUPA se recomienda realizar las pruebas uplink nuevamente, con la finalidad de obtener un mejor punto de vista de este parámetro, el cual no aporta información considerable en HSDPA.

3. Se recomienda la realización de mediciones en el primer grupo de herramientas utilizando un equipo servidor especialmente creado para tal fin, en lugar de la utilización de un equipo de escritorio con aplicaciones de servidor y realizar conclusiones acerca del comportamiento de las herramientas Ookla, Speedtest Mini y Audit, con la finalidad de observar si existe alguna diferencia en los resultados obtenidos.

4. En el caso de implementar alguna de las herramientas del presente estudio, se recomienda de igual manera informar a la comunidad Digitel las velocidades estimadas que pudiera obtener en una medición, ya que es de poca utilidad la información obtenida si no se establece un criterio de comparación que indique si la velocidad es óptima o deficiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Lugo R., Jesús A. *Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles, High Speed Downlink Packet Access (UMTS/HSDPA).* (Presentación web). -- Caracas: CEDITEL, 2010. 191 p.

[2] Guinard S., Cristina E. *Planificación y Optimización de los Recursos radio SDH Región Occidente.* (Tesis). -- Caracas: Universidad Católica Andrés Bello, 2010. p.p 7-20.

[3] 3GPP., *Overview of 3GPP Release 1999.* (Monografía Web), 2010. p.p 4-9.

[4] Kaaranen., Heikki., et al. *UMTS Networks, Architecture, Mobility and Services.* (Libro). -- Reino Unido: Ed. Wiley, 2001. p.p 1-60, 208-264.

[5] Cartaya R., Valentina I. *Diseño de un plan para la reinstalación de equipos GSM en una nueva estructura de soporte y migración hacia tecnología UMTS en la radiobase San Francisco, Maracaibo, Estado Zulia.*(Tesis). -- Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2010. p.p 15-17.

[6]Cadavid S., Jorge A. *Diseño de soluciones que permitan la inclusión de la tecnología IP en la red de acceso actual PDH/SDH de Movilnet, para el transporte de servicios UMTS.* (Tesis). -- Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2009. p.p 24-32.

[7] Korhonen., Juha. *HSDPA – An Introduction.* (Monografía Web). -- Cambridge: TTPCom, 2004. p.p 3-10.

[8] Marija., Skoda. *High Speed Downlink Packet Access.* (Presentación Web). Alemania: Adare Technologies, 2006. 44 p.

[9] Romero Z., Miguel. *Diseño de una Red HSDPA para la Ciudad de Arequipa.* (Tesis). -- Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2009. p.p 12-25.

[10] Cisco Academy, [en línea]. http://www.cisco.com/web/learning/netacad/index.html> [Consulta: 2011].

[11] Montgomery., Douglas, and Runger., George. *Probabilidad y Estadística aplicada a la Ingeniería.* (Libro). -- Reino Unido: Ed. Wiley, 2003. p.p 88-89, 346-347.

[12] Fidias G., Arias. *El Proyecto de Investigación*. (Libro). – Caracas: Ed. Epiesteme, 2006, p. p 142.

[13] Salkind., Neil J. *Métodos de Investigación.* (Libro). – México: Ed. Prentice Hall, 1998. p. p 1-58.

BIBLIOGRAFÍA

Holma., Harri, and Toskala., Antti. *HSDPA/HSUPA for UMTS: High Speed Radio Access for Mobile Communications*. (Libro). –Reino Unido: Ed. Wiley, 2006. 245 p.

Visualware Inc. *Solving Last Mile Connection Speed Problems – Traffic Congestion vs. Traffic Control.* (Monografía Web). -- Estados Unidos, 2007. 6 p.

Visualware Inc. *Never Mind the Connection Speed, Measure the Connection Quality!*. (Monografía Web). -- Estados Unidos, 2007. 8 p.

Visualware Inc. *Understanding Internet Speed Test Results.* (Monografía Web). -- Estados Unidos, 2008. 6 p.

Visualware Inc. *Broadband Speed Tester Benchmark.* (Monografía Web). -- Estados Unidos, 2005. 6 p.

Ookla. *Measuring and Understanding Broadband: Speed, Quality and Application* (Monografía Web). -- Estados Unidos, 2010. 12 p.

GLOSARIO

Aplicación: Programa informático diseñado para permitir al usuario realizar un trabajo especifico.

Arquitectura de red: Conjunto de elementos interconectados entre sí con la finalidad de lograr una función en común.

Aplicación web: Aplicaciones utilizadas por el usuario por medio de un servidor web.

Downlink: Canal de acceso en sentido descendente

Equipo cliente: Equipo encargado de originar y terminar la comunicación.

Equipo servidor: Equipo que provee servicios a distintos equipos clientes.

Estadística descriptiva: Rama de la estadística encargada de representar y analizar datos.

Estándar: Especificaciones que regula la realización de ciertos procesos o la fabricación de componentes para garantizar la interoperabilidad.

Factibilidad humana: Indica el grado de disponibilidad para que usuarios finales puedan emplear servicios generados por un proyecto

Factibilidad técnica: Indica el grado de disponibilidad de equipos y herramientas para llevar a cabo un proyecto.

Herramienta de medición: Equipo, dispositivo y software encargado de comparar magnitudes por medio del método de medición.

Investigación: Actividad que tiene como finalidad la obtención de nuevos conocimientos.

Latencia: Retardo que experimenta un paquete de datos en llegar desde el origen al destino

Licencia de software comercial: Contrato que tiene como finalidad el uso de un software cumpliendo una serie de términos y condiciones establecidas en clausulas.

Licencia de software gratuita: Define un tipo de software que se distribuye sin costo alguno.

Mediana: Representa el valor de posición central de un conjunto de datos.

Modulación: Conjunto de técnicas utilizadas para transportar información sobre una onda portadora.

Protocolo: Conjunto de reglas normalizadas para lograr el envío de información a través de un canal de comunicación.

Router: Equipo utilizado para asegurar el enrutamiento de paquetes de datos.

Servidor web: Equipo que provee servicios de páginas web a equipos cliente.

Software: Suma total de los programas de cómputo, procedimientos, reglas, documentación datos asociados que forman parte de las operaciones del sistema de cómputo.

Switch: Equipo encargado de interconectar segmentos de red.

Uplink: Canal de acceso en sentido ascendente.

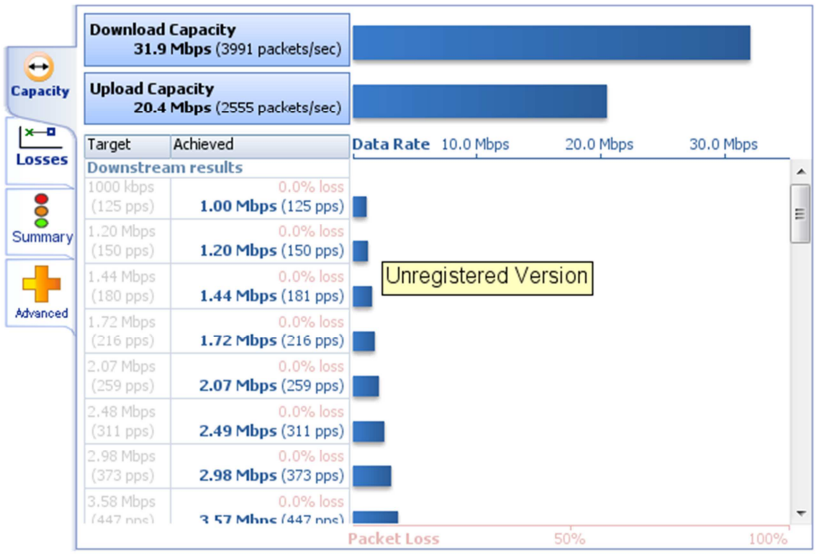
Velocidad de transmisión (Throughput): Volumen de información que fluye a través de un canal de comunicaciones en determinado momento.

ANEXOS

Descripción de herramientas de medición Grupo I

1. MyConnection Server (MCS)

- Interfaz gráfica:



- Configuración básica:

Protocolo utilizado: UDP

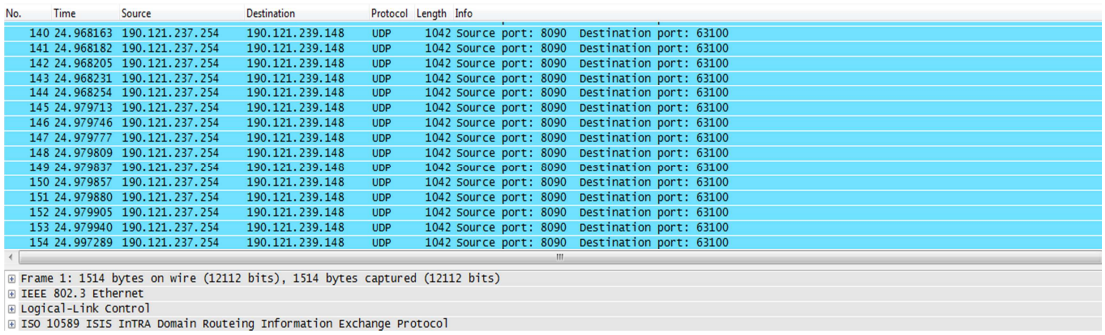
Ancho de banda máximo soportado: 12500 kilobytes por segundo

Transferencia máxima de datos: 100 MB (configurable)

Número máximo de datagramas por segundo: 10000

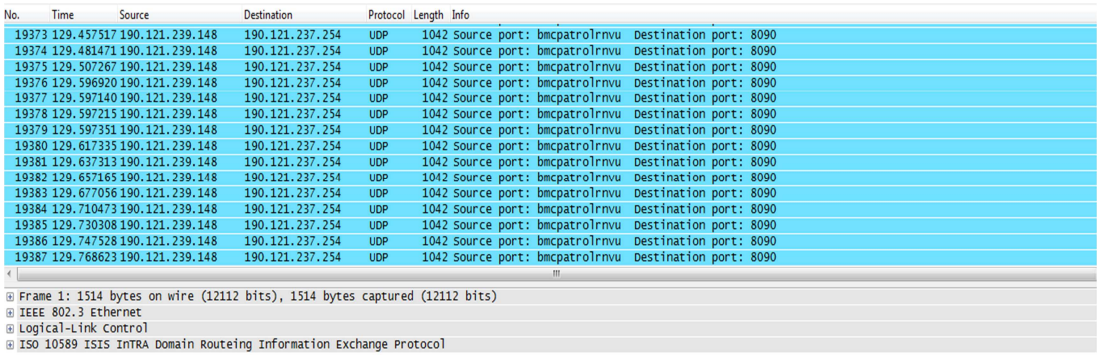
- Descripción del proceso por medio de la herramienta Wireshark

Sentido Downlink:



No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
140	24.968163	190.121.237.254	190.121.239.148	UDP	1042	Source port: 8090 Destination port: 63100
141	24.968182	190.121.237.254	190.121.239.148	UDP	1042	Source port: 8090 Destination port: 63100
142	24.968205	190.121.237.254	190.121.239.148	UDP	1042	Source port: 8090 Destination port: 63100
143	24.968231	190.121.237.254	190.121.239.148	UDP	1042	Source port: 8090 Destination port: 63100
144	24.968254	190.121.237.254	190.121.239.148	UDP	1042	Source port: 8090 Destination port: 63100
145	24.979713	190.121.237.254	190.121.239.148	UDP	1042	Source port: 8090 Destination port: 63100
146	24.979746	190.121.237.254	190.121.239.148	UDP	1042	Source port: 8090 Destination port: 63100
147	24.979777	190.121.237.254	190.121.239.148	UDP	1042	Source port: 8090 Destination port: 63100
148	24.979809	190.121.237.254	190.121.239.148	UDP	1042	Source port: 8090 Destination port: 63100
149	24.979837	190.121.237.254	190.121.239.148	UDP	1042	Source port: 8090 Destination port: 63100
150	24.979857	190.121.237.254	190.121.239.148	UDP	1042	Source port: 8090 Destination port: 63100
151	24.979880	190.121.237.254	190.121.239.148	UDP	1042	Source port: 8090 Destination port: 63100
152	24.979905	190.121.237.254	190.121.239.148	UDP	1042	Source port: 8090 Destination port: 63100
153	24.979940	190.121.237.254	190.121.239.148	UDP	1042	Source port: 8090 Destination port: 63100
154	24.997289	190.121.237.254	190.121.239.148	UDP	1042	Source port: 8090 Destination port: 63100

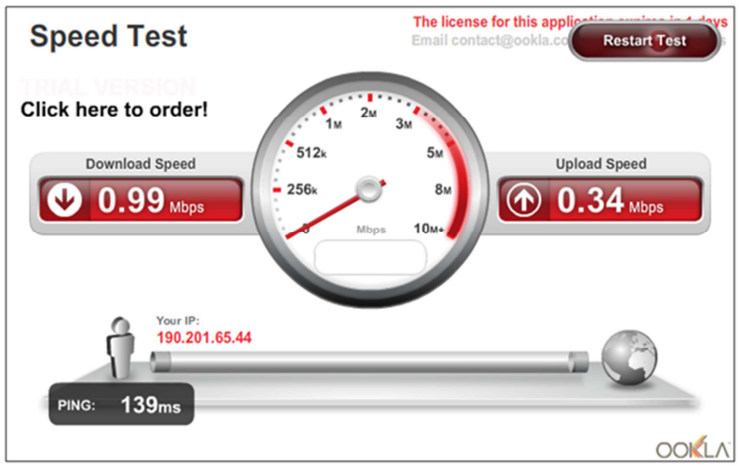
Sentido Uplink:



No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
19373	129.457517	190.121.239.148	190.121.237.254	UDP	1042	Source port: bmcpatrolrnvu Destination port: 8090
19374	129.481471	190.121.239.148	190.121.237.254	UDP	1042	Source port: bmcpatrolrnvu Destination port: 8090
19375	129.507267	190.121.239.148	190.121.237.254	UDP	1042	Source port: bmcpatrolrnvu Destination port: 8090
19376	129.596920	190.121.239.148	190.121.237.254	UDP	1042	Source port: bmcpatrolrnvu Destination port: 8090
19377	129.597140	190.121.239.148	190.121.237.254	UDP	1042	Source port: bmcpatrolrnvu Destination port: 8090
19378	129.597215	190.121.239.148	190.121.237.254	UDP	1042	Source port: bmcpatrolrnvu Destination port: 8090
19379	129.597351	190.121.239.148	190.121.237.254	UDP	1042	Source port: bmcpatrolrnvu Destination port: 8090
19380	129.617335	190.121.239.148	190.121.237.254	UDP	1042	Source port: bmcpatrolrnvu Destination port: 8090
19381	129.637313	190.121.239.148	190.121.237.254	UDP	1042	Source port: bmcpatrolrnvu Destination port: 8090
19382	129.657165	190.121.239.148	190.121.237.254	UDP	1042	Source port: bmcpatrolrnvu Destination port: 8090
19383	129.677056	190.121.239.148	190.121.237.254	UDP	1042	Source port: bmcpatrolrnvu Destination port: 8090
19384	129.710473	190.121.239.148	190.121.237.254	UDP	1042	Source port: bmcpatrolrnvu Destination port: 8090
19385	129.730308	190.121.239.148	190.121.237.254	UDP	1042	Source port: bmcpatrolrnvu Destination port: 8090
19386	129.747528	190.121.239.148	190.121.237.254	UDP	1042	Source port: bmcpatrolrnvu Destination port: 8090
19387	129.768623	190.121.239.148	190.121.237.254	UDP	1042	Source port: bmcpatrolrnvu Destination port: 8090

2. Ookla

- Interfaz Gráfica:



- Configuración básica:

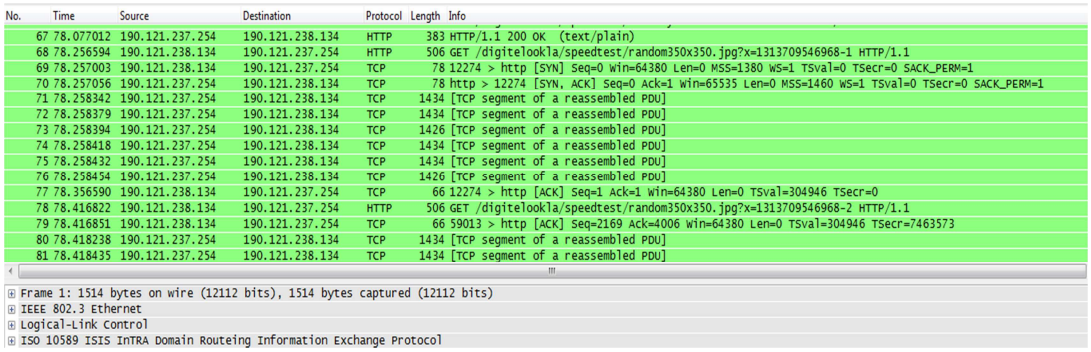
  Protocolo utilizado: TCP

  Tamaño de archivo utilizado:

  - 493 KB
  - 1,06 MB
  - 1,89 MB
  - 4,26 MB
  - 7,54 MB
  - 11,8 MB
  - 16,9 MB
  - 23,1 MB
  - 30,1 MB

- Descripción del proceso por medio de la herramienta Wireshark

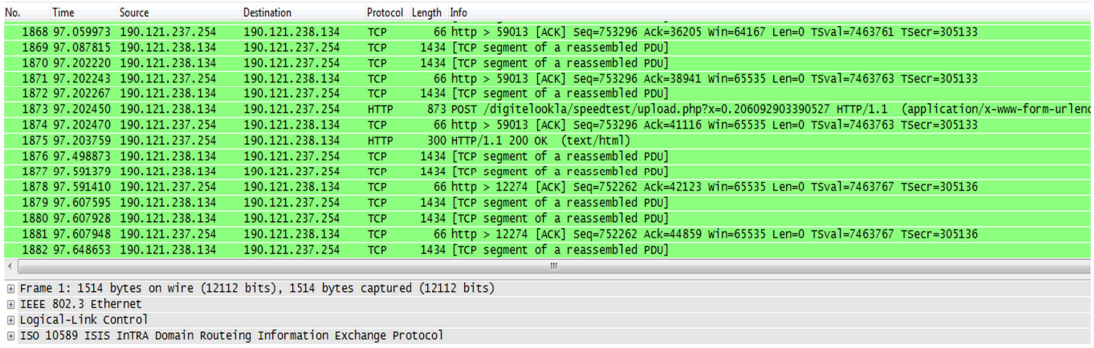
Sentido Downlink:



No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
67	78.077012	190.121.237.254	190.121.238.134	HTTP	383	HTTP/1.1 200 OK (text/plain)
68	78.256594	190.121.238.134	190.121.237.254	HTTP	506	GET /digitelookla/speedtest/random350x350.jpg?x=1313709546968-1 HTTP/1.1
69	78.257003	190.121.238.134	190.121.237.254	TCP	78	12274 > http [SYN] Seq=0 Win=64380 Len=0 MSS=1380 WS=1 TSval=0 TSecr=0 SACK_PERM=1
70	78.257056	190.121.237.254	190.121.238.134	TCP	78	http > 12274 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=65535 Len=0 MSS=1460 WS=1 TSval=0 TSecr=0 SACK_PERM=1
71	78.258342	190.121.237.254	190.121.238.134	TCP	1434	[TCP segment of a reassembled PDU]
72	78.258379	190.121.237.254	190.121.238.134	TCP	1434	[TCP segment of a reassembled PDU]
73	78.258394	190.121.237.254	190.121.238.134	TCP	1426	[TCP segment of a reassembled PDU]
74	78.258418	190.121.237.254	190.121.238.134	TCP	1434	[TCP segment of a reassembled PDU]
75	78.258432	190.121.237.254	190.121.238.134	TCP	1434	[TCP segment of a reassembled PDU]
76	78.258454	190.121.237.254	190.121.238.134	TCP	1426	[TCP segment of a reassembled PDU]
77	78.356590	190.121.238.134	190.121.237.254	TCP	66	12274 > http [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=64380 Len=0 TSval=304946 TSecr=0
78	78.416822	190.121.238.134	190.121.237.254	HTTP	506	GET /digitelookla/speedtest/random350x350.jpg?x=1313709546968-2 HTTP/1.1
79	78.416851	190.121.238.134	190.121.237.254	TCP	66	59013 > http [ACK] Seq=2169 Ack=4006 Win=64380 Len=0 TSval=304946 TSecr=7463573
80	78.418238	190.121.237.254	190.121.238.134	TCP	1434	[TCP segment of a reassembled PDU]
81	78.418435	190.121.237.254	190.121.238.134	TCP	1434	[TCP segment of a reassembled PDU]

```
⊞ Frame 1: 1514 bytes on wire (12112 bits), 1514 bytes captured (12112 bits)
⊞ IEEE 802.3 Ethernet
⊞ Logical-Link Control
⊞ ISO 10589 ISIS InTRA Domain Routeing Information Exchange Protocol
```

Sentido Uplink:

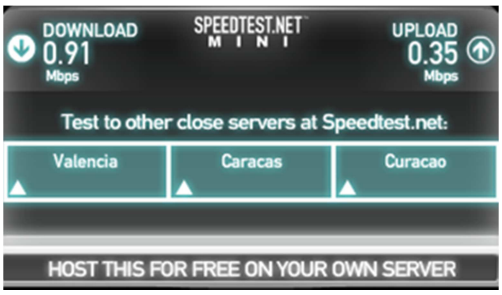


No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1868	97.059973	190.121.237.254	190.121.238.134	TCP	66	http > 59013 [ACK] Seq=753296 Ack=36205 Win=64167 Len=0 TSval=7463761 TSecr=305133
1869	97.087815	190.121.238.134	190.121.237.254	TCP	1434	[TCP segment of a reassembled PDU]
1870	97.202220	190.121.238.134	190.121.237.254	TCP	1434	[TCP segment of a reassembled PDU]
1871	97.202243	190.121.237.254	190.121.238.134	TCP	66	http > 59013 [ACK] Seq=753296 Ack=38941 Win=65535 Len=0 TSval=7463763 TSecr=305133
1872	97.202267	190.121.238.134	190.121.237.254	TCP	1434	[TCP segment of a reassembled PDU]
1873	97.202450	190.121.238.134	190.121.237.254	HTTP	873	POST /digitelookla/speedtest/upload.php?x=0.206092903390527 HTTP/1.1 (application/x-www-form-urlenc
1874	97.202470	190.121.237.254	190.121.238.134	TCP	66	http > 59013 [ACK] Seq=753296 Ack=41116 Win=65535 Len=0 TSval=7463763 TSecr=305133
1875	97.203759	190.121.237.254	190.121.238.134	HTTP	300	HTTP/1.1 200 OK (text/html)
1876	97.498873	190.121.238.134	190.121.237.254	TCP	1434	[TCP segment of a reassembled PDU]
1877	97.591379	190.121.238.134	190.121.237.254	TCP	1434	[TCP segment of a reassembled PDU]
1878	97.591410	190.121.237.254	190.121.238.134	TCP	66	http > 12274 [ACK] Seq=752262 Ack=42123 Win=65535 Len=0 TSval=7463767 TSecr=305136
1879	97.607595	190.121.238.134	190.121.237.254	TCP	1434	[TCP segment of a reassembled PDU]
1880	97.607928	190.121.238.134	190.121.237.254	TCP	1434	[TCP segment of a reassembled PDU]
1881	97.607948	190.121.237.254	190.121.238.134	TCP	66	http > 12274 [ACK] Seq=752262 Ack=44859 Win=65535 Len=0 TSval=7463767 TSecr=305136
1882	97.648653	190.121.238.134	190.121.237.254	TCP	1434	[TCP segment of a reassembled PDU]

```
⊞ Frame 1: 1514 bytes on wire (12112 bits), 1514 bytes captured (12112 bits)
⊞ IEEE 802.3 Ethernet
⊞ Logical-Link Control
⊞ ISO 10589 ISIS InTRA Domain Routeing Information Exchange Protocol
```

3. Speedtest Mini

- Interfaz Gráfica:



- Configuración básica:

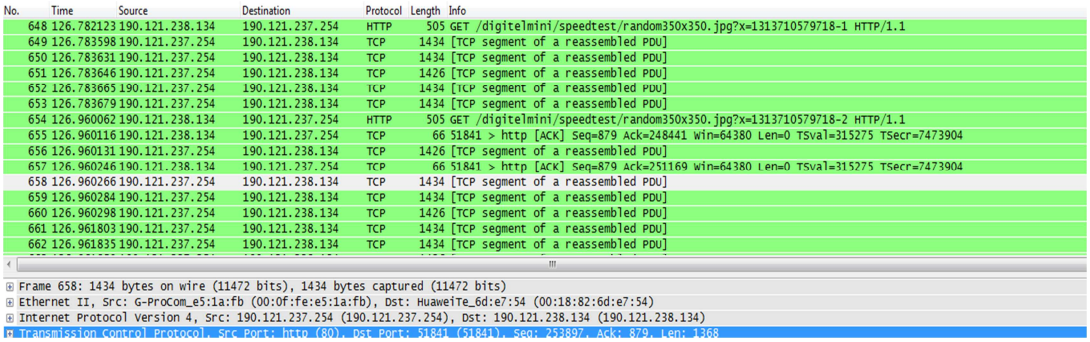
  Protocolo utilizado: TCP

  Tamaño de archivo utilizado:

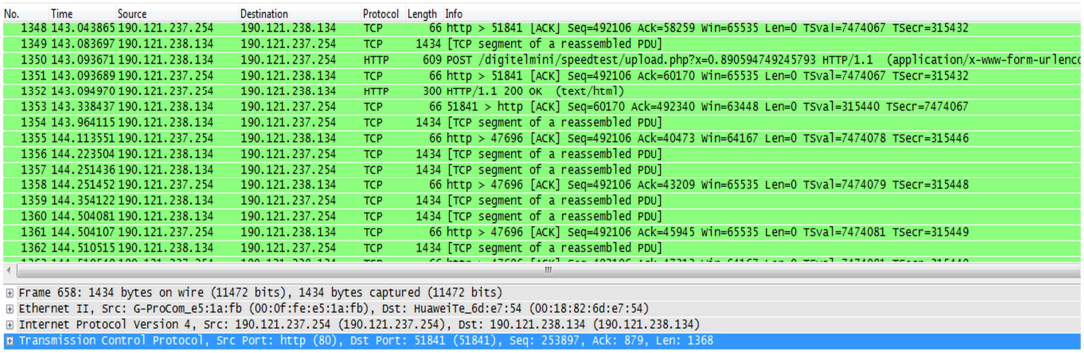
  - 493 KB
  - 1,06 MB
  - 1,89 MB
  - 4,26 MB
  - 7,54 MB
  - 11,8 MB
  - 16,9 MB
  - 23,1 MB
  - 30,1 MB

- Descripción del proceso por medio de la herramienta Wireshark

Sentido Downlink:

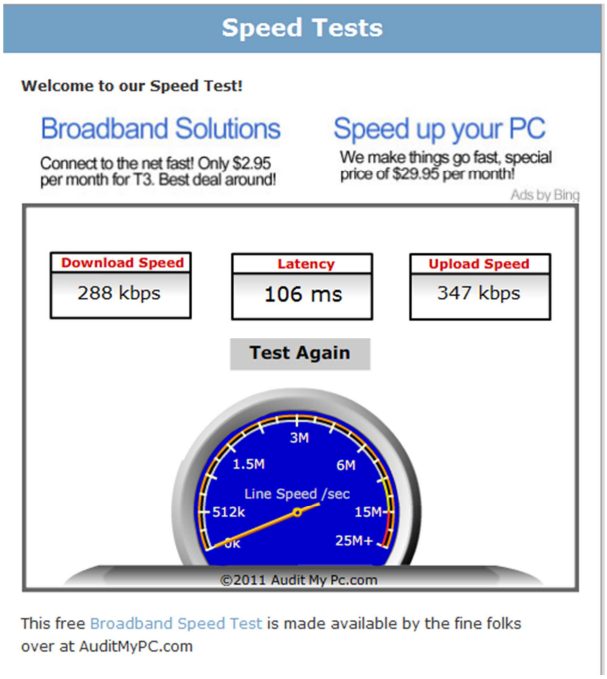


Sentido Uplink:



4. Audit

- Interfaz Gráfica:



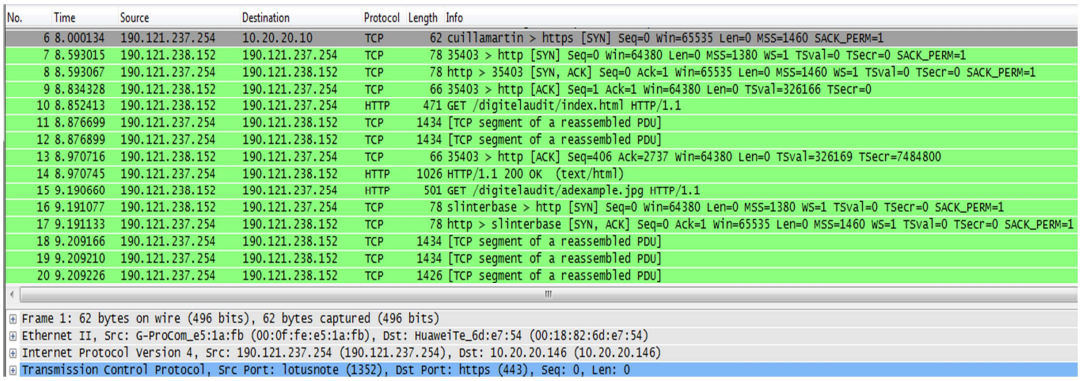
- Configuración básica:

  Protocolo utilizado: TCP

  Tamaño de archivo utilizado: 1,87 MB

- Descripción del proceso por medio de la herramienta Wireshark

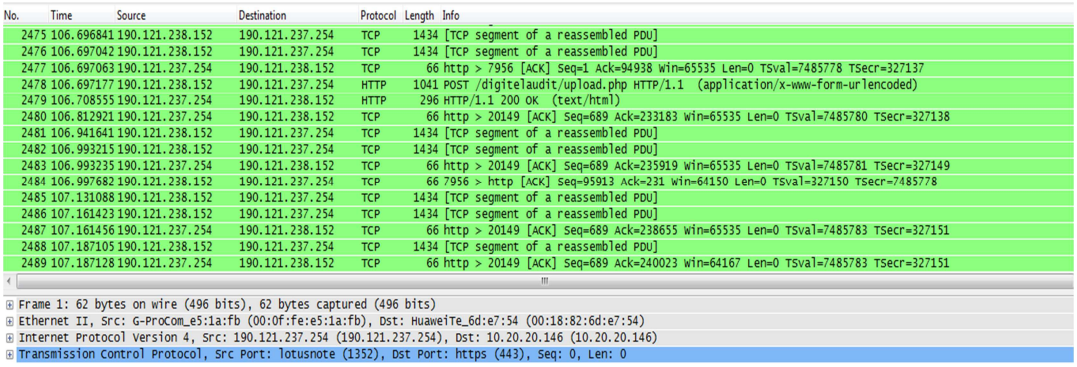
Sentido Downlink:



No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
6	8.000134	190.121.237.254	10.20.20.10	TCP	62	cuillamartin > https [SYN] Seq=0 Win=65535 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
7	8.593015	190.121.238.152	190.121.237.254	TCP	78	35403 > http [SYN] Seq=0 Win=64380 Len=0 MSS=1380 WS=1 TSval=0 TSecr=0 SACK_PERM=1
8	8.593067	190.121.237.254	190.121.238.152	TCP	78	http > 35403 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=65535 Len=0 MSS=1460 WS=1 TSval=0 TSecr=0 SACK_PERM=1
9	8.834328	190.121.238.152	190.121.237.254	TCP	66	35403 > http [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=64380 Len=0 TSval=326166 TSecr=0
10	8.852413	190.121.238.152	190.121.237.254	HTTP	471	GET /digitelaudit/index.html HTTP/1.1
11	8.876699	190.121.237.254	190.121.238.152	TCP	1434	[TCP segment of a reassembled PDU]
12	8.876899	190.121.237.254	190.121.238.152	TCP	1434	[TCP segment of a reassembled PDU]
13	8.970716	190.121.238.152	190.121.237.254	TCP	66	35403 > http [ACK] Seq=406 Ack=2737 Win=64380 Len=0 TSval=326169 TSecr=7484800
14	8.970745	190.121.237.254	190.121.238.152	HTTP	1026	HTTP/1.1 200 OK (text/html)
15	9.190660	190.121.238.152	190.121.237.254	HTTP	501	GET /digitelaudit/adexample.jpg HTTP/1.1
16	9.191077	190.121.238.152	190.121.237.254	TCP	78	slinterbase > http [SYN] Seq=0 Win=64380 Len=0 MSS=1380 WS=1 TSval=0 TSecr=0 SACK_PERM=1
17	9.191133	190.121.237.254	190.121.238.152	TCP	78	http > slinterbase [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=65535 Len=0 MSS=1460 WS=1 TSval=0 TSecr=0 SACK_PERM=1
18	9.209166	190.121.237.254	190.121.238.152	TCP	1434	[TCP segment of a reassembled PDU]
19	9.209210	190.121.237.254	190.121.238.152	TCP	1434	[TCP segment of a reassembled PDU]
20	9.209226	190.121.237.254	190.121.238.152	TCP	1426	[TCP segment of a reassembled PDU]

```
Frame 1: 62 bytes on wire (496 bits), 62 bytes captured (496 bits)
Ethernet II, Src: G-ProCom_e5:1a:fb (00:0f:fe:e5:1a:fb), Dst: HuaweiTe_6d:e7:54 (00:18:82:6d:e7:54)
Internet Protocol Version 4, Src: 190.121.237.254 (190.121.237.254), Dst: 10.20.20.146 (10.20.20.146)
Transmission Control Protocol, Src Port: lotusnote (1352), Dst Port: https (443), Seq: 0, Len: 0
```

Sentido Uplink:



No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
2475	106.696841	190.121.238.152	190.121.237.254	TCP	1434	[TCP segment of a reassembled PDU]
2476	106.697042	190.121.238.152	190.121.237.254	TCP	1434	[TCP segment of a reassembled PDU]
2477	106.697063	190.121.237.254	190.121.238.152	TCP	66	http > 7956 [ACK] Seq=1 Ack=94938 Win=65535 Len=0 TSval=7485778 TSecr=327137
2478	106.697177	190.121.238.152	190.121.237.254	HTTP	1041	POST /digitelaudit/upload.php HTTP/1.1 (application/x-www-form-urlencoded)
2479	106.708555	190.121.237.254	190.121.238.152	HTTP	296	HTTP/1.1 200 OK (text/html)
2480	106.812921	190.121.237.254	190.121.238.152	TCP	66	http > 20149 [ACK] Seq=689 Ack=233183 Win=65535 Len=0 TSval=7485780 TSecr=327138
2481	106.941641	190.121.238.152	190.121.237.254	TCP	1434	[TCP segment of a reassembled PDU]
2482	106.993215	190.121.238.152	190.121.237.254	TCP	1434	[TCP segment of a reassembled PDU]
2483	106.993235	190.121.237.254	190.121.238.152	TCP	66	http > 20149 [ACK] Seq=689 Ack=235919 Win=65535 Len=0 TSval=7485781 TSecr=327149
2484	106.997682	190.121.238.152	190.121.237.254	TCP	66	7956 > http [ACK] Seq=95913 Ack=231 Win=64150 Len=0 TSval=327150 TSecr=7485778
2485	107.131088	190.121.238.152	190.121.237.254	TCP	1434	[TCP segment of a reassembled PDU]
2486	107.161423	190.121.238.152	190.121.237.254	TCP	1434	[TCP segment of a reassembled PDU]
2487	107.161456	190.121.237.254	190.121.238.152	TCP	66	http > 20149 [ACK] Seq=689 Ack=238655 Win=65535 Len=0 TSval=7485783 TSecr=327151
2488	107.187105	190.121.238.152	190.121.237.254	TCP	1434	[TCP segment of a reassembled PDU]
2489	107.187128	190.121.237.254	190.121.238.152	TCP	66	http > 20149 [ACK] Seq=689 Ack=240023 Win=64167 Len=0 TSval=7485783 TSecr=327151

```
Frame 1: 62 bytes on wire (496 bits), 62 bytes captured (496 bits)
Ethernet II, Src: G-ProCom_e5:1a:fb (00:0f:fe:e5:1a:fb), Dst: HuaweiTe_6d:e7:54 (00:18:82:6d:e7:54)
Internet Protocol Version 4, Src: 190.121.237.254 (190.121.237.254), Dst: 10.20.20.146 (10.20.20.146)
Transmission Control Protocol, Src Port: lotusnote (1352), Dst Port: https (443), Seq: 0, Len: 0
```