

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE MONTERREY**



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY®**

**Análisis del Comportamiento de Tráfico “TCP”
sobre Redes Inalámbricas de Banda Ancha
CDMA 2000**

Autor:

José Miguel García Ramos

**Sometido al Programa de Graduados en Informática y
Computación en cumplimiento parcial con los
requerimientos para obtener el grado de:**

Maestro en Ciencias de la Computación

Asesor:

Dr. Jesús Arturo Pérez Díaz

Cuernavaca, Morelos. Abril del 2008

Análisis del Comportamiento de Tráfico “TCP” sobre Redes Inalámbricas de Banda Ancha CDMA 2000

Presentada por:

José Miguel García Ramos

Aprobada por:

Dr. Jesús Arturo Pérez Díaz

Director del Departamento de Tecnologías de la Información y Mecatrónica

División de Profesional y Posgrado

Tecnológico de Monterrey, Campus Cuernavaca

Asesor de Tesis

Dr. José Martín Molina Espinosa

Director: Maestría en Ciencias de la Computación MCC,

Doctorado en Ciencias Computacionales DCC

Tecnológico de Monterrey, Campus Ciudad de México

Sinodal

Dr. Gabriel González Serna

Coordinador de la especialidad de sistemas Distribuidos,

Departamento de Ciencias computacionales

Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (cenidet)

Sinodal

Dedicatoria

A mi esposa, Denih Díaz Morales, porque siempre me ha alentado a seguir adelante, siendo mi apoyo, mi confidente; sin su apoyo no hubiera podido cumplir este y otros objetivos en mi vida, además de las metas familiares. ¡Te amo!

A mis hijas Ana Paula y Danah Elisa, porque aun dentro de su inocencia, han sido capaces de impulsarme y respaldarme en momentos de flaqueza. Las quiero mucho.

Agradecimientos.

A Dios por que siempre me ha demostrado que esta conmigo, por sus bendiciones y por permitirme llegar a una meta más en mi vida.

A mi esposa Denih Díaz Morales por darme su apoyo incondicional y siempre tener una sonrisa en su rostro para compartirla conmigo.

A mis hijas Ana Paula y Danah Elisa por su alegría, amor, cariño e interés en cada uno de mis proyectos, siempre siendo parte de ellos.

A mis padres Miguel García Mendizábal y Hortensia Ramos Selley, por enseñarme el valor de la constancia, la perseverancia y el esfuerzo.

A mis hermanos Luis, Marco, Norma, Araceli y Ofelia, por que me han demostrado que desde su trinchera cada uno sabe salir adelante con esfuerzo y trabajo, sirviéndome como ejemplo.

A mis suegros Marcos Díaz Madrid y Martha Morales Andrade, por su apoyo, amistad y cariño; así como su impulso para alcanzar esta y otras metas.

A mi amiga y compañera de la maestría Miriam Calderón Reyes, por su amistad y apoyo en todos los proyectos realizados. ¡Éxito en lo que te propongas!

A Lesvia Elena Ruiz Velásquez, por que en poco tiempo me demostró amistad, me apoyo en la realización de todas las pruebas y se interesó en respaldarme.

A mi profesor y asesor de Tesis, Dr. Jesús Arturo Pérez Díaz, por el tiempo que me dedicó, su enseñanza, su asesoría, su apoyo y paciencia en la realización de este trabajo.

A mis sinodales, Dr. Martín Molina y Dr. Gabriel González, por sus observaciones y aportaciones para que se enriqueciera este documento.

A Todos Ustedes. MUCHAS GRACIAS

RESUMEN

El comportamiento y funcionamiento de TCP sobre redes inalámbricas es diferente que en las redes cableadas, para las cuales fue creado originalmente. Es por eso que el conocer cómo actúa y cómo se afecta en las redes inalámbricas, toma un sentido de gran interés, ya que si bien sus sistemas de control se siguen presentando, existen otras causas por las que su desempeño se ve afectado.

Al analizar su comportamiento no tan solo en condiciones estáticas, si no también en condiciones de movimiento a diferentes velocidades, nos lleva a entender cuáles son las diferencias que se presentan en este sentido, entre las redes cableadas y las inalámbricas, así como qué tanto la movilidad puede afectar el desempeño de una red.

También, el saber cuáles son los servicios, que de acuerdo con sus capacidades, son aptas estas tecnologías, es de gran utilidad; pues el conocer si esta red tiene las características para poder hacer uso de servicios aún estando en movimiento tales como bajar archivos, tener acceso a páginas web, uso del correo electrónico, puede llevarnos a tomar una decisión para el uso y adquisición de estas tecnologías, dependiendo de nuestras necesidades.

Como resultado de la investigación de la presente tesis, se identificó la forma como los diferentes parámetros de calidad: latencia, jitter y porcentaje de paquetes perdidos, presentan un claro decrecimiento en sus resultados, relacionado con el incremento en la velocidad a la que se mueva el nodo. Para observar esta característica con mayor claridad, se presentan resultados numéricos, así como una serie de gráficas, que nos dan una clara visión de esta baja en su desempeño. Del mismo modo, también presentamos las fórmulas en función de la velocidad y las gráficas finales, que nos representan su comportamiento.

Finalmente, a través de esta tesis se presentan resultados que nos permitirán ofrecer información para entender lo que nos ofrece la tecnología CDMA2000, cómo se comporta y cuáles son sus alcances, también el poder mencionar y sugerir futuras investigaciones que permitan conocer y mejorar la comprensión de su funcionamiento.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	I
TABLA DE CONTENIDO.....	II
LISTA DE FIGURAS.....	IV
LISTA DE TABLAS.....	VI

Capitulo 1

INTRODUCCION

1.1.- Antecedente.....	3
1.2.- Planteamiento del Problema.....	4
1.3.- Objetivo de la tesis.....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Particulares.....	5
1.4.- Alcances y Limitaciones	5
1.5.- Trabajos Relacionados.....	6
1.6.- Metodología de Desarrollo.....	7
1.7.- Organización de la Tesis	7

Capitulo 2

ESTADO DEL ARTE

2.1 Redes de 3G Tercera Generación.....	9
2.2 Tecnología CDMA2000.....	10
2.2.1 Características.....	10
2.2.2 Pila de Protocolos.....	14
2.2.3 Modulación y Ortogonalidad.....	16
2.2.4 Estructura general.....	17
2.2.5 El futuro de CDMA2000.....	18
2.3 TCP/IP.....	19
2.3.1 Capas de TCP/IP	19
2.3.2 Estructura de TCP/IP	22
2.3.3 Funcionamiento de TCP/IP	24
2.3.4 Concepto de congestión	26
2.3.5 Resumen de TCP	27
2.4.- TCP en redes inalámbricas.....	28
2.4.1 Concepto de Jitter	28
2.4.2 Concepto de Retardo o latencia	29
2.4.3 Concepto de paquetes perdidos.....	29
2.5.- Resumen del capítulo.....	30

Capitulo 3

DISEÑO DEL ENTORNO DE PRUEBAS

3.1.- Diagrama de pruebas.....	31
3.2.- Metodología de pruebas.....	32
3.3.- Resumen del Capítulo.....	35

Capitulo 4

IMPLEMENTACIÓN DE EXPERIMENTOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

4.1.- Descripción y frecuencia de Pruebas	36
4.2.- Análisis de Resultados.....	37
4.2.1 Pruebas en fijo.....	37
4.2.2 Pruebas en Movimiento.....	41
4.2.2.1 Pruebas a 60 Km/h.....	41
4.2.2.2 Pruebas a 100 Km/h.....	44
4.2.3 Comparativo Fijo vs Movimiento.....	47
4.2.3.1 Mejores y Peores resultados.....	47
4.2.3.2 Valores promedios y funciones representativas.....	49
4.3.- Obstáculos que se presentaron.....	56
4.4.- Resumen del Capítulo.....	57

Capitulo 5

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

5.1 Objetivos Alcanzados.....	58
5.2 Conclusiones.....	59
5.3 Trabajos Futuros.....	60

REFERENCIAS.....	62
------------------	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Pila de protocolos CDMA200015
Figura 2.2	Códigos Walsh (Códigos ortogonales)16
Figura. 2.3	Arquitectura de alto nivel para una red CDMA2000 1xEV-DO.....	17
Figura 2.4	Red inalámbrica CDMA2000 1xEV-DO17
Figura 2.5	Estructura de TCP/IP22
Figura 4.1	Resultado de latencia, prueba fija lunes 13-15 hrs.....	38
Figura 4.2	Resultado de jitter, prueba fija lunes 13-15 hrs.....	38
Figura 4.3	Resultado de herramienta MIJO, prueba fija lunes 13-15 hrs.....	39
Figura 4.4	Resultado de latencia, prueba a 60Km/h miércoles 17-19 hrs.....	41
Figura 4.5	Resultado de jitter, prueba a 60Km/h miércoles 17-19 hrs.....	41
Figura 4.6	Resultado de herramienta MIJO, prueba fija miércoles 17-19 hrs.....	42
Figura 4.7	Resultado de latencia, prueba a 100Km/h viernes 9-11 hrs.....	44
Figura 4.8	Resultado de jitter, prueba a 100Km/h viernes 9-11 hrs.....	44
Figura 4.9	Resultado de herramienta MIJO, prueba a 100Km/h viernes 9-11 hr.....	45
Figura 4.10	Comparación de latencia, mejores valores en cada velocidad.....	48

Figura 4.11	Comparación de jitter, mejores valores en cada velocidad.....	48
Figura 4.12	Comparación de latencia, peores valores en cada velocidad.....	49
Figura 4.13	Comparación de jitter, peores valores en cada velocidad.....	49
Figura 4.14	Puntos (x,y) de valores promedio en paquetes totales.....	51
Figura 4.15	Representación completa de valores promedio en paquetes totales....	52
Figura 4.16	Puntos (x,y) de valores promedio en latencia.....	52
Figura 4.17	Representación completa de valores promedio en latencia.....	53
Figura 4.18	Puntos (x,y) de valores promedio en jitter.....	53
Figura 4.19	Representación completa de valores promedio en jitter.....	54
Figura 4.20	Puntos (x,y) de valores promedio en porcentaje de paquetes perdidos.....	54
Figura 4.21	Representación completa de valores promedio en porcentaje de paquetes perdidos.....	55

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1	Modelo TCP/IP20
Tabla 4.1	Resultado general de pruebas fijas40
Tabla 4.2	Resultado general de pruebas a 60 Km/h43
Tabla 4.3	Resultado general de pruebas a 100 Km/h46
Tabla 4.4	Comparativo Fija vs Movimiento47
Tabla 4.5	Valores promedio del nodo móvil, a diferentes velocidades.....	50

Capítulo 1

Introducción

1.1 Antecedentes

La tecnología CDMA2000 [PANG 2004] fue pensada desde el principio para la transmisión tanto de voz como de datos, lo cual fue la principal razón de su crecimiento en Europa, por ejemplo los teléfonos celulares de tercera generación UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) y WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) siendo estos dos sistemas parte esencial en la comunicación actual en todo el continente europeo, mismos que están basados en CDMA2000, teniendo en la actualidad cerca de 300 millones de suscriptores.

Esta tecnología comenzó en una pequeña compañía llamada Qualcomm, la cual trabajó en técnicas de secuencias de espectro disperso, por lo que descubrió que un gran número de usuarios pueden ocupar el mismo canal con un esquema de códigos de múltiples accesos.

Aunque el primer estándar fue liberado en 1993, fue hasta el año de 1996, cuando la primera red fue lanzada en Hong Kong y se llamó cdmaOne. Este estándar IS-95 tenía una tasa de transferencia de datos de 14.4 Kbps, para la segunda revisión IS-95B se incrementó a 64 Kbps. Dentro de las principales características de este estándar es que cuenta con anchos de banda por canal de 1.25 Mhz y junto con el uso de códigos Walsh y códigos de desplazamiento (códigos de ortogonalidad), las frecuencias que utiliza, pueden ser re-usadas aún estando en células adyacentes. En relación a su modulación usa QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) para los canales de bajada y OQPSK (*Offset Quadrature Phase Shift Keying*) para los de subida [KNIS 1998].

En los años siguientes a esta segunda revisión y con el desarrollo de la tecnología 3G, se creó la siguiente actualización de este estándar llamado CDMA2000, el cual contó con rangos de 144 Kbps y algunas otras mejoras, como el incremento en el tiempo de vida de las baterías en terminales móviles. Siguiendo con su evolución, la siguiente revisión se dividió en dos partes el CDMA2000 1xEV –DO (*Evolution data optimized*) y el CDMA2000 1xEV-DV (*Evolution data and voice*).

El CDMA2000 1xEV-DO primera revisión, teóricamente soporta velocidades de 2.4 Mbps en el sentido de bajada y de 153 Kbps en subida, siendo esta la versión que estaba vigente en nuestro país al momento de realizar nuestra investigación. La siguiente revisión de esta misma tecnología, incrementó a 3.1 Mbps de bajada y 1.84 Mbps de subida, mejorado los mecanismos de QoS. La primera red de este tipo se introdujo en Korea en enero del 2002. CDMA2000 1xEV-DV incorpora tanto datos como voz y es compatible con cdmaOne y con cdma2000, este estándar maneja 3.1 Mbps en ambos sentidos.

Por otro lado aunque el protocolo que usan la mayoría de las redes inalámbricas es TCP, es sabido que fue creado pensando en redes cableadas, por lo que su funcionamiento no es el más adecuado en condiciones inalámbricas. Este protocolo cuando detecta pérdida de paquetes automáticamente lo relaciona con congestión, reduciendo su ventana deslizante, afectando las tasas de transferencia.

En cambio en redes inalámbricas, la pérdida de paquetes puede ser por potencia en transmisores, obstrucciones o por el mismo medio de transmisión, el cual afecta la señal dependiendo de las circunstancias atmosféricas, la existencia de lluvia, la velocidad del viento, el grado de nubosidad, etc. Un ejemplo de que tanto puede afectar al comportamiento de redes inalámbricas, se puede observar en un artículo que realizó el estudio del comportamiento de TCP en la tecnología de Wimax [PERE 2006], también inalámbrica, en donde se pueden apreciar el incremento en las pérdidas de paquetes hasta en más del 30 % en malas condiciones atmosféricas, sin olvidar que no es la única causa de su bajo desempeño.

Por consiguiente y debido al ya mencionado bajo rendimiento de TCP, una gran cantidad de investigadores han realizado numerosas propuestas, sugiriendo una serie de opciones de mejora contemplando en cada caso diferentes metodologías, dentro de las cuales se sugiere poner una capa paralela re-usando la información existente y que apoye el funcionamiento de TCP/IP [CHIN 2003], hacer uso de capas adicionales [KLIA 2006], así como sugerencias en aspectos de mejoras en algoritmos y su desempeño en general.

En el caso de la red inalámbrica CDMA2000, parte de nuestro análisis será ver el comportamiento que presenta TCP en esta tecnología, no tan solo en clientes estáticos, si no también con aquellos que se encuentren en movimiento a distintas velocidades, con lo cual buscaremos obtener resultados generales para presentar tendencias en el comportamiento de TCP.

1.2 Planteamiento del Problema.

Siendo una tecnología relativamente nueva en nuestro país, el rendimiento que presenta la red no ha sido muy estudiado, se le ofreció a la empresa IUSACELL, primera proveedora en nuestro país, la entrega de los resultados obtenidos; con la intención de que tuviera más herramientas para la comercialización de la tecnología a una mayor gama de clientes, pensando de principio no tan solo en lo individual, si no también pensando en los requerimientos que tienen las empresas.

1.3 Objetivos de la Tesis

1.3.1 Objetivo General

- Analizar el comportamiento de TCP sobre las redes inalámbricas CDMA2000. Comprobar y obtener las características de comportamiento de TCP en CDMA2000 en lo concerniente a clientes móviles.

1.3.2 Objetivos Particulares

- Conocer y manejar correctamente los conceptos de *jitter*, *delay* o latencia y porcentaje de paquetes perdidos, con la finalidad de obtenerlos en la red CDMA2000, para apoyar al estudio y análisis del comportamiento de TCP en la misma red.
- Con los resultados obtenidos, respaldar la aseveración relacionada con cuáles son los servicios, para los que esta tecnología es apta y tiene la capacidad de soportarlos, con la intención de ofrecerlos a sus usuarios, tanto en un ámbito fijo como en movimiento.
- Aprender el funcionamiento de distintas herramientas y paquetes como el NTP (*Network Time Protocol*), TCPdump, TCPtrace, Ethereal, etc. Con la finalidad de apoyarnos en ellos para la obtención de resultados y estadísticas.

1.4 Alcance y Limitaciones.

El alcance general de esta propuesta de tesis será el realizar mediciones del comportamiento general de TCP sobre la red inalámbrica de CDMA2000 que existe en nuestro país, basado en la tarjeta BAM de lusacell; único proveedor al momento de realizar este trabajo. Al mismo tiempo será observar su comportamiento con clientes móviles a velocidades que oscilen entre los 30 y 100 Km/h, no más de esta velocidad, ya que se probará en las carreteras existentes en la zona de Cuernavaca-Temixco-Xochitepec y a mayor velocidad se estará excediendo el límite de velocidad permitido.

Otro alcance a considerar es que se realizará con un solo nodo móvil, ya que sólo se cuenta con una tarjeta de acceso a esta tecnología, además de que para un mayor número de usuarios se requeriría de mayores recursos, en relación al número de vehículos que tendrían que estar en movimiento al mismo tiempo.

Finalmente una limitación que se presentó fue que la red de CDMA2000 que tiene la compañía lusacell, cuenta con distintos sistemas de seguridad, uno de ellos es evitar que se envíe, desde un nodo fuera de la red lusacell, un flujo grande de información del cual pueda considerar que la llegue a saturar, pues la red lo considera como un ataque y los bloquea, en este sentido, por el momento no se consiguió el permiso de la empresa para contar con una dirección con ciertos privilegios, la cual pudiera evitar estos sistemas de protección.

1.5 Trabajos Relacionados.

Mobility and session management: UMTS vs. cdma2000

En este artículo publicado en la *Wireless Communications*, IEEE en Agosto del 2004 y escrito por Ai-Chun Pang; Jyh-Cheng Chen; Yuan-Kai Chen; Agrawal, P, se realiza una comparación general del funcionamiento que presenta la tecnología de tercera generación de teléfonos celulares UMTS vs CDMA2000 y más específicamente en lo relacionado a sus características de movilidad, así mismo habla de los mecanismos de movilidad que se conocen para dar un seguimiento, por mencionar algunos *Radio Mobility, Mobility e IP*.

Evaluation of TCP performance on cdma2000 1x system using computer simulation

En este artículo publicado en la 10th Internacional *Conference on Telecommunications*, 2003 y escrito por Ai Shinbo, H.; Idoue, A.; Hasegawa, T.; Ohashi, M. Se habla de los canales lógicos que son utilizados tanto en el sentido de bajada (*downlink*), como en el de subida (*uplink*), así mismo nos menciona cómo se afecta el protocolo TCP en la tecnología CDMA2000 y finalmente menciona cómo intervienen y funcionan algunos aspectos de las capas del modelo OSI cuando son enviados los paquetes a través de la red.

Impact of TCP and RLP parameters on cdma2000 performance

En este artículo publicado en la 57th IEEE *Semiannual Vehicular Technology Conference*, 2003 y escrito por Kandukuri, S.; Chaponniere, E.; Hamdy, W. nos expresa su conocimiento sobre los parámetros que los protocolos TCP y RLP (*Radio Link Protocol*) manejan y que tienen una determinada influencia en el rendimiento "Throughput" (1) de la red, adicionalmente nos menciona como se afecta la llamada ventana deslizante en TCP, así como también el MSS (*Maximum Segment Size*); con relación al protocolo RLP comenta acerca de cual es el accionar del llamado ARQ (*Automatic Repeat reQuest*), siendo este un mecanismo de control de errores.

IP paging service for mobile hosts

En este artículo publicado en la *Wireless Networks*, 2002 y escrito por Ramachandran Ramjee, Li Li, Tom la Porta, Sneha Kasera. Se adentra en el tema de cómo es el seguimiento que se le da a la llegada de un paquete, lo cual se denomina el "Paging" y la influencia que conlleva con esto tanto en el HA (*Home Agent*) como el FA (*Foreign Agent*), siendo estos dos de los elementos que intervienen en los componentes principales de la red CDMA2000, cuando ingresa un nuevo usuario a la red.

1. *Throughput*: "o" taza de transferencia". En el contexto de las redes computacionales, está definido como la cantidad de datos por unidad de tiempo que es entregada a una determinada terminal desde un nodo específico de una red, o de un nodo a otro. "Digital data throughput" es normalmente medido en bits por segundo (bps).

1.6 Metodología de Desarrollo.

Debido a que nuestro interés es analizar el comportamiento del protocolo TCP sobre las redes inalámbricas de CDMA2000, se requiere una tarjeta de conexión a red inalámbrica que existe en el mercado llamada BAM (Banda Ancha Móvil) cuyo proveedor de servicios es Iusacell y que cuenta con la tecnología CDMA2000, las características técnicas generales de esta tarjeta son:

Tecnología *3G Evolution* (EvDO), ancho de banda Máximo 2.4 Mbps en el sentido de bajada y 153 Kbps en el sentido de subida, Equipo de banda Dual CDMA 800 MHz/1.9 GHz, Tarjeta PCMCIA II y el software requerido es el sistema operativo Windows 2000/XP.

Para la realización de las pruebas se tiene contemplado el uso de 2 computadoras con el sistema operativo Windows XP. La computadora número (1) se denominó TEC CVA, estará fija dentro del campus Cuernavaca, la computadora número (2) se denominó CLIENTE MÓVIL, contiene la tarjeta BAM y será la que actuará como el nodo móvil, primero en una situación fija y posteriormente en movimiento a velocidades diferentes, con estas variantes analizaremos el comportamiento de TCP.

Se tiene contemplado que la parte cableada esté basada en la red del ITESM Campus Cuernavaca con un enlace de salida máximo a 2 Mbps, de ahí se conecta a Internet, pasando por el número de *routers* que requiera, bajando a la red de Iusacell para que la señal sea enrutada a una antena que envía la señal de manera inalámbrica a la tarjeta BAM, siendo esta la parte en la cual realizaremos la mayor cantidad de análisis, pues como ya se mencionó TCP no fue diseñado para redes inalámbricas.

Durante este proceso, nos interesará conocer el número de *routers* que se requiere para la transmisión desde una máquina a otra, se obtendrán parámetros como la latencia, el jitter y el porcentaje de paquetes perdidos que se presentan tanto de forma fija, como en movimiento.

1.7 Organización de la Tesis.

La tesis está organizada en cinco capítulos que se describen como sigue:

El capítulo 1 introduce al tema central de investigación, explica los antecedentes, presenta el planteamiento del problema, establece los objetivos y alcances de la tesis, habla de trabajos relacionados y presenta de forma general la metodología que se empleó.

El capítulo 2 presenta el estado del arte del tema de investigación, menciona el funcionamiento, estructura y conceptos principales, tanto de las redes de CDMA2000, como de TCP, así como explica brevemente lo que son los parámetros de calidad latencia, jitter y porcentaje de paquetes perdidos.

El capítulo 3 contiene el diagrama de pruebas que se diseñó, así como explica de manera más detallada la forma como se realizaron las pruebas, los pasos que se siguieron y las herramientas utilizadas

El capítulo 4 presenta los resultados obtenidos, el análisis y comparación de los resultados de forma estática, así como los resultados de las pruebas en movimiento a las diferentes velocidades 60 Km/h y 100 Km/h, complementado con las fórmulas en función de la velocidad, que representan su comportamiento. Finalmente comenta los obstáculos que se presentaron y la manera como fueron enfrentados.

El capítulo 5 describe los objetivos alcanzados, las conclusiones y los trabajos futuros que se pueden desprender de esta tesis, así como otros paralelos que se pudieran realizar para ahondar en los resultados.

Esta tesis concluye con las referencias del material analizado y que evidencia parte de los documentos de esta investigación.

Capítulo 2

Estado del Arte

La finalidad de esta tesis es el análisis del comportamiento de TCP, los parámetros de QoS y las repercusiones de la movilidad sobre las redes inalámbricas CDMA2000. Teniendo como base estos conceptos, este capítulo se enfoca en dar una pequeña introducción a las redes 3G (Tercera Generación). También se adentra en describir que son las redes inalámbricas CDMA2000, sus partes principales y su funcionamiento general; así mismo se hablará del protocolo TCP/IP y cómo funciona. Siendo estas las partes principales del estudio en esta tesis, es necesario contemplarlas como base para una mayor comprensión de los resultados que más adelante presentaremos.

2.1 Redes de 3G Tercera Generación

La abreviación 3G es conocida como las redes de tercera generación, siendo una tecnología con mayor gama de servicios que las redes de 2G y 2.5G, para los usuarios. Uno de los primeros países que implementó su red comercial 3G fue Japón, aunque en la actualidad ya existen 164 redes comerciales en 73 países. **3GPP** es la abreviatura de *3rd Generation Partnership Project* [www.3gpp.org *3rd Generation Partnership Project*]. La cual es la organización que realiza la supervisión del proceso de elaboración de todos los estándares relacionados con 3G.

En general lo que la tecnología 3G ofrece, son servicios inalámbricos que permiten a los usuarios excelente calidad de servicio de voz, además de:

- Conectividad a Internet móvil
- *Email* móvil
- Servicios multimedia, fotos digitales
- Bajar aplicaciones inalámbricas
- Intercambio de juegos en tiempo Real y con múltiples jugadores
- Servicios de emergencia y localización de servicios
- Baja latencia en los servicios *push-to-talk* y *push-to-video*.

Para los usuarios de la tecnología 3G significa alta calidad de servicio, reducción de costos en la comunicación de voz, diversión y uso de diversos servicios de forma fácil, cuando quieran, donde quieran y en donde tengan sólo el acceso a un teléfono con servicios móviles. Para las empresas es ganar competitividad, incrementar la productividad, proveer a sus clientes mejores servicios y facilidad de comunicación. En pocas palabras sus fortalezas son trabajar donde sea y en cualquier momento.

También beneficia a otros, por ejemplo los operadores de redes inalámbricas, mejoran la eficiencia de las redes, menor costo por servicio por usuario, incrementan ARPU (*average revenue per user*, promedio de ingresos por usuario). Finalmente la enorme capacidad de manejo de datos abre un amplio mundo de oportunidades para el desarrollo de aplicaciones y una de esas posibilidades es por medio de las redes de CDMA2000, comencemos a ahondar en ellas para conocerlas.

Durante la última década se ha presentado un gran crecimiento comercial en las tecnologías de comunicación inalámbricas, dispositivos móviles y los servicios llamados de última-milla, tanto en el envío de datos como en el envío de voz. Dentro de este crecimiento en la comercialización de tecnologías, CDMA2000 ha logrado establecerse como una de las de mayor aceptación en el mercado, principalmente en Asia Pacífico y América. Se sabe que en la actualidad CDMA2000 tiene globalmente un número aproximado de 373 millones de suscriptores-finales. CDMA2000 está constituida como la tecnología base para el sistema UMTS [PANG 2004], siendo el sistema telefónico móvil más popular en Europa.

2.2 Tecnología CDMA2000

Lanzado en 2002, CDMA2000 1xEV-DO es llamado (*Evolution data only*) del estándar CDMA2000, con una capacidad pico de enlace del rango de 2.4 Mbps, rango comparable con conexiones de banda ancha. Por división del espectro en canales tanto de voz como de datos, EV-DO, usa canales de datos de 1.25 MHz, mejora la eficiencia de la red y elimina los cambios que en incrementos de tráfico de voz pueden ocasionar velocidades muy bajas.

Como mencionamos arriba, una versión de CDMA2000 llamada 1xEV-DO (*Evolution Data Only*) es una tecnología de 3G (Tercera generación) para comunicación móvil, la cual provee rangos de transmisión de datos de bajada hasta en 2.4 Mbps (con un promedio de rango de: 700 Kbps, dependiendo de las condiciones de la red) y unos rangos de subida de alrededor de 153 Kbps (con un promedio de rango de: 90 Kbps); pero también con buena capacidad para manejar servicios de datos multimedia [SARK 2001], [POOL 2006]. A continuación se analizará más a fondo las características que presenta esta tecnología.

2.2.1 Características

Servicios Multicast

Con la introducción del EV-DO Revisión "0" y las siguientes revisiones de EV-DO conocidas como "A" y "B" de las cuales se hablará más adelante, los operadores tienen la posibilidad de ofrecer servicios *multicast*, entrega de "uno a muchos", lo cual

permite la transmisión de la misma información a un número ilimitado de usuarios, sin la necesidad de reenviar la información múltiples ocasiones. La funcionalidad de *multicast* ofrece grandes ventajas tanto a los usuarios como a los operadores. Para los operadores, permite un amplio rango de generación de servicios con el mínimo de recursos de red a un costo muy bajo. Para los usuarios finales, los servicios *multicast* proveen el acceso a los contenidos de multimedia, tales como las transmisiones de TV, archivos de audio MP3, películas, etc., así como una alta calidad en los servicios. Para 1xEV-DO revisión "O", las funcionalidades de *multicast* son llamadas *Gold Multicast* y para 1xEV-DO Revisión "A" son llamadas *Platinum Multicast*.

Flexibilidad en su banda de Frecuencia

CDMA2000 puede ser usado en la mayoría de los celulares. Las redes CDMA2000 actualmente pueden ser usadas en las bandas de 450, 800, 1700, 1900 y 2100 MHz.

Servicio a múltiples mercados

La tecnología CDMA2000 suporta tanto servicios de WLL (*Wireless Local Loop*) o también llamados de última milla, como los servicios móviles y puede ser usado por los operadores para proveer servicios de voz a un costo accesible, teniendo también acceso a banda ancha en datos en zonas urbanas, así como zonas geográficas lejanas, pero siempre a un costo accesible.

Soporta diversas plataformas de servicio

Puede ser usado por diferentes sistemas operativos, por ejemplo (Palm y PocketPC), plataformas de aplicaciones como (JAVA y BREW), WAP, y tecnologías inalámbricas emergentes (*WiFi y Push-to-Talk*).

Completa compatibilidad con sus antecesores

CDMA2000 es completamente compatible con cdmaOne, y 1xEV-DO es compatible tanto con CDMA2000 1X como con cdmaOne a través de dispositivos multi-modo. Esta compatibilidad asegura transparencia en los servicios para el usuario final y una suave integración de redes de 2G y 3G para los operadores.

Incrementa el tiempo de vida de las baterías

CDMA2000 aumenta significativamente el desempeño de las baterías. Incluyendo los siguientes beneficios:

- Rápida operación en la paginación del canal.
- Mejora el desempeño del enlace de subida (*UpLink*).
- Nuevos estados en la capa MAC para optimizar los tiempos muertos de operación [FERR 2004].

Sincronización

Las redes CDMA2000 están sincronizadas con el *Universal Coordinated Time* (UCT). El enlace de transmisión de bajada de todas las estaciones base mundiales de CDMA2000 están sincronizadas por unos microsegundos. La sincronización de la

estación base se puede lograr por diferentes técnicas que incluyen la auto-sincronización o a través de sistemas basados en satélites como el GPS, Galileo, o GLONASS. La sincronización del enlace de subida, está basado en la recepción de señales derivadas desde el primer componente *multipath* usado por cada Terminal.

Existen varios beneficios por tener todas las estaciones base de la red, sincronizadas:

- Tener una referencia de tiempo común mejora la adquisición de canales y los procedimientos de *hand-off*, ya que no hay ambigüedad en los horarios para cambiarse de una célula a otra, facilitando el procedimiento.
- También permite al sistema operar en los canales comunes de los *hand-off* suaves, lo cual mejora la eficiencia en la operación.
- Un tiempo de referencia común en la red permite la implementación de técnicas de localización que son muy eficientes.

Control de potencia.

CDMA2000 define una estructura de trama de 5 ms, especialmente para soportar ráfagas de señales, tales como tramas de 40 y 80 ms. A diferencia de IS-95 donde la técnica de *Fast Closed Loop Power Control* fue aplicada en el sentido de subida (*reverse link*), los canales de CDMA2000 pueden ser controlados arriba de 800 Hz en ambos sentidos (*reverse y forward links*). Los comandos de control de potencia del sentido de subida están colocados dentro de los canales F-FCH o F-DCCH, sobre ellos hablaremos un poco más adelante, dependiendo de la configuración del servicio. Los comandos de control de potencia del sentido de bajada están colocados en el último cuarto del R-PICH control de potencia.

En el sentido de subida, durante la transmisión, el rango de control de potencia es reducido a 400 o 200 Hz en ambos enlaces. El sub-canal de control de potencia de subida, puede ser dividido en dos controles de potencia independientes, estando ambos a 400 bps, o uno a 200 bps y el otro a 600 bps. Esto permite control de potencia independiente en los canales de bajada.

Adicionalmente al control de potencia de ciclo cerrado, la potencia en el sentido de subida de CDMA2000 también es controlada a través de un mecanismo de control de lazo abierto. Este mecanismo invierte el efecto de atenuación lenta. También actúa como un fusible de seguridad cuando falla el control de potencia rápido. En tal caso, el lazo abierto reduce la potencia de salida de la terminal y limita el impacto sobre el sistema. Debido al amplio rango de datos y los diversos requerimientos de QoS, diferentes usuarios tendrán diferentes lazos externos; así que, diferentes usuarios recibirían diferentes niveles de potencia de la estación base.

Hand-off Suaves

Aún con canales de operación dedicados, la terminal se mantiene buscando nuevas células según se mueva a través de la red. Adicionalmente a la célula activa, hay células vecinas, pero la terminal siempre mantiene una célula candidata [RAM 2002].

Cuando una Terminal está viajando en una red, el piloto de una nueva BTS (*Base transceiver Station*) excede la fuerza del umbral mínimo para añadirse a la célula activa. Sin embargo, inicialmente su contribución es relativa al total de la fuerza de la señal recibida, si no es suficiente la terminal se pasa a P2 de la célula candidata. La

red define el esfuerzo y el cruce de la función. Cuando la fuerza de P2 es detectada por encima del umbral dinámico, la terminal indica este evento a la red. La terminal recibe un mensaje de dirección de *hand-off*, solicitando a la red la adición de P2 en la célula activa. Finalmente la terminal opera en un *hand-off* suave.

La fuerza del servicio BTS (P1) cae debajo del umbral de la célula activa, significando que la contribución de P1 al total de la fuerza de la señal no justifica el costo de transmitir P1. La terminal inicia un reloj de caída de *hand-off*. El tiempo expira y la terminal notifica a la red que P1 cayó debajo del umbral. La terminal recibe un mensaje de *hand-off* de la red moviendo a P1 de una célula activa a una célula candidata. Entonces la fuerza de P1 cae y la terminal inicia un reloj de caída de *hand-off*, el cual expira después del tiempo seleccionado. P1 es movida de una célula candidata a una célula vecina. Este procedimiento por pasos con múltiples umbrales y tiempos asegura que los recursos son usados solo cuando se beneficia a los enlaces. [HAFI 2003]

Diversidad de transmisión

La diversidad de transmisión consiste en de-multiplexación y modulación de datos en dos señales ortogonales, cada una transmitida de una diferente antena a la misma frecuencia. Las dos señales ortogonales son generadas usando una de dos u *Orthogonal Transmit Diversity* (OTD) o *Space-Time Spreading* (STS). El receptor reconstruye la señal original usando las señales de diversidad, de esta manera tomando ventaja del espacio adicional y/o la diversidad de frecuencia.

Otra opción de transmisión es la transmisión directiva. La estación base dirige un rayo de luz hacia un solo usuario o un grupo de usuarios en una posición específica, proveyendo separación por espacio así como separación de código. Dependiendo del entorno de radio, las técnicas de transmisión de diversidad mejorarán el funcionamiento del enlace por encima de los 5 dB.

Canales de voz y datos

La estructura de los canales de tráfico de bajada de CDMA2000, pueden incluir varios canales físicos [RAO 1999]:

- El canal fundamental (F-FCH) es equivalente a la funcionalidad del canal de tráfico (TCH) para lo que es IS-95. Puede soportar datos, voz o señales multiplexadas en cualquier rango desde 750 bps a 14.4 kbps.
- El canal suplementario (F-SCH) soporta servicio de datos de rangos grandes. La red puede calendarizar transmisión en F-SCH sobre la base de trama por trama, si así lo decide.
- El canal de control dedicado (F-DCCH) es usado por señalización o sesiones de ráfaga de datos. Este canal permite el envío de información de señalización sin ningún impacto en la corriente de datos paralelos.

La estructura del canal de tráfico de subida es similar al de bajada. Este puede incluir R-PICH, un canal fundamental (R-FCH), y/o un canal de control dedicado (R-DCCH), y uno o varios canales suplementarios (R-SCH). Su funcionalidad y estructura codificada es la misma que el enlace de bajada (*forward link*) con rangos de datos de 1 kbps a 1 Mbps.

Canal de tráfico

La estructura del canal de tráfico y su formato de trama son muy flexibles. Con la finalidad de limitar la carga de señalización que puede estar asociada con el formato de parámetro de negociación de trama completa, CDMA2000 especifica un conjunto de canales de configuración. Esto define un cierto rango y un conjunto de tramas asociadas por cada configuración.

El canal de tráfico de bajada siempre incluye o al canal fundamental o un canal de control dedicado. El principal beneficio de esta estructura de tráfico de bajada multicanal es la flexibilidad. La estructura también permite diferentes configuraciones de *hand-off* para diferentes canales. Por ejemplo, el F-DCCH, que maneja información de señalización crítica, quizá en *hand-off* suaves.

Canal suplementario

Una de las claves de CDMA2000 1X es la habilidad de soportar voz y datos en la misma portadora. En contraste con las llamadas de voz, el tráfico generado por paquetes de datos es una ráfaga, con corta duración de alto tráfico separada por una larga duración sin tráfico. Es muy ineficiente dedicar un canal de tráfico permanente para una llamada de datos. Esto impacta la cantidad de potencia disponible a las llamadas de voz, degradando posiblemente la calidad, si el sistema no está diseñado correctamente. Por lo tanto, una clave del diseño de CDMA2000 es asegurar que el canal CDMA que transporta a las llamadas de voz y datos simultáneamente tenga un impacto mínimo en la QoS.

Los canales suplementarios (SCHs) pueden asignarse o no en cualquier momento por la estación base BS. El SCH tiene el beneficio adicional de mejorar la modulación, codificación y esquemas de control de potencia. Importante saber que cada sector de una estación base puede transmitir múltiples SCHs simultáneamente si es que tiene suficiente potencia de transmisión y códigos Walsh. El estándar CDMA2000 limita el número de SCHs, una estación móvil puede soportar simultáneamente a dos. Esto es adicional al FCH o DCCH, la cual es encendida durante toda la llamada, desde que es usada para la transportación de la señalización y las tramas de control así como los datos.

2.2.2 Pila de Protocolos.

A continuación mencionamos cuales son las pila de protocolos que utiliza CDMA2000 (Figura 2.1), comentando de forma general su función en esta tecnología, aunque más adelante hablaremos especialmente y con mayor profundidad del protocolo TCP.

TCP (*Transport Control Protocol*) maneja el reconocimiento de la llegada de los paquetes al destino, si los paquetes se pierden, se dañan o se retardan, TCP los retransmite, por otro lado dependiendo de la congestión en la red TCP reduce el flujo de datos.

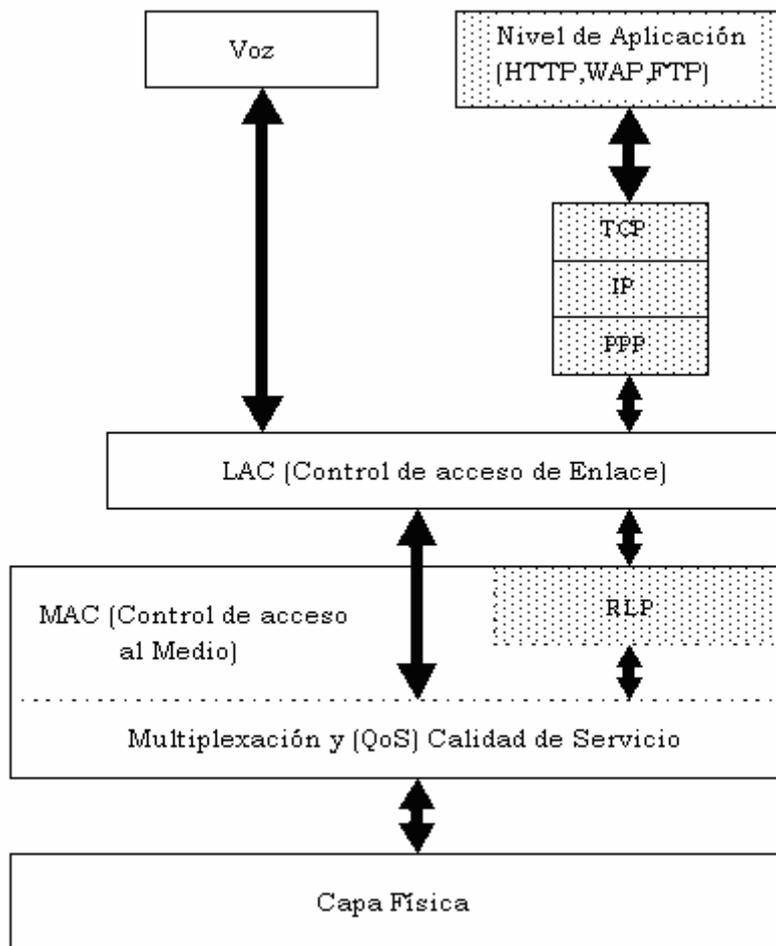


Figura (2.1) Pila de protocolos CDMA2000 [COMM 2007]

En el caso de IP (*Internet Protocol*), más bien se encarga de que los paquetes lleguen a su destino sin importar el número de dispositivos (*routers*) por los que pueda pasar o las diferentes redes con distintas topologías, de forma general no se preocupa por la corrección de errores, más bien confía en que otras capas realizarán esta labor [COMM 2007].

PPP (*Point to point protocol*) es el protocolo responsable de establecer el enlace entre la estación móvil y el nodo de servicio (PDSN). Este protocolo requiere el servicio de las capas por debajo de él, para transferir los datos del PDSN (un *router* especializado que sirve como la terminal inalámbrica de interfase con Internet) al dispositivo inalámbrico.

RLP (*Radio Link Protocol*) provee un servicio de flujos de byte (un octeto) entre la estación base y la terminal inalámbrica. El canal físico debajo de RLP maneja el código y la modulación necesaria para transmitir y recibir el flujo resultante de bits.

RLP en algunos aspectos es similar a TCP, ya que es un servicio orientado a conexión, a cada bloque de datos le asigna un número secuencial, si los datos llegan en desorden los coloca en su posición correcta y tiene un mecanismo que retransmite los datos que no llegan a tiempo.

Por otro lado sus diferencias son que RLP provee una entrega del mejor esfuerzo, mientras TCP provee entrega garantizada. El tamaño de las tramas de RLP, son una fracción del tamaño de las de TCP.

Como ya se mencionó más arriba TCP será tratado con mayor detalle más adelante en este capítulo.

2.2.3 Modulación y Ortogonalidad.

Cuando los clientes utilizan el sistema, varios usuarios diferentes son colocados en la misma frecuencia utilizando para ello los códigos *Walsh* y los códigos de desplazamiento (*offset*) (Siendo estos los códigos de ortogonalidad) (Figura 2.2). La ortogonalidad significa que las frecuencias se encuentran a 90 grados una de otra en diferentes planos, por lo que no se interfieren entre ellas. Debido a esto las frecuencias pueden ser re-usadas.

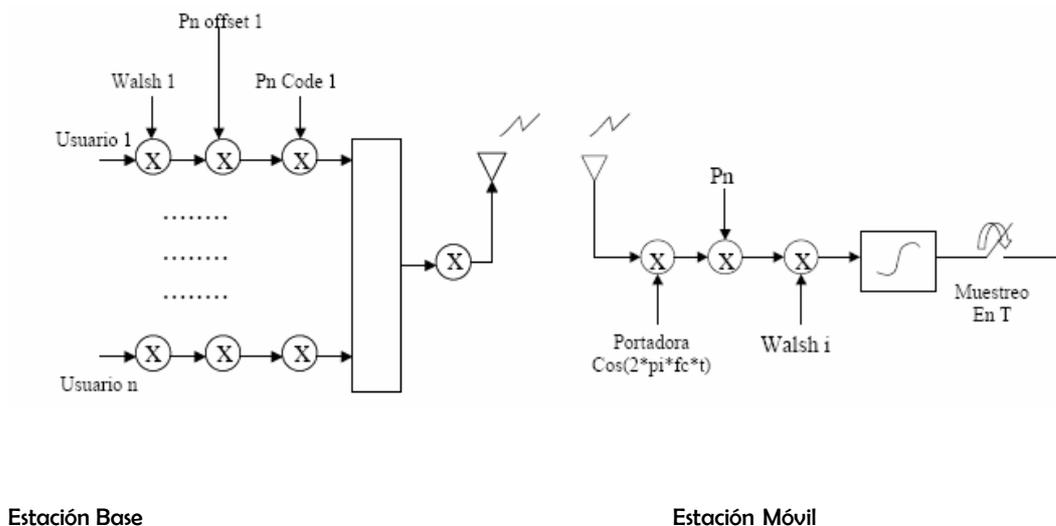


Figura (2.2) Códigos Walsh (Códigos Ortogonales) [PERE 2007]

En relación a la modulación de la señal se usa QPSK (*Quadrature Phase shift Keying*) en los canales de bajada y OQPSK (*Offset Quadrature Phase Shift Keying*) en los canales de subida. Siendo esta la razón de que se mantenga más constante la amplitud de la señal y se mejore la eficiencia en el consumo de la batería. [GANG 2002]

2.2.4 Estructura general

Los principales elementos de procesamiento que forman parte de la red de voz y datos en una red de CDMA2000 son: NMS (*Network Management System*), BTS (*Base Transceiver Station*), BSC (*Base Station Controller*), MSC (*Mobile Switching Center*), HLR (*Home Location Register*), VLR (*Visitor Location Register*), IWF (*Inter-Working Function*) and SDU (*Selection Distribution Unit*). A continuación se verá el diagrama general (Figura 2.3) y (Figura 2.4), en esta misma se puede observar que el modo de acceso a la red de voz es diferente al acceso a la red de datos. [KAGA 2005]

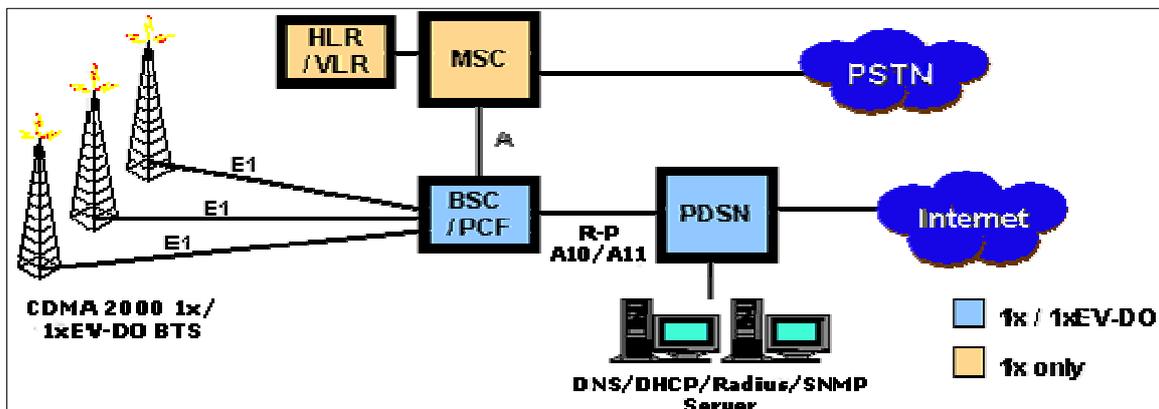


Figura. 2.3 Arquitectura de alto nivel para una red CDMA2000 1xEV-DO. [ESTE 2004]

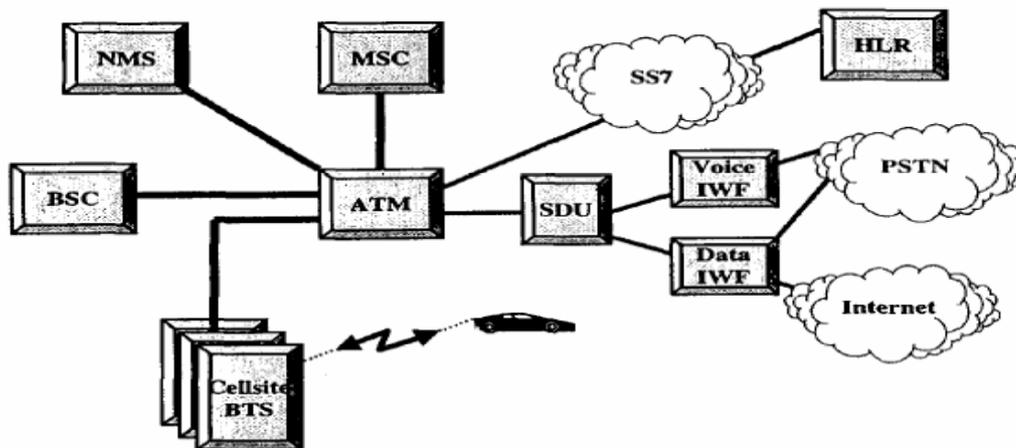


Figura 2.4 Red inalámbrica CDMA2000 1xEV-DO. []

Pero no todo queda ahí, el futuro de esta tecnología es muy prometedor, pues ya existen nuevas revisiones que ofrecen aún mejores beneficios a los usuarios, a continuación comentaremos un poco sobre ellas.

2.2.5 El futuro de CDMA2000

CDMA2000 1xEV-DO Revisión "A"

EV-DO Rev. A es una evolución significativa en el crecimiento de CDMA2000 1xEV-DO. Fue lanzada en el 2006, principalmente en países asiáticos como Korea y Japón, EV-DO Rev. A provee picos de enlace de bajada hasta de 3.1 Mbps y picos de subida de 1.8 Mbps.

Adicionalmente, EV-DO Rev. A incorpora mejoras comprensibles en lo relacionado al enlace aéreo (*airlink*) que reduce el número de llamadas, reduciendo los retardos de transmisión y permitiendo mejores servicios de control. Esta mejora, combinada con el incremento de los rangos de datos, permite a los operadores de redes usar EV-DO Rev. A para ofrecer aplicaciones con mayor riqueza interactiva y servicios inalámbricos de alta calidad en VoIP, baja latencia en llamadas push-to-talk, juegos en línea, video y mensajes en video, así como bajar o enviar archivos de gran tamaño [CDG 2007].

EV-DO Revisión "A" incluye las características del *Platinum Multicast*. Ofrece tres veces más capacidad que *Gold Multicast*, *Platinum Multicast* provee también mejor eficiencia en la red entregado en una larga base de suscriptores, esta versión usa CDMA y modulación OFDM en el sentido de bajada para los multimedia *handsets*, mientras que continua usando CDMA para los enlaces de bajada y subida en servicios *unicast*.

Con estas capacidades y velocidades adicionales, *Platinum Multicast* permite a los operadores proveer datos acerca de información reciente como noticias al instante, el tráfico, deportes y el clima. Además, ofrece a los operadores mayor flexibilidad—dependiendo de las necesidades de la red, los operadores pueden escoger dar más canales de contenido o menores canales de contenido con mayor resolución.

EV-DO Revisión "B"

EV-DO Rev. B, es un desarrollo posterior de CDMA2000 Rev. A, ofrece capacidades multi-canal, que permite a los operadores de las redes agregar múltiples canales de 1.25 MHz simultáneamente e incrementa dramáticamente los rangos de datos. La primera implementación de Rev. B soportará arriba de 9.3 Mbps en el sentido de bajada y 5.4 Mbps en el sentido de subida (el estándar en su límite teórico y en conjunto un espectro de 20 MHz, permitirá arriba de 75 Mbps en el sentido de bajada y 27 Mbps en el sentido de subida). Una de sus principales mejoras de Rev. B es que pondrá el control del ancho de banda en las manos del operador, permitiendo a los operadores adaptar sus sistemas a los espectros que tengan disponibles.

La flexibilidad de la Rev. B permitirá mejoras en la capacidad y desempeño de las redes CDMA2000. Además, permitirá que el espectro de los operadores sea usado

por servicios, incluyendo anchos de banda móviles, y tráfico *multicast* de manera que resultará en menos costos de operación a través de mayor eficiencia.

HSDPA/HSUPA

HSDPA (*high-speed downlink packet access*) es una evolución de WCDMA, optimizando la aplicación de datos. HSDPA provee grandes mejoras sobre WCDMA en el sentido de bajada —un prometedor rango pico de 14.4 Mbps —resultando en una mayor experiencia al usuario final. Suscribiéndose con HSDPA el servicio es capaz de recibir correos electrónicos con grandes archivos, navegar en la red o bajar multimedia o archivos de texto mucho más rápido que nunca.

Para los operadores, HSDPA ofrece de tres a cinco veces mayor capacidad sobre WCDMA, que se traducen en más usuarios de datos y menores costos por bit. En diciembre del 2005, la primera red HSDPA fue lanzada en los EU. Al final de enero del 2006, existían más de 50 redes HSDPA planeadas o en desarrollo y nueve más anunciadas alrededor del mundo.

HSDPA será seguida por otra evolución aún en desarrollo. Igual que EV-DO Rev. A tuvo grandes mejoras en el sentido de subida de 1xEV-DO, HSUPA (*high-speed uplink packet access*) tendrá beneficios para HSDPA en el sentido de subida. HSUPA soportará rangos arriba de 5.76 Mbps, así como otras mejoras para los usuarios. HSUPA permitirá servicios con baja latencia como VoIP, juegos interactivos con múltiples jugadores, *push-to-talk* y aún más. La primera HSUPA desarrollada es esperada en el 2007.

Los avances tanto en CDMA2000 como WCDMA continuarán para la mejora de las capacidades de redes.

2.3 TCP/IP

TCP/IP es el protocolo de comunicación de red que se utiliza en Internet, y sirve para enlazar computadoras que utilizan diferentes sistemas operativos, incluyendo PC (*personal computer*), laptops, computadoras centrales, etc.; independientemente del tipo de conexión, cableada o inalámbrica.

La IETF RFC793 [*The Internet Task Force <http://www.ietf.org/>*] Define el *Transmission Control Protocol* (TCP) como un protocolo que provee una entrega confiable y un servicio de conexión virtual para aplicaciones, a través del uso de secuencias de reconocimiento con retransmisión de paquetes, cuando llega a ser necesario.

2.3.1 Capas de TCP/IP

Los protocolos de red suelen especificarse mediante "capas" superpuestas de funcionalidad. El objetivo de esta segmentación es que sea posible (por razones de cambio tecnológico, por ejemplo), sustituir una capa por otra equivalente, sin necesidad de sustituir la totalidad del hardware y el software que maneja las comunicaciones. Cada una de las capas que define un protocolo tiene que ver con un

determinado "nivel" de funcionalidad, y precisamente por ello, se denominan "niveles". Los niveles más bajos tienen que ver con el hardware, los superiores son responsabilidad únicamente de los programas que intercambian información, y los niveles centrales constituyen el "núcleo" del protocolo y están implementados, normalmente, en el sistema operativo o alguna librería estándar. [FOROU 2003] [CISCO 2005] A continuación describimos los diferentes niveles de protocolo, y cómo se implementan en TCP/IP, basándonos en lo mencionado en la (Tabla 2.1)

5	Aplicación	ej. HTTP, FTP, DNS <i>(protocolos de enrutamiento como BGP Y RIP, que por varias razones funcionan sobre TCP y UDP respectivamente, son considerados parte del nivel de red)</i>
4	Transporte	ej. TCP, UDP, RTP, SCTP <i>(protocolos de enrutamiento como OSPF, que funcionan sobre IP, son considerados parte del nivel de red)</i>
3	Interred	Protocolo de Internet (IP) <i>(protocolos requeridos como ICMP e IGMP funcionan sobre IP, pero todavía se pueden considerar parte del nivel de red; ARP no funciona sobre IP)</i>
2	Enlace	ej. Ethernet, Token Ring, etc.
1	Físico	ej. medio físico, y técnicas de codificación , T1, E1

Tabla 2.1 Modelo TCP/IP

Nivel Físico:

El nivel Físico describe las características físicas de la comunicación. Siendo desde un simple cable serial, la fibra óptica, las ondas de radio, usando desde una línea telefónica hasta sofisticados enlaces vía satélite, así mismo contempla lo relacionado a los tipos de conectores, los códigos de canales, la modulación, la potencia de señales, la longitud de onda, etc. En realidad a TCP/IP le importa poco este nivel (basta con que exista), puesto que TCP/IP no "habla" nunca de manera directa con el nivel físico.

Nivel de enlace:

El nivel de enlace de datos especifica la forma de transportar los paquetes sobre el nivel físico, incluido los delimitadores (patrones de bits concretos que marcan el comienzo y el fin de cada trama). Este es responsable de traducir cadenas de bits (en forma de paquetes de datos) al medio concreto de transmisión del nivel físico (y a la inversa), y debe evitar que los paquetes se "mezclen" y se pierdan. TCP/IP no especifica completamente un nivel de enlace (es algo demasiado próximo al hardware), pero sí especifica el modo en que los niveles superiores del protocolo utilizarán el nivel de enlace, sea éste el que sea. Dicho en términos muy simples, cualquier nivel de enlace, para ser utilizable bajo TCP/IP, debe soportar un pequeño conjunto de funciones del tipo "envía este paquete", "recibe el siguiente paquete", etc.

Este nivel es subdividido en Control de enlace lógico (*Logical Link Control*) y Control de acceso al medio (*Media Access Control*).

Nivel de Interred:

De manera general, el nivel de red soluciona el problema de conseguir transportar paquetes a través de una red, esto incluye un enrutamiento de paquetes. Pero el nivel de red realiza esencialmente tres funciones:

En primer lugar, el nivel de red "marca" cada paquete de datos con la identificación de la computadora origen y la del destinatario. En el caso de TCP/IP, la identificación consiste en una "dirección IP", que es una especie de número de teléfono único para cada elemento conectado a la red.

La segunda función del nivel de red es asegurar la **consistencia** del paquete de datos. En un paquete puede ser que en los enlaces un "uno" se haya interpretado erróneamente como un "cero" o puede que se haya perdido algún bit, etc. TCP/IP emplea una técnica de verificación conocida como CRC (*cyclic redundancy check*), basta decir que el origen construye una especie de "firma" en base al contenido del mensaje, y agrega la firma al propio mensaje. La computadora que recibe el paquete repite exactamente el mismo proceso con los datos, y genera su propia "firma".

Por último, el nivel de red incorpora mecanismos de control basados en mensajes (paquetes) que no contienen datos, sino instrucciones que comandan determinadas funcionalidades de la red. TCP/IP incorpora varios protocolos de control, pero el más importante es el llamado ICMP (*internet control messaging protocol*). En TCP/IP, los diferentes servicios de nivel de red se agrupan en lo que se conoce como IP (*internet protocol*). En terminología IP, cada paquete de datos, incluyendo sus identificadores de origen y destino, así como su CRC son denominados como un "datagrama".

Nivel de transporte:

Los protocolos que se manejan en el nivel de transporte son capaces de solucionar problemas como la fiabilidad y la seguridad de que los datos llegan en el orden correcto. En el conjunto de protocolos TCP/IP, los protocolos de transporte también determinan a que aplicación van destinados los datos. TCP/IP soporta dos protocolos: TCP (*transmission control protocol*) y UDP (*user datagram protocol*). La diferencia entre ambos se puede explicar muy fácilmente.

TCP es un mecanismo de transporte y orientado a conexión, que proporciona un flujo fiable de bytes, que asegura que los datos llegan completos, sin daños y en orden. TCP realiza continuamente medidas sobre el estado de la red para evitar sobrecargarla con demasiado tráfico. Además, TCP trata de enviar todos los datos correctamente en la secuencia especificada. Mientras **UDP** es un protocolo de datagramas sin conexión, es usado para aplicaciones donde la velocidad es más importante que la fiabilidad (audio, video).

Este nivel nos permite establecer múltiples conversaciones (sesiones) entre múltiples computadoras, sin que ninguna interfiera con las demás. El truco, una vez más, consiste en asignar un identificador único a cada conversación, y "marcar" cada datagrama (paquete) con los identificadores de la sesión origen y destinataria. El

identificador de sesión es único en cada elemento, y combinado con la dirección IP constituye una identificación única en toda la red, por extensa que ésta sea. También una sesión TCP/IP se denomina un **socket**.

Nivel de aplicación:

TCP/IP nos provee de una *plataforma* excelente de comunicaciones, pero no específica, ni le importa, cuál es el contenido y significado de los mensajes que puedan intercambiar los programas involucrados en una conversación. Las "reglas" de contenido y significado se especifican en el nivel de aplicación y son, por supuesto, específicas de cada pareja o conjunto de programas o, para ser más exactos, de cada servicio. Este nivel es donde los programas más comunes utilizan para comunicarse a través de una red con otros programas. Los procesos que se utilizan son aplicaciones específicas que pasan los datos al nivel de aplicación en el formato que internamente use el programa y es codificado de acuerdo con un protocolo estándar.

Una vez que los datos de la aplicación han sido codificados en un protocolo estándar del nivel de aplicación son pasados *hacia abajo* al siguiente nivel de la pila de protocolos TCP/IP, como parte de la explicación de su funcionamiento, ahora veamos como se conforma la estructura de cada una de las tramas y que significan los elementos que en ella se utilizan.

2.3.2 Estructura de TCP/IP

La estructura del encabezado de TCP está conformada como sigue (Figura 2.5). [FOROU 2003][CISCO 2005]:

								16	32 bits
Source port								Destination port	
Sequence number									
Acknowledgement number									
Offset	Resrvd	U	A	P	R	S	F	Window	
Checksum								Urgent pointer	
Option + Padding									
Data									
<i>TCP header structure</i>									

Figura 2.5 Estructura de TCP/IP [IETF/RFC 1981]

Source port (Puerto fuente).

El número del puerto fuente o de origen.

Destination port (Puerto de destino).

El número de puerto destino.

Sequence number (Número de secuencia).

Es el número utilizado para asegurar la secuencia correcta de los datos que llegan. El número de secuencia asignado al primer octeto de dato en este segmento (excepto cuando exista SYN, bandera de control de sincronización). Si SYN se presenta, el número de secuencia es el número de secuencia inicial (ISN) y el primer octeto de dato es ISN+1.

Acknowledgment number (Número de reconocimiento).

Si el bit de control del ACK está activado (set), este campo contiene el valor del siguiente número de secuencia; el cual, el origen del segmento esta esperando recibir. Una vez que la conexión se estableció, este valor siempre se envía.

Data offset (Longitud de cabecera)

4 bits. El número de 32-bit de palabra en el encabezado de TCP, el cual indica donde empiezan los datos. El encabezado TCP tiene una longitud el cual es un número integral de 32 bits.

Reserved (Reservado)

6 bits. Reservado para usos futuros. Debe ser cero.

Control bits (Bit de control)

6 bits. Los bits de control (de derecha a izquierda y deben ser por ejemplo, el inicio y el fin de una sesión):

U (URG)	<i>Urgent pointer field significant.</i>
A (ACK)	<i>Acknowledgment field significant.</i>
P (PSH)	<i>Push function.</i>
R (RST)	<i>Reset the connection.</i>
S (SYN)	<i>Synchronize sequence numbers.</i>
F (FIN)	<i>No more data from sender.</i>

Window (Ventana)

16 bits. El número de octeto de datos el cual el origen de este segmento está dispuesto a aceptar, empezando con el octeto indicado en el campo de reconocimiento.

Checksum (Suma de verificación)

Es la suma de comprobación calculada de los campos de cabecera y datos. El campo de *checksum* es de 16 bit complemento a uno de la suma de complemento a uno de toda la palabra de 16-bit en el encabezado. Este no es transmitido como parte del

segmento. Mientras se comprueba el *checksum*, este campo automáticamente se reemplaza por ceros.

Urgent Pointer (Apuntador urgente)

16 bits. Este campo comunica el valor reciente del apuntador urgente como un desplazamiento positivo de la secuencia de números de este segmento. Este campo puede ser interpretado solo por segmentos para los cuales el bit de control de URG ha sido activado. Indicador del final de los datos urgentes.

Options (Opciones)

Las opciones deben ser transmitidas al final del encabezado de TCP y siempre tienen una dimensión del múltiplo de 8 bits. Todas las opciones están incluidas en el *checksum*.

Debe ser algo definido: tamaño máximo de segmento TCP.

Data (Datos)

Datos del protocolo de capa superior

Después de haber dado el contexto de lo que es TCP/IP, ahora continuemos hablando acerca de la manera en como funciona este protocolo, describiendo cuales son sus tres etapas primordiales.

2.3.3 Funcionamiento de TCP/IP

Inicialmente la aplicación envía un flujo de bytes a la capa TCP. Este divide el flujo de bytes que llega en segmentos de tamaño adecuado (limitada por la unidad máxima de transferencia (MTU) del nivel de enlace de datos de la red a la que la entidad está asociada) y le añade sus cabeceras. Entonces, TCP pasa el resultado a la capa IP, donde a través de la red, llega a la capa TCP de la entidad destino. TCP comprueba que ningún segmento se ha perdido dando a cada uno un *número de secuencia*, que también se usa para asegurar que los paquetes llegaron en el orden que fueron enviados. TCP devuelve un ACK (reconocimiento) por bytes que han sido recibidos correctamente; un temporizador en la entidad origen del envío causará un *timeout* si el ACK no es recibido en un tiempo previamente determinado, que es cuando los paquetes se retransmiten. TCP revisa que no haya bytes dañados durante el envío usando su *checksum*; el cual es calculado por el emisor en cada paquete antes de ser enviado, y comprobado al ser recibido por el receptor.

Las conexiones TCP se componen de tres etapas: *establecimiento de conexión, transferencia de datos y fin de la conexión*. Para establecer la conexión se usa el procedimiento llamado *negociación en tres pasos (3-way handshake)*, [CISCO 2005]. En el caso de la desconexión se realiza una *negociación en cuatro pasos (4-way handshake)*. La manera como se logra cada una de estas etapas, es:

Establecimiento de la conexión (negociación en tres pasos):

De forma general una de las entidades abre un *socket* en un puerto TCP específico, quedando a la espera de otras conexiones (apertura pasiva). Por otro lado el cliente realiza una apertura, llamada activa, de un puerto enviando un segmento SYN inicial. El servidor tendrá que responder a esta petición con un paquete SYN/ACK, terminando la fase de conexión con un ACK de parte del cliente. Durante este trámite, existe un número de secuencia que cada uno genera para no ocasionar conexiones falsas (*spoofing*)

Transferencia de datos:

En esta etapa, se activan una serie de mecanismos para determinar la fiabilidad y robustez del protocolo. Estos son los ya mencionados anteriormente, *número de secuencia* que sirve para ordenar los segmentos TCP recibidos y detectar la duplicidad de paquetes, *checksums* para detección de errores, y los de reconocimiento (ACK) y temporizadores para detectar pérdidas y retrasos.

En todo segmento siempre existen un par de números de secuencia, referidos al *número de secuencia* y al *número de reconocimiento (ACK)*. El emisor TCP se refiere a su propio número de secuencia cuando habla de número de secuencia, mientras que con el número de (ACK) reconocimiento se refiere al número de secuencia del receptor. Para mantener la fiabilidad, un receptor asiente los segmentos TCP indicando que ha recibido una parte del flujo continuo de bytes.

El *checksum* de TCP es una comprobación bastante débil. En niveles de enlace con una alta probabilidad de error de bit quizá requiera una ayuda adicional de corrección/detección de errores de enlace. La debilidad del *checksum* está parcialmente compensada por el uso común de un CRC (código de redundancia cíclica) en el nivel de enlace, bajo TCP e IP.

El reconocimiento de los datos enviados o la falta de ellos, son comúnmente usados por los emisores para interpretar las condiciones de la red entre el emisor y receptor TCP. Unido a los temporizadores, los emisores y receptores, TCP puede alterar el comportamiento del movimiento de datos. TCP usa una serie de mecanismos para conseguir un alto rendimiento y evitar la congestión de la red (la idea es enviar tan rápido como el receptor pueda recibir). Estos mecanismos incluyen el uso de la ventana deslizante que controla que el transmisor mande información dentro de los límites del buffer del receptor, y algoritmos de control de flujo, tales como el algoritmo de comienzo lento, algoritmo de evasión de la congestión, la retransmisión rápida, etc. Temas que abordaremos un poco más adelante para dar una mayor comprensión a los mismos.

Fin de la conexión (negociación en cuatro pasos):

La terminación de la conexión es una negociación en cuatro pasos (*four-way handshake*), terminando la conexión desde cada lado independientemente. Cuando uno de los dos extremos de la conexión desea dar por terminada su conexión transmite un paquete FIN, que el otro extremo reconocerá con un ACK. Por tanto, una desconexión completa requiere de segmentos FIN y ACK desde cada lado de la conexión.

Una conexión puede estar "medio abierta" en el caso de que uno de los lados la finalice pero el otro no. El lado que ha dado por finalizada la conexión no puede enviar más datos pero la otra parte si podrá.

2.3.4 Concepto de congestión

Debido a que la comunicación que tienen las computadoras pasa a través de un indefinido número de elementos entre ellos, (por ejemplo *routers*). Si en un momento dado, dicho *router* llegará a recibir paquetes a una velocidad mayor a la cual los pueda procesar, se puede presentar la llamada congestión [CISCO 2005], ocasionando que algunos paquetes no lleguen a su destino y por consecuencia no se reciba el (ACK) acuse de recibo. Esto mismo también provoca que el origen retransmita los paquetes perdidos lo cual conlleva una mayor congestión, volviéndose un ciclo cada vez peor que puede causar el colapso del sistema [FOROU 2003].

Por tal motivo TCP requiere de algún mecanismo para evitar esta situación, contemplemos que TCP asume que la causa de la pérdida de segmentos o paquetes es la congestión en la red.

2.3.4.1 Tamaño de ventana

En esta parte es donde entra en acción tanto el tamaño de ventana del origen, la cual es determinada por el tamaño del buffer disponible en el receptor, como la red misma que puede detectar su incapacidad para entregar los datos tan rápido como el origen los está creando (ventana de congestión). [KAND 2003b]

De esta forma el tamaño de la ventana actual, se obtiene del tamaño mínimo de cualquiera de las dos anteriormente mencionadas

Tamaño de ventana actual = mínimo(tamaño de ventana del receptor, tamaño de ventana de congestión).

2.3.4.2 Evasión de la congestión

Para evadir la congestión, el origen de TCP cuenta con dos opciones. Una es de inicio lento e incremento aditivo (*slow Start and additive increase*) y la otra es decremento multiplicativo (*multiplicative decrease*).

La primera esta compuesta de dos estrategias:

El inicio lento, el cual al comienzo de una conexión coloca a la ventana de congestión igual al máximo tamaño de segmento (MSS). Para cada segmento del cual se recibe su ACK, TCP incrementa el tamaño de su ventana de congestión en un máximo de tamaño de segmento hasta que se alcanza la mitad del umbral permisible en el tamaño de la ventana. Su nombre es relativamente desorientador, ya que el procedimiento no es lento del todo. Pues el tamaño de la ventana de congestión se incrementa exponencialmente.

En tanto el incremento aditivo, evade la congestión antes de que ocurra. Después de que el tamaño de la ventana alcanza su umbral, el tamaño es incrementado en un segmento por cada ACK, incluso si el ACK es por varios segmentos, esta estrategia continúa en tanto los ACK lleguen antes de su "timeout" o el tamaño de la ventana de congestión alcance el valor de la ventana del receptor.

Por otro lado el decremento multiplicativo, actúa si la congestión se presenta. La única forma que el origen puede adivinar que ocurrió una congestión es a través de la pérdida de un segmento. Debido a que las redes actuales están prácticamente libres de ruido, se asume que si no se recibe el ACK es por la pérdida de un segmento. La estrategia dice: si ocurre un *timeout*, el umbral debe ser reducido a la mitad del último tamaño de ventana de congestión y esta ventana debe iniciar nuevamente en uno, en otras palabras el origen debe regresar a la fase de inicio lento.

2.3.5 Resumen de TCP

- TCP/IP es un protocolo de red independiente del nivel físico y que soporta múltiples sesiones entre múltiples ordenadores.
- TCP/IP está diseñado para en-rutar y tiene un grado muy elevado de fiabilidad, Se utiliza a nivel mundial para conectarse a Internet y a los servidores web. Es compatible con las herramientas estándar para analizar el funcionamiento de la red.
- TCP/IP está construido en capas, lo que permite adaptarlo a nuevas tecnologías y requerimientos sin necesidad de modificar todo el conjunto.
- TCP/IP soporta sesiones confirmadas, asegurando que los datos llegan a su destino, y lo hacen en el mismo orden en que se enviaron.
- La arquitectura abierta de TCP/IP permite construir sobre él protocolos de aplicación de muy diversa índole y funcionalidad, muchos de los cuales son estándares muy conocidos.

2.4.- TCP en redes inalámbricas

Hemos ahondado en el conocimiento del protocolo TCP, pero ahora es necesario hacer una observación importante, debido a que este protocolo fue creado para redes cableadas, su rendimiento se comporta de manera diferente en las redes inalámbricas, ya que en este tipo de redes, el medio si es un factor que afecta las características de funcionamiento del protocolo [SHIN 2007], [KHAN 2000].

Aclarando este aspecto, hemos descrito recientemente que TCP asume que la pérdida de paquetes es debido a congestión, sin embargo en redes inalámbricas, la pérdida de paquetes puede ser provocada por la baja potencia de los transmisores, la atenuación por distancia o el bloqueo de la señal por edificios, montañas, etc., [MUHA 2007] el mismo movimiento en el que se encuentren los clientes, así como por diferentes aspectos atmosféricos como la lluvia, la velocidad del viento o la nubosidad que exista en ese momento, situación que también se presenta en las redes con tecnología Wimax [PERE 2006], otra tecnología inalámbrica. En este sentido, la pérdida de paquetes, ciertamente no tienen nada que ver con la congestión, entonces actuarán los mecanismos que hemos descrito anteriormente afectando al rendimiento de la red, pues se retransmitirán paquetes y se reducirá el tamaño de la ventana sin haberse presentado congestión.

También es verdad que han surgido una serie de mejoras a este protocolo, como pueden ser : crear capas paralelas re-usando la información existente en otras capas del modelo OSI [CHIN 2003], usar capas adicionales en el mismo modelo [KLIA 2006] y realizar determinadas mejoras en los algoritmos y en el rendimiento general [TODO 2006], entre muchas otras pero ninguna está enfocada 100% a solucionar el problema del medio y la pérdida de paquetes existente en las redes inalámbricas, por tal motivo parte del estudio que estamos realizando, se enfoca en medir la QoS (Calidad de servicio) [YOUN 2006] para esto es necesario medir el porcentaje de paquetes perdidos, el jitter y el retardo, con esta idea describamos, ¿qué son cada uno de estos conceptos? [HAIB 2005]

2.4.1 Concepto de jitter

El jitter es un efecto de las redes basadas en conmutación de paquetes, como la información se discretiza en paquetes, cada uno puede seguir una ruta distinta para llegar a su destino; y está definido como la variación en el tiempo de llegada entre los paquetes enviados desde el origen hasta el destino, causado por la congestión de la red, pérdida de sincronización o variaciones en la ruta de llegada de cada paquete.

En general, es un problema frecuente en enlaces lentos o congestionados. Se espera que el aumento de mecanismos de QoS (calidad del servicio) como prioridad en las colas, reserva de ancho de banda o enlaces de mayor velocidad (100Mb Ethernet, E3/T3, SDH) puedan reducir los problemas del jitter en el futuro.

El jitter entre el punto origen y destino de la comunicación **debiera ser inferior a 100 ms**. Si el valor es menor a 100 ms el jitter puede ser compensado de manera apropiada. Una posible solución es la utilización del **jitter buffer**. El jitter buffer consiste básicamente en asignar una pequeña cola o almacén para ir recibiendo los

paquetes y colocarlos con un pequeño retraso. Si algún paquete no está en el buffer (se perdió o no ha llegado todavía) cuando sea necesario se descarta. Normalmente en los teléfonos IP (hardware y software) se pueden modificar los *buffers*. Un aumento del buffer implica menos pérdida de paquetes pero más retraso. Una disminución implica menos retardo pero más pérdida de paquetes.

2.4.2 Concepto de Retardo o latencia

A la latencia también se la llama retardo. Es un problema general de las redes de telecomunicación. Por ejemplo, la latencia en los enlaces vía satélite es muy elevada por las distancias que debe recorrer la información.

La latencia se define técnicamente **como el tiempo que tarda un paquete en llegar desde el origen hasta el destino**. Al igual que el jitter, es un problema frecuente en enlaces lentos o congestionados.

La latencia o retardo entre el punto origen y el destino de la comunicación **debería ser inferior a 150 ms** cuando se transmite VoIP. El oído humano es capaz de detectar latencias de unos 250 ms, 200 ms en el caso de personas bastante sensibles. Si se supera ese umbral la comunicación se vuelve molesta.

No hay una solución que se pueda implementar de manera sencilla. Muchas veces depende de los equipos por los que pasan los paquetes, es decir, de la red misma. Si el problema de la latencia está en nuestra propia red interna podemos aumentar el ancho de banda o velocidad del enlace o priorizar esos paquetes dentro de nuestra red

2.4.3 Concepto de paquetes perdidos

Los paquetes perdidos, son aquellos paquetes que no llegan a su destino en el tiempo esperado o que simple y sencillamente nunca llegaron, como ya lo hemos mencionado en el caso de las redes inalámbricas, esto puede ser ocasionado por la baja potencia de los transmisores, la atenuación por distancia o el bloqueo de la señal por edificios, montañas, etc., el mismo movimiento en el que se encuentren los clientes, así como por diferentes aspectos atmosféricos, aunque en redes cableadas ocurre por congestión de la red [YALLA 2002], [VOiP 2007].

Este fenómeno puede estar también relacionado con el **jitter** y el jitter buffer, debido a los tiempos que le tome a los paquetes llegar por las diferentes rutas que tomaron [TORR 2007].

Como hemos visto en este capítulo, ambas tecnologías TCP y CDMA2000, son muy interesantes, además de que mientras más investigamos sobre ellas nos han ido creando un mayor interés en conocerlas, ya que podemos notar que su presente y su futuro son muy prometedores en una industria que cada día tienen más usuarios y por lo mismo más necesidades de mejora.

Por esto y más, creemos que el hacer un estudio que nos ayude a comprender como es el comportamiento de TCP sobre las redes CDMA2000, está más que justificado, ya que tenemos en nuestras manos la posibilidad de meternos en las entrañas de una tecnología que es y será una base en el crecimiento de las redes inalámbricas.

2.5.- Resumen del Capítulo

En este capítulo se presentó de forma general lo que son las redes llamadas de tercera generación y en que consisten, más en específico se habló de las redes de CDMA2000, mencionando sus características principales, cuales son sus protocolos, como es su funcionamiento de manera general, el concepto de Ortogonalidad y que significa, cual es su estructura general y el futuro que se puede vislumbrar a esta tecnología.

Por otro lado hablamos del protocolo TCP, cuales y cuantas son sus capas, de que manera interactúan entre ellas, cual es su estructuras general, como es su funcionamiento, cuales son sus sistemas de control y como actúan cada uno de ellos como es que se realiza la comunicación y las etapas que se deben cumplir, incluyendo un aspecto muy importante que es el concepto de congestión.

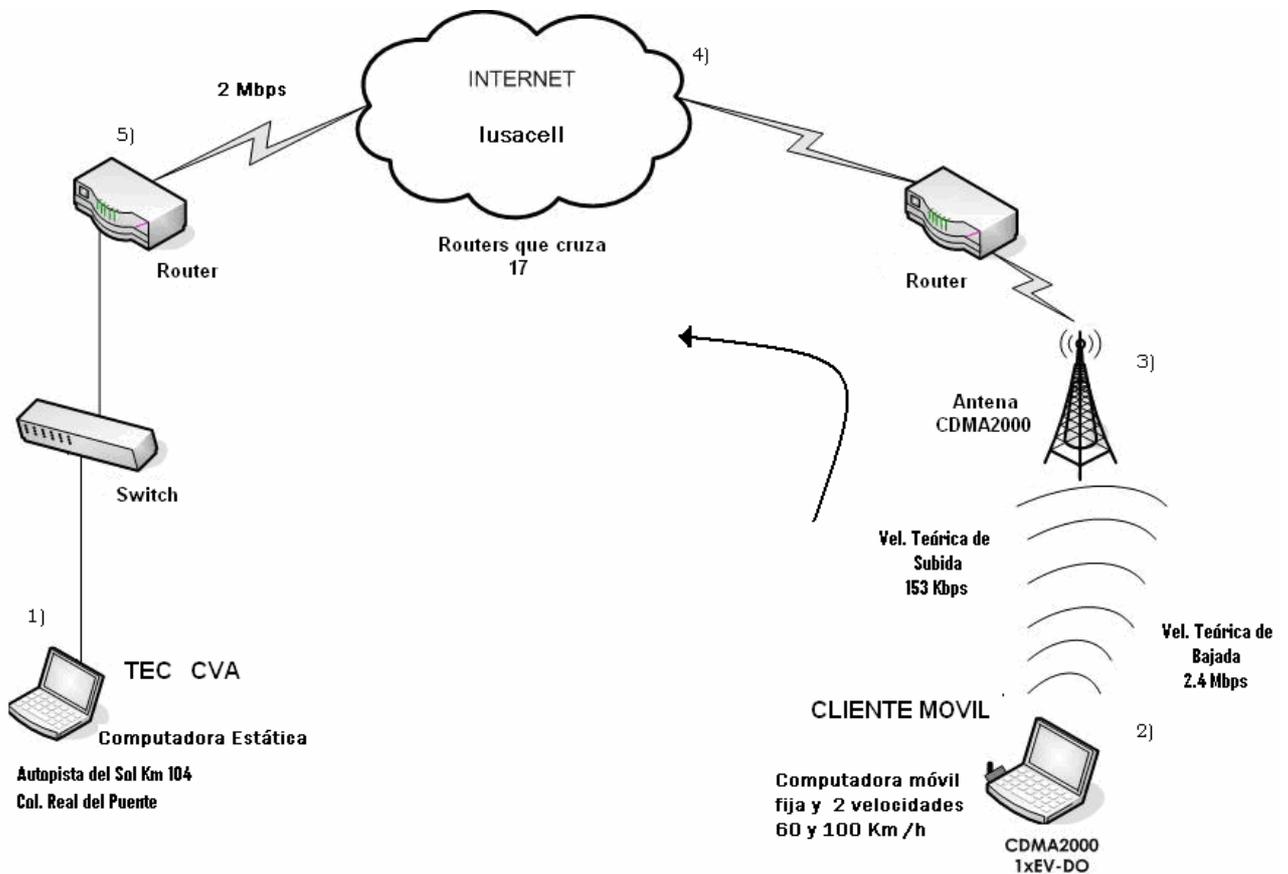
Finalmente hablamos de los parámetros de calidad Latencia, jitter y porcentaje de paquetes perdidos, que es cada uno de ellos, como se obtienen, lo que implica cada uno y lo importante que son.

Capítulo 3

Diseño del entorno de Pruebas

A continuación se presenta el diagrama, que muestra el entorno general utilizado para la realización de las pruebas; en este se puede observar, la ruta que tuvieron que seguir los paquetes que se enviaban de una máquina a otra, el sentido en el que iban y los elementos que intervinieron durante el trayecto, la explicación más completa con los detalles de la realización de las pruebas, se explica en la sección 2 de este capítulo.

3.1 Diagrama de Pruebas



3.2 Metodología de pruebas

Debido a que el interés principal es analizar el comportamiento del protocolo TCP sobre las redes inalámbricas de CDMA2000, se utilizó una tarjeta de conexión a red inalámbrica que existe en el mercado llamada BAM (Banda Ancha Móvil) cuyo proveedor de servicios es Iusacell y que cuenta con la tecnología CDMA2000, las características técnicas generales de esta tarjeta son:

Tecnología *3G Evolution* (EvDO), ancho de banda Máximo 2.4 Mbps en la recepción de tráfico y 153 Kbps en el envío de tráfico, Equipo de banda Dual CDMA 800 MHz/1.9 GHz, Tarjeta PCMCIA II y el Software requerido es el sistema Operativo Windows 2000/XP [IUSA 2007].

Para la realización de las pruebas se contempló el uso de 2 computadoras con el sistema operativo Windows XP. La computadora número (1) se denominó TEC CVA, estará fija dentro del campus Cuernavaca (Autopista del Sol Km. 104, Col. Real del Puente Xochitepec, Morelos.) la cual cuenta con las siguientes características: Un procesador Genuine Intel CPU T2400 1.83GHz, memoria RAM de 1 GB y disco duro de 60 GB. La computadora número (2) se denominó CLIENTE MÓVIL, contiene la tarjeta BAM y cuenta con las siguientes características: Un procesador Intel Pentium 1500 MHz, memoria RAM de 512 MB y disco duro de 30 GB, siendo esta la que actuará como el nodo en movimiento, primero ubicándola en una posición fija y posteriormente en movimiento a 2 velocidades diferentes 60 y 100 Km/h, con estas condiciones se analizaron las variantes en el comportamiento de tráfico TCP [KAND 2003a].

Tal como se muestra en la figura del Diagrama de pruebas, la parte inalámbrica inicia de la computadora que contiene la tarjeta BAM (CLIENTE MÓVIL) (2), de ahí va a la antena que está basada en la red de Iusacell (3), para posteriormente conectarse a Internet, pasando por un total de 17 *routers* (4) hasta llegar a la red del ITESM Campus Cuernavaca el cual cuenta con un enlace dedicado de salida máximo a 2 Mbps (5), para finalmente llegar a la computadora que está como TEC CVA (1). El tiempo que transcurre desde la transmisión hasta la recepción fue medido en distintas ocasiones, obteniendo un tiempo promedio de **128.5 ms** en la parte cableada y un tiempo de **156 ms** en la parte inalámbrica. Para la obtención de estos datos se utilizaron los comandos *tracert*, el cual nos provee la ruta por la que pasaron los paquetes (número y dirección de cada uno de los *routers*) desde la máquina CLIENTE MÓVIL hasta la máquina TEC CVA y el comando ping, mismo que nos proporciona el dato del tiempo que transcurre entre la transmisión y la recepción. La forma en que se realizó la prueba para obtener el tiempo en la parte inalámbrica, fue realizando varias conexiones con el comando ping de la máquina CLIENTE MÓVIL a la dirección del primer *router* que obtuvimos con la traza completa de una máquina a otra. Para el tiempo total se realizaron varias pruebas del comando ping de la máquina CLIENTE MÓVIL a la máquina llamada TEC CVA, con ambos datos pudimos obtener el tiempo de la parte cableada, siendo el resultado la resta del tiempo total menos el tiempo de la parte inalámbrica.

Durante este proceso, fue de gran interés conocer el número de *routers* que se requiere para la transmisión desde una máquina a otra, en este proceso se observó que los paquetes pasan a través de *routers* ubicados en Estados Unidos (más específicamente *routers* ubicados en la ciudad de Dallas). También se obtuvieron parámetros como la latencia, el *jitter* y el porcentaje de paquetes perdidos [CHOI 2006], con la obtención de estos parámetros es posible determinar la calidad con la que se comunica esta tecnología y así definir los servicios que pueden ser utilizados a través de ella y con que nivel de calidad.

Debido a que una de las informaciones más importantes en este análisis tiene que ver con los tiempos de Transmisión (Tx) y de Recepción (Rx) de cada encabezado o paquete, fue necesaria la utilización de un NTP (*Network Time Protocol*) el cual es un servidor que nos proporcionará un reloj de referencia, mismo que sirve para poder sincronizar los relojes de las dos computadoras con la finalidad de que los tiempos que obtengamos tengan el mismo reloj de referencia. Así la confiabilidad y veracidad de los datos será del grado que necesitamos, su funcionamiento en general es por medio de relojes atómicos que mandan la señal a ambas computadoras y así al inicio de una prueba se tiene el mismo horario en ambas máquinas con diferencias muy pequeñas, en este caso utilizamos un NTP llamado *Chronos-Atomic Clock Synchronizer* – v4.4.2 [CHRO 2007]. Esta herramienta se ponía a funcionar antes de echar a andar los analizadores de red, que grabarán los datos de transmisión y recepción de paquetes.

Para tal efecto se utilizó una serie de herramientas ya existentes de análisis de redes, tal es el caso de Ethereal [ETHE 2007] que es un analizador de paquetes de red para examinar su contenido, en la actualidad una versión más nueva es llamada Wireshark Versión 0.99.6a, aunque de forma general su funcionamiento es el mismo [WIRE 2007]. Estos capturan los paquetes que viajan por la red y despliega los datos de las capturas de una forma detallada [SHAR 2007]. Alcanza gran funcionalidad, debido a que puede analizar más de 500 protocolos y tiene una interfaz de usuario bien diseñada y fácil de manejar. Es considerado el mejor analizador de red [ANH 2005]. Esta aplicación utiliza la librería de captura de paquetes *Libpcap* para sistemas Linux/Unix o *Winpcap* para Windows.

Windump [WINP 2007a] que es la versión del TCPdump para Windows, contiene dos partes. La primera, es un conjunto de los *drivers* de captura de WinPcap [JPCA 2007] [WINP 2007b]. La segunda parte, es el programa en sí, el cual es invocado en línea de comando después de la instalación de la librería WinPcap [CHEN 2007] [ARRA 2007]. Para estas pruebas tanto Ethereal como Windump, fueron instaladas en las dos máquinas, ya que se requería la captura de la información tanto de Transmisión (Tx), como de Recepción (Rx). Por medio de ellas se captura el tráfico y los encabezados de cada paquete capturando, entre otra información, datos como la hora, la fecha, la dirección fuente, la dirección destino, el protocolo buscado e información sobre número de secuencias (Seq) y de reconocimientos (Ack), en este sentido fue necesario utilizar los filtros que la misma herramienta posee para capturar solo la información que nos interesa, como es el caso del tráfico con protocolo TCP proveniente de las direcciones IP seleccionadas [WIND 2007].

Adicionalmente el Ethereal también fue utilizado para leer los archivos de Windump y exportarlos a archivos XML [FUEN 2005], con la finalidad de poder observar y procesar los datos mediante una herramienta programada por nosotros, misma que llamaremos MIJO. Esta herramienta es alimentada con los dos archivos capturados, tanto el generado en la máquina que transmite el tráfico, como el que se genera en la máquina de recepción, una vez alimentada con los archivos en XML, los analiza y obtiene los datos de latencia, jitter y el porcentaje de paquetes perdidos, con los cuales se puede determinar las características de calidad que se manejaron en cada comunicación, también se le adicionó una función que nos permite pasar los resultados obtenidos de latencia y de jitter a archivos de Excel, facilitando su manejo y manipulación para obtención de gráficas, promedios o cualquier análisis que se requiera posteriormente.

Finalmente, también se requirió de un generador de tráfico que nos proporcione de manera automática un flujo de información de una máquina a otra, para tal efecto se usó el Iperf [DAST 2007] [PRIM 2002], el enlace de red es delimitado por una conexión entre dos *hosts*, donde uno de los *hosts* ejecuta un cliente Iperf y el otro ejecuta un servidor Iperf, al igual que las otras herramientas, fue necesario instalarlo en las dos máquinas para poder dirigir la información a una dirección IP específicas, esta herramienta tiene la característica de que además de poder establecer la dirección de la máquina receptora, se puede determinar el rango de tiempo de envío, permitiéndonos controlar los mismos tiempos en cada prueba [WU 2005], adicionalmente parte de la información que nos proporciona es la transferencia total que se realizó durante el lapso determinado, así como el ancho de banda que manejaron durante esa comunicación, tanto en el Transmisor, como en el receptor.

La forma en la que se efectuó cada una de las pruebas implicó la realización de los siguientes pasos: 1) Poner a funcionar el NTP en las dos máquinas, verificando su funcionamiento. 2) Poner a funcionar la herramienta de generación de tráfico Iperf y el analizador de red Windump en la máquina TEC CVA, con sus respectivos filtros. 3) Poner a funcionar el analizador de tráfico Windump en la máquina CLIENTE MÓVIL con el filtro seleccionado y finalmente 4) En el caso de la máquina CLIENTE MÓVIL, poner a funcionar el Iperf que era el “detonador” de inicio y envío de paquetes y por consecuencia el detonador de captura de información tanto de los paquetes generados en la transmisión como los datos generados en la recepción. Siendo grabados todos los archivos que se generaron.

Posteriormente, tanto el archivo generado en la transmisión, como el generado en la recepción, fueron convertidos a archivos con extensión XML por medio del Ethereal. Con estos archivos se alimentó a MIJO el cual compara transmisión vs recepción, entregándonos los datos de latencia, jitter y porcentaje de paquetes perdidos en cada una de las comunicaciones grabadas, de ahí que con estos datos podamos determinar la calidad de la comunicación que se obtuvo en cada prueba. La cantidad de pruebas, horarios y los resultados obtenidos, se mencionan en el siguiente capítulo

3.3 Resumen del Capítulo

En este capítulo se presentó el diagrama utilizado en todas las pruebas, mencionando en el mismo diferentes datos que se obtuvieron, se especificaron las características de las computadoras utilizadas; así como la metodología que se llevó a cabo, comentando paso por paso la forma en que fueron realizadas las pruebas, la forma en que se archivaron y el número de *routers* por los que pasa la información para comunicarse entre ellas.

Por otro lado se mencionaron las herramientas utilizadas, su funcionamiento, cómo fueron utilizadas, los beneficios de usar estas herramientas; así mismo se comentó en donde fueron instaladas y como es que se complementaron para nuestro beneficio, en general también se habló de la herramienta que se programó llamada MJO, misma que nos da la información de los parámetros de QoS.

Capítulo 4

Implementación de Experimentos y Análisis de resultados

4.1 Descripción y frecuencia de Pruebas

Una vez determinados los elementos y las herramientas que intervendrán en estas pruebas, la idea fue especificar el número de pruebas, la frecuencia, los días y las horas de las mismas, siendo realizadas de la siguiente manera:

Los lunes en tres horarios distintos, a) entre las 9:00 y las 11:00 hrs. b) entre las 13:00 y las 15:00 hrs. c) entre las 17:00 y las 19:00 hrs.

Los miércoles en tres horarios distintos, a) entre las 9:00 y las 11:00 hrs. b) entre las 13:00 y las 15:00 hrs. c) entre las 17:00 y las 19:00 hrs.

Los viernes en tres horarios distintos, a) entre las 9:00 y las 11:00 hrs. b) entre las 13:00 y las 15:00 hrs. c) entre las 17:00 y las 19:00 hrs.

En cada día y horario, se realizaron doce pruebas del enlace de subida (*Uplink*) con el CLIENTE MÓVIL, cuatro a 60 Km/h, cuatro a 100 Km/h y cuatro de forma fija, esto se realizó durante 3 semanas y media con la idea de poder tener un banco de datos bajo condiciones similares, que permitan obtener resultados más confiables que muestren las tendencias del comportamiento con las distintas características. Y así determinar si las variantes en los resultados se deben al movimiento del CLIENTE MÓVIL, al horario de las pruebas y en qué medida afecta dicha variante al comportamiento de la red CDMA2000.

Cada prueba tuvo una duración de 120 segundos, determinados por la herramienta iperf, la cual se programó para que enviara información durante este lapso de tiempo.

En el caso de las pruebas en movimiento, la ruta en la cual se realizaron, siempre fue la misma, siendo del ITESM Campus Cuernavaca (Autopista del Sol Km. 104, Col. Real del Puente Xochitepec, Morelos) al km 98 de la Autopista del Sol, en ambos

sentidos, ya que algunas pruebas se realizaron en sentido de norte a sur y otras en el sentido contrario, también buscando si se presentaban variantes por este motivo. Siempre teniendo la finalidad de conservar el mismo punto de comparación y poder obtener resultados reales, mismos que analizaremos y explicaremos en la siguiente sección.

4.2 Análisis de Resultados

El análisis de las pruebas las vamos a comentar en tres apartados principales, el primero con las pruebas de forma fija, el segundo con las pruebas en movimiento a las dos velocidades mencionadas; para finalmente comentar y comparar los resultados obtenidos en conjunto fija vs movimiento.

4.2.1 Pruebas en fijo

De acuerdo a como se explicó con anterioridad en cada horario y día se realizaron distintas pruebas, obteniendo una gran cantidad de información con la cual se busca determinar las características que nos presenta esta tecnología, relacionadas al comportamiento de la red. De estos datos, se puso principal atención en observar cuales son las tendencias que se presentaron y que nos proporcionan información más clara de la calidad de la red, por lo que los datos que se analizaron son: el número de paquetes, la latencia, el jitter y el porcentaje de paquetes perdidos.

Para ejemplificar los resultados obtenidos, se tomaron las muestras de las pruebas realizadas en día lunes entre las 13:00 y las 15:00 horas, como se puede observar en la figura siguiente de latencia (Figura 4.1) y en la de jitter (Figura 4.2). En ellas se puede ver las fluctuaciones que se presentan en los resultados del envío de paquete, teniendo un comportamiento oscilatorio tal y como actúa el protocolo TCP, por el efecto de su ventana deslizante, la cual ya se explicó en el capítulo de estado del arte, en donde al actuar esta, se disminuye el ancho de banda debido a la congestión que se presente en la red.

En el caso de esta prueba, específicamente el resultado de la latencia, es como sigue: el promedio que se obtuvo es de 0.64736 segundos, teniendo valores picos que variaron desde 1.6147 segundos como máximo y hasta 0.21907 segundos como mínimo.

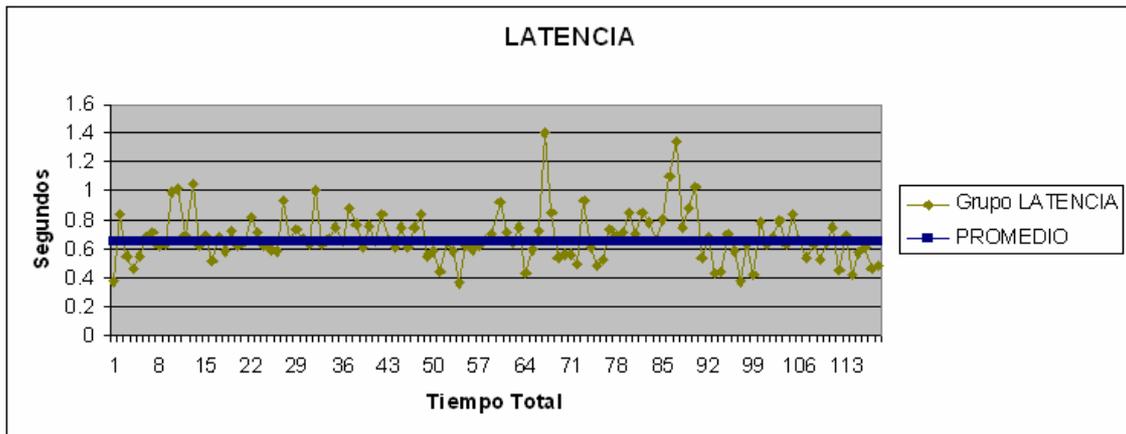


Figura (4.1) Resultado de latencia, prueba fija lunes 13-15 hrs.

En el caso del jitter el cual se obtiene con la fórmula de la desviación estándar, se obtuvo en esta prueba un valor de 0.0969 segundos, con valores picos hasta de 0.9055 segundos máximo y de 0.0010223 segundos como mínimo.

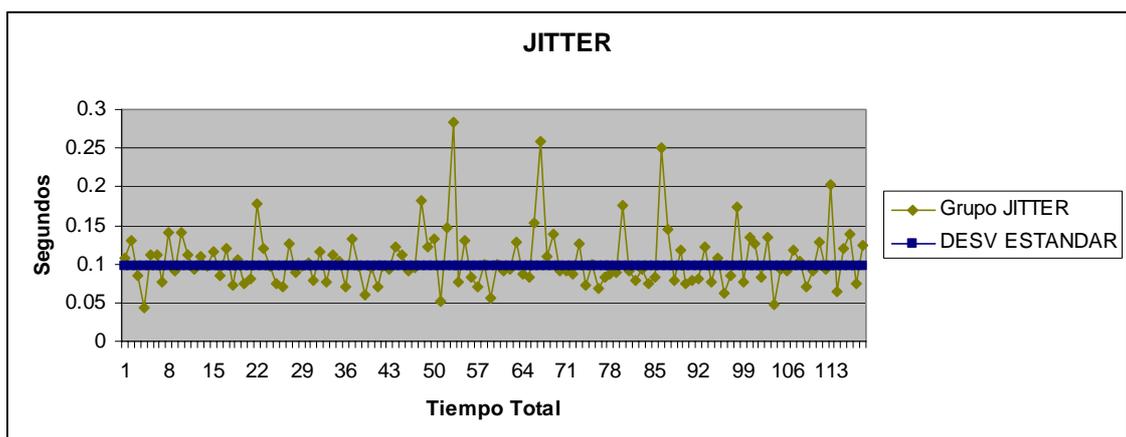


Figura (4.2) Resultado de jitter, prueba fija lunes 13-15 hrs.

Para ambas figuras, en el eje de las "x" se consideró el total del tiempo que duro la prueba, graficándose promedios de los valores resultantes por cada segundo de prueba, esto con la finalidad de tener una gráfica clara y poder observar el comportamiento que se tuvo en este horario.

En la siguiente figura se muestra el resultado que nos arrojó la herramienta MIJO (Figura 4.3), en donde también se nos menciona el dato de paquetes perdidos y total de paquetes analizados, para esta misma prueba.

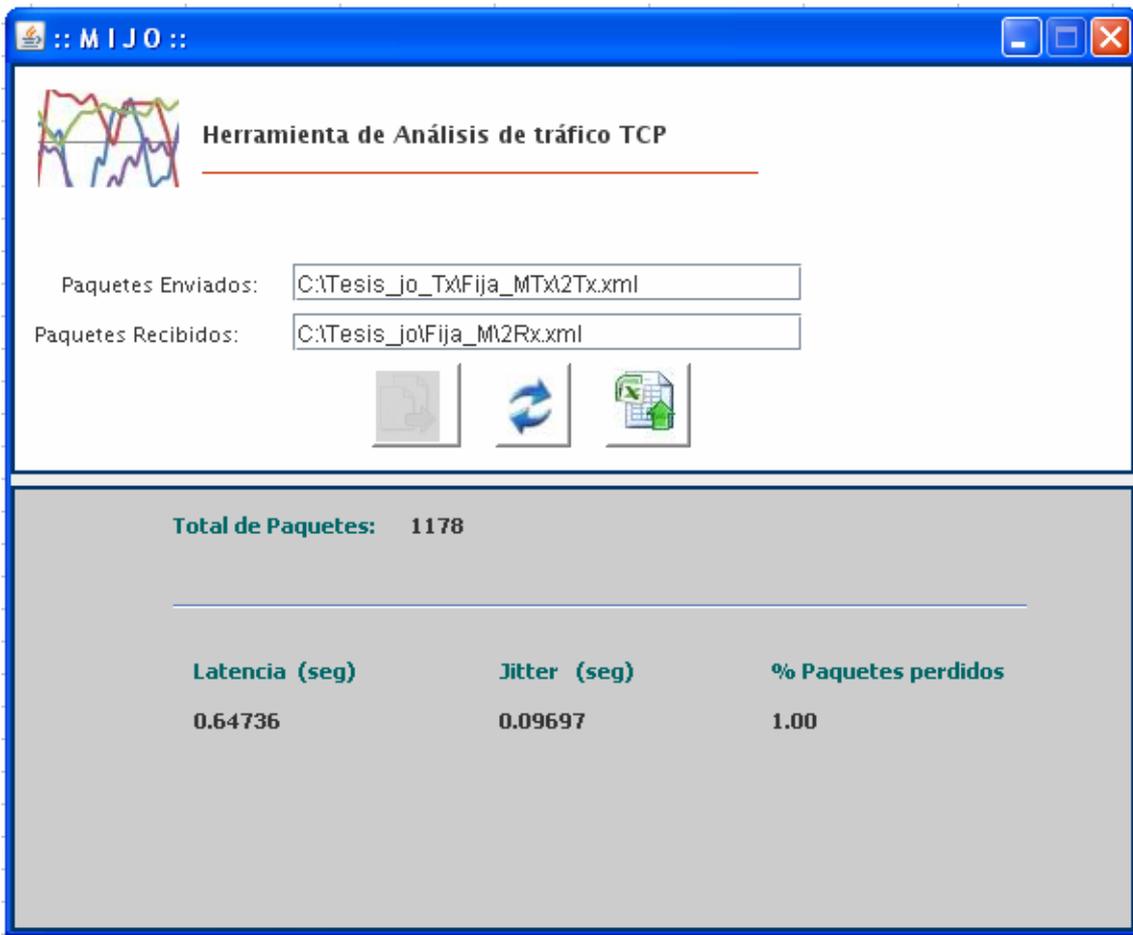


Figura (4.3) Resultado de herramienta MIJO, prueba fija lunes 13-15 hrs.

Así como se observan estos resultados en las pruebas muestra, cada una de las pruebas que se realizaron nos proporcionó gráficas con características similares, cada una con sus diferentes valores pico, promedio y desviación estándar según corresponda, con ellas se realizó un cuadro comparativo en donde se plasmaron los resultados generales obtenidos tal como se muestra en la (Tabla 4.1).

Esta tabla nos da un panorama general de cómo se observa el comportamiento de la red en una situación fija, abarcando los distintos horarios de prueba. En la columna de Prueba se especifica el día y la hora de la prueba; siendo la letra L, M o V para los días lunes, miércoles o viernes y el número 9, 13 y 17 para la hora de la prueba 9-11, 13-15 y 17-19 horas. En las siguientes columnas se ven los resultados que se obtuvieron en el total de las pruebas y que nos muestran las tendencias en cada caso.

Pruebas	Paquetes	Latencia (seg)	Jitter (seg)	% paq
L9_Fija	1081	0.6178675	0.122635	0.50000
L13_Fija	1098	0.6856175	0.178107	1.125
L17_Fija	1117	1.09559	0.103845	1.5
M9_Fija	1146	1.22144	0.117573	1.25
M13_Fija	1147	0.44579	0.097648	1
M17_Fija	1049	0.7778987	0.117209	1.25
V9_Fija	828.3	0.688015	0.13529	0.75
V13_Fija	959	0.993595	0.155567	1.33333
V17_Fija	1032	1.023855	0.130178	1.33333

Tabla (4.1) Resultado general de pruebas fijas

En los datos que se observan en la tabla, se puede ver que el horario y el día en el que se realizaron las pruebas es un factor que modifica el comportamiento, aún cuando las características en las que se realizaron la pruebas sean las mismas, no en todos los horarios existe el mismo número de usuarios, por lo que se pueden apreciar con estos resultados, cuales son los días en que hay más demanda en la red.

Viendo estos datos, los lunes por la mañana y los miércoles después de medio día es cuando se tiene un mejor desempeño, en el caso de los lunes temprano es cuando la red tiene la menor pérdida de paquetes y los miércoles después de medio día es cuando se tienen los mejores tiempos tanto en latencia como en jitter, con estos valores obtenidos, podemos asegurar que servicios que funcionen sobre ftp, http y telnet pueden ser utilizados por esta tecnología, aún estando en movimiento.

Con esta idea, servicios tales como: Envío y recepción de documentos, acceso a páginas web en Internet, envío y recepción de correos electrónicos, control de equipo de computo vía remota, son posibles. Por otro lado con estos valores podemos darnos una idea de la calidad que se tiene para el manejo de servicio multimedia.

En cambio los lunes en la tarde, los miércoles por la mañana y los viernes después de medio día, son los días con peores desempeños, en donde tanto el porcentaje de paquetes perdidos como los valores de latencia y jitter son elevados; aún con estas condiciones en los parámetros de calidad, el uso de servicios ya mencionados, sigue siendo posible usarlos.

Pasemos ahora a la siguiente sección en donde se presentarán los resultados correspondientes a las pruebas realizadas con el nodo en movimiento.

4.2.2 Pruebas en Movimiento.

Al igual que en la parte fija, pero ahora con el nodo en movimiento se realizaron distintas pruebas en los diferentes horarios y días, poniendo principal atención en observar las tendencias que se presentaron; y que nos proporcionan información más clara de la calidad de la red, analizando también en esta parte: el número de paquetes, la latencia, el jitter y el porcentaje de paquetes perdidos.

4.2.2.1 Pruebas a 60 Km/h

A continuación se presentan dos figuras, una de latencia (Figura 4.4) y una de jitter (Figura 4.5) a la velocidad de 60 Km/h estas son de las pruebas del día miércoles entre las 17 y las 19 hrs., en estas también se observan las fluctuaciones que se presentan en un comportamiento oscilatorio tal y como actúa el protocolo TCP.

Comencemos con el caso de prueba a 60 Km/h, el promedio de la latencia que se observa es de 0.73834 segundos, con valores picos hasta de 2.216 segundos máximo y de 0.27276 segundos mínimo.

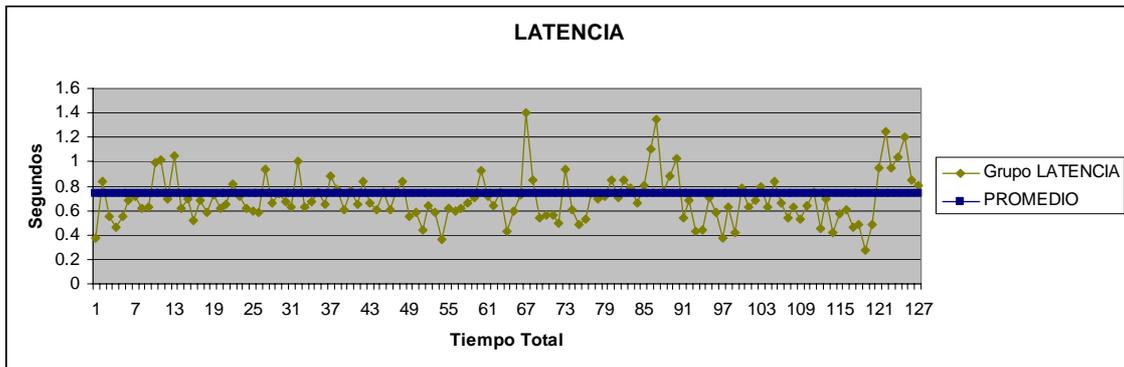


Figura (4.4) Resultado de latencia, prueba a 60Km/h miércoles 17-19 hrs.

En el caso del jitter, también en la prueba a 60 km/h, se obtuvo un valor de 0.22723 segundos, con valores picos hasta de 4.194 segundos máximo y de 0.0003241 segundos mínimo.

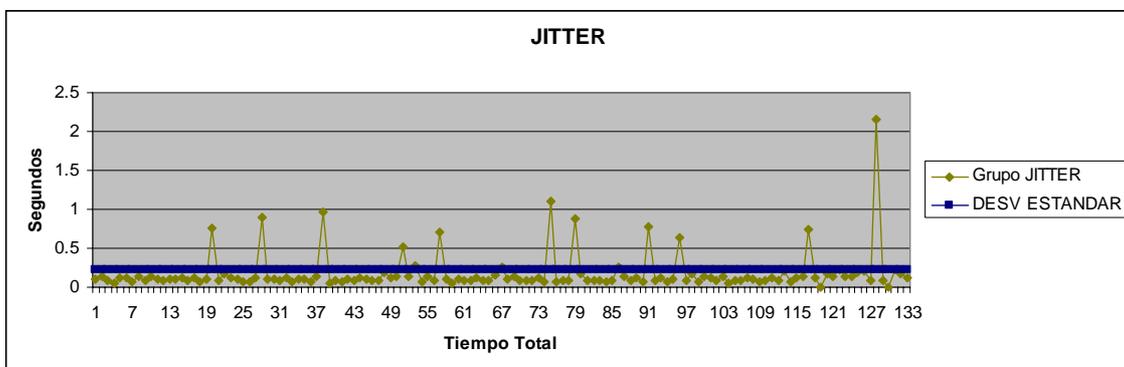


Figura (4.5) Resultado de jitter, prueba a 60Km/h miércoles 17-19 hrs.

Al igual que en la parte fija para ambas figuras, en el eje de las "x" se consideró el total del tiempo que duro la prueba, graficándose promedios de los valores

resultantes por cada segundo de prueba, esto con la finalidad de tener una gráfica clara y poder observar el comportamiento que se tuvo en este horario.

En esta parte también se muestra el resultado que arrojó la herramienta MIJO (Figura 4.6), en las pruebas en movimiento a 60 Km/h.

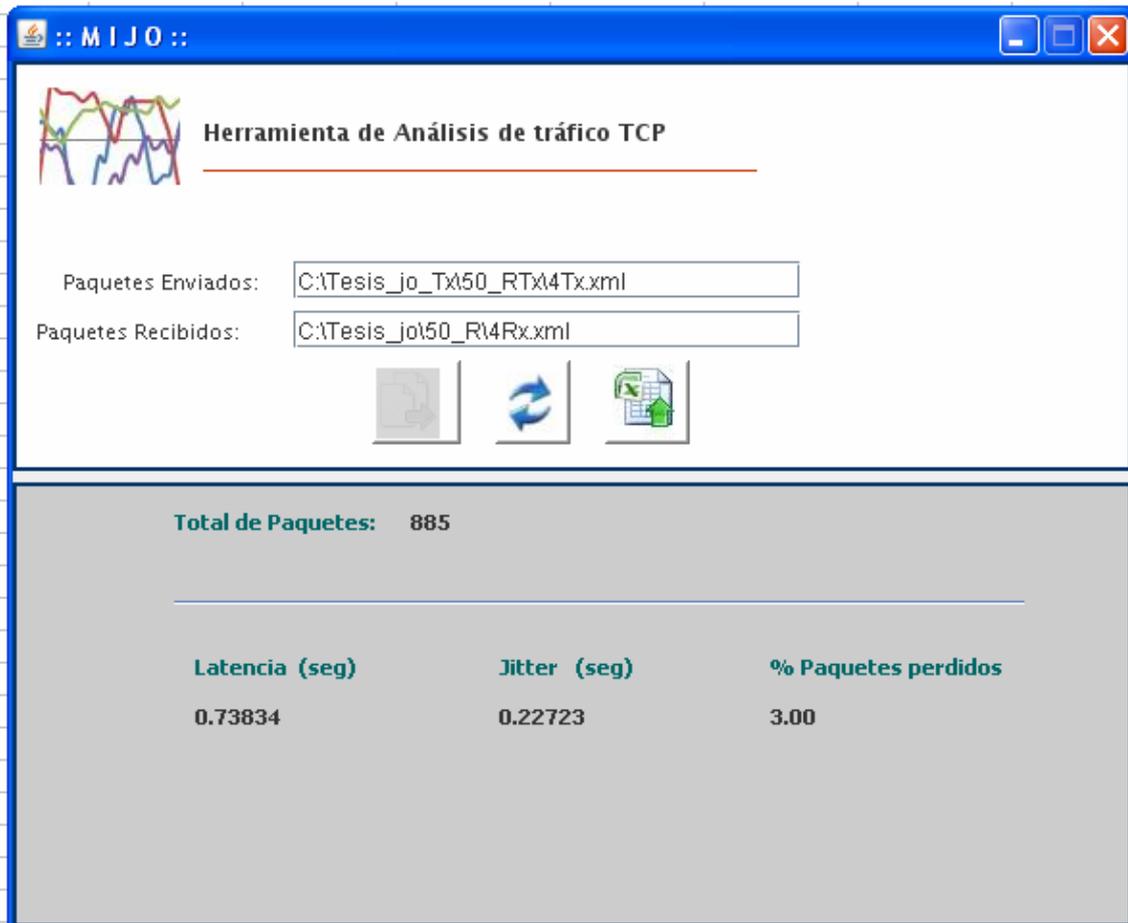


Figura (4.6) Resultado de herramienta MIJO, prueba fija miércoles 17-19 hrs.

Teniendo estos datos, también se realizó un cuadro comparativo en donde se plasmaron los resultados generales obtenidos en las pruebas a 60 km/h, tal como se muestra en la (tabla 4.2).

En esta adicionamos los otros valores que se mencionaron líneas arriba y que también nos revelan información que nos permite determinar su comportamiento.

Esta nos da un panorama general de cómo se observa el comportamiento de la red en movimiento a 60 Km/h, en los distintos horarios de prueba. El concepto de la columna de Prueba es el mismo al mencionado en las pruebas fijas, donde se especifica el día y la hora de la prueba. También en las siguientes columnas se tienen los resultados que nos muestran las tendencias de comportamiento en cada caso.

Pruebas	Paquetes	Latencia (seg)	Jitter (seg)	% paq
L9_60	814	0.6331425	0.39519	2.75000
L13_60	774.37	0.63503625	0.330111	3.25
L17_60	815	1.286145	0.29398	3.5
M9_60	941.3	1.4270825	0.23876	1.5
M13_60	567	1.283195	0.3367275	2.125
M17_60	819	0.55039714	0.2123129	2.285714
V9_60	588.6	1.111188	0.900815	2.6666
V13_60	533.4	1.79212615	0.9067191	3.75000
V17_60	790.7	1.119224	0.229119	2.60000

Tabla (4.2) Resultado general de pruebas a 60 Km/H

Al igual que en el análisis de las pruebas fijas, en los datos que se observan en la tabla, se puede ver que el horario y el día en el que se realizaron las pruebas es un factor que modifica el comportamiento, aún cuando las características en las que se realizaron la pruebas sean las mismas, no en todos los horarios existe el mismo número de usuarios, por lo que se pueden apreciar con estos resultados, cuales son los días en que hay más demanda en la red.

En este caso se observa que nuevamente, los lunes por la mañana son momentos con uno de los mejores desempeños, así como los miércoles por la tarde después de las 17 horas se presentan los mejores resultados, en el caso de los lunes temprano es cuando la red presenta uno de los menores valores de perdida de paquetes y los miércoles en la tarde es cuando se tienen los mejores tiempos tanto en latencia como en jitter, nuevamente podemos considerar que con estos valores tenemos acceso a determinados servicios.

Siendo el envío y recepción de documentos, acceso a páginas web en Internet, envío y recepción de correos electrónicos, control de equipo de computo vía remota. También con estos valores podemos darnos una idea de la calidad que se podría tener, a la velocidad de 60 Km/h, para el manejo de servicio multimedia.

En cambio los miércoles después de medio día, los viernes por la mañana y los viernes después de medio día, son los días con peores desempeños, en donde tanto el porcentaje de paquetes perdidos como los valores de latencia y jitter son más elevados.

A continuación se realizará el mismo análisis para las pruebas a 100 Km/h.

4.2.2.2 Pruebas a 100 Km/h

A continuación se presentarán dos figuras, una de latencia (Figura 4.7) y otra de jitter (Figura 4.8) ahora a la velocidad de 100 Km/h. Estas últimas se tomaron de las pruebas del día viernes entre las 9 y las 11 hrs, en estas también se observan las fluctuaciones que se presentan en un comportamiento oscilatorio tal y como actúa el protocolo TCP.

Ahora se verán los casos de prueba a 100 Km/h, iniciando con el resultado para la latencia, obteniendo un valor de 1.9532 segundos, con valores picos hasta de 6.3113 segundos máximo y de 0.185419 segundos mínimo.

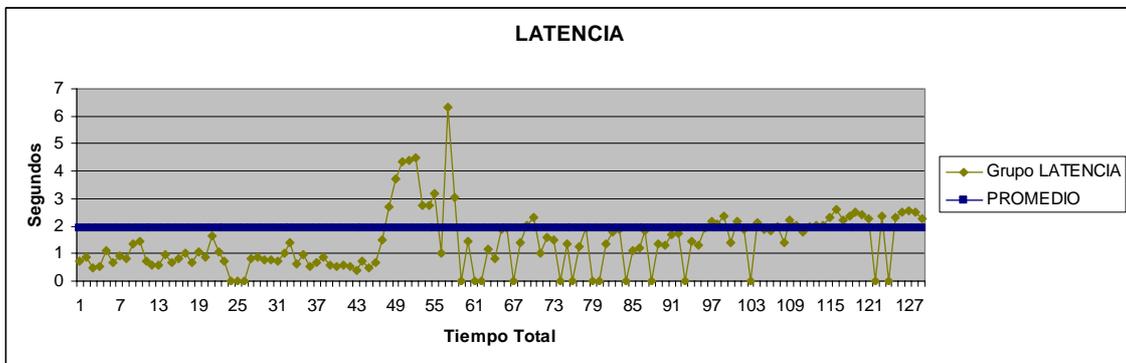


Figura (4.7) Resultado de latencia, prueba a 100Km/h viernes 9-11 hrs.

En el caso del jitter para esta prueba a 100 km/h, se obtuvo un valor de 0.50923 segundos, con valores picos hasta de 4.2563 segundos máximo y de 0.00558 segundos mínimo.

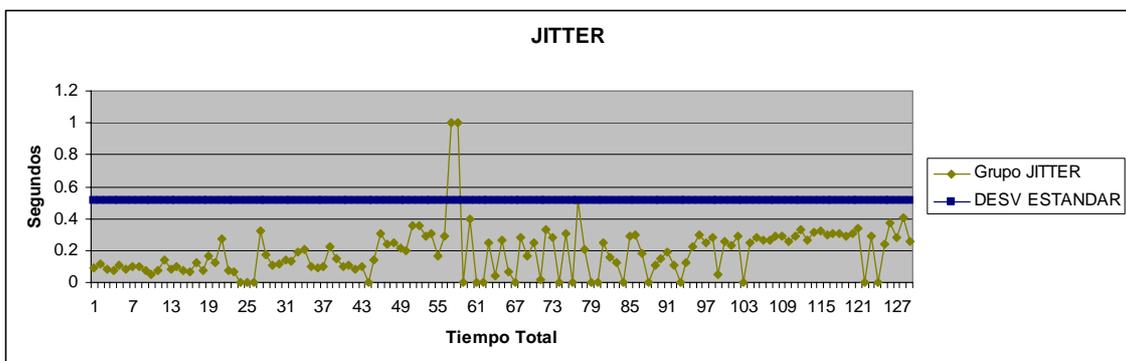


Figura (4.8) Resultado de jitter, prueba a 100Km/h viernes 9-11 hrs.

Al igual que en las gráficas fijas y a 60 Km /h, en el eje de las “x” se consideró el total del tiempo que duro la prueba, graficándose promedios de los valores resultantes por cada segundo de prueba, esto con la finalidad de tener una gráfica clara y poder observar el comportamiento que se tuvo en este horario.

Ahora veamos para este caso el resultado que proporcionó la herramienta MIJO (Figura 4.9), para la prueba en movimiento a 100 Km/h.

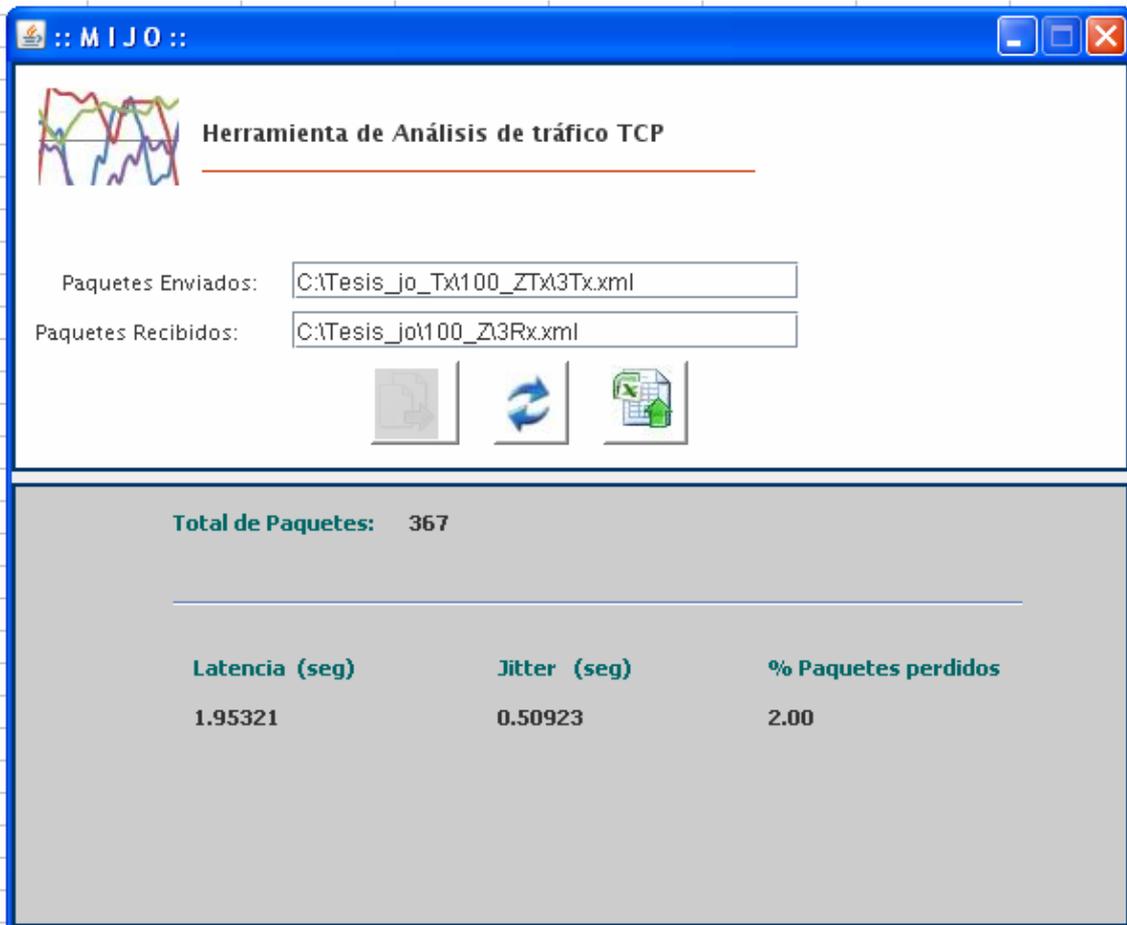


Figura (4.9) Resultado de herramienta MIJO, prueba a 100Km/h viernes 9-11 hrs.

También con esta información, se realizó el cuadro comparativo donde se muestran los resultados generales obtenidos a esta velocidad, tal como se muestran en la (tabla 4.3).

Pruebas	Paquetes	Latencia (seg)	Jitter (seg)	% paq
L9_100	820	0.67664	0.27756	2.50000
L13_100	766.6	0.734702	0.35248714	3.428
L17_100	765.5	1.495505	0.3476225	4.25
M9_100	560.9	2.305515	0.8060375	9.25
M13_100	536	1.451188	0.35767375	2.5
M17_100	596	0.74644875	0.43529122	3.5
V9_100	448	1.800135	0.700834	4.7692
V13_100	437.9	2.91874313	1.12867	5.87500
V17_100	742.8	1.1380133	0.3092583	4.08333

Tabla (4.3) Resultado general de pruebas a 100 Km/H

Por tercera ocasión se observa que nuevamente, los lunes por la mañana son momentos con uno de los mejores desempeños, en este caso también los lunes después de medio día y los miércoles por la tarde presentan los mejores resultados, en el caso los lunes por la mañana es cuando la red presenta, no tan solo uno de los menores valores de perdida de paquetes, si no también los mejores valores de latencia y jitter, mientras que los lunes después de medio día y los miércoles en la tarde se tienen de los mejores tiempos tanto en latencia como en jitter, nuevamente podemos considerar que con estos valores tenemos acceso a los mismos servicios.

Envío y recepción de documentos, acceso a páginas web en Internet, envío y recepción de correos electrónicos, control de equipo de computo vía remota. También con estos valores podemos darnos una idea de la calidad que se podría tener, a la velocidad de 100 Km/h, para el manejo de servicio multimedia.

Por otro lado los miércoles por la mañana, los viernes por la mañana y los viernes después de medio día, son los días con peores desempeños, en donde tanto el porcentaje de paquetes perdidos como los valores de latencia y jitter son muy elevados, al igual que a 60 Km/h.

Finalmente con esta tabla se han mostrado los resultados completos de todas las pruebas a las diferentes velocidades, en la siguiente sección se pueden observar el comparativo de los resultados y observando los diferentes comportamientos para determinar los cambios y modificaciones que se presentan en la red.

4.2.3 Comparativo Fijo vs en Movimiento

En esta sección, se realizarán diferentes comparaciones, primero observando los mejores y los peores valores de los parámetros de QoS, manejando sus porcentajes de afectación. Posteriormente con los valores promedio de cada parámetro, se obtendrán las funciones que representan su comportamiento y con las cuales se podrá generalizar valores con respecto a la velocidad de movimiento.

4.2.3.1 Comparativo mejores y peores resultados.

De las tablas 4.1, 4.2 y 4.3, se puede determinar que existen tendencias claras en el comportamiento de la red, las cuales nos muestran variaciones en los resultados dependiendo de la velocidad a la que se realizaron las pruebas, ya que prácticamente en todos los datos analizados los resultados empeoran sus valores de calidad, mientras mayor sea la velocidad de movimiento.

Comparando columna por columna, se podrá identificar una clara diferencia (afectación en la red) entre cada una de las pruebas a diferentes velocidades, en la comparación siguiente (Tabla 4.4) se mencionan los mejores y peores valores de cada parámetro, mencionando en que horario y día se obtuvo dicho valor.

Fijas		60 Km/h		100 Km/h		Fijas		60 Km/h		100 Km/h	
Prueba	Mejor / peor	Prueba	Mejor / peor	Prueba	Mejor / peor	Prueba	Mejor / peor	Prueba	Mejor / peor	Prueba	Mejor / peor
	# Paquetes		# Paquetes		# Paquetes		Jitter		Jitter		Jitter
						Segundos					
M13_Fija	1147	M9_60	941.3	L9_100	820	M13_Fija	0.0976475	M17_60	0.2123129	L9_100	0.27756
V9_Fija	828.3	V13_60	533.4	V13_100	437.9	L13_Fija	0.178107	V13_60	0.9067191	V13_100	1.12867
Fijas		60 Km/h		100 Km/h		Fijas		60 Km/h		100 Km/h	
Prueba	Mejor / peor	Prueba	Mejor / peor	Prueba	Mejor / peor	Prueba	Mejor / peor	Prueba	Mejor / peor	Prueba	Mejor / peor
	Latencia		Latencia		Latencia		% paq perdido		% paq perdido		% paq perdido
						Segundos					
M13_Fija	0.44579	M17_60	0.55039714	L9_100	0.67654	L9_Fija	0.5	M9_60	1.5	L9_100	2.5
M9_Fija	1.22144	V13_60	1.79212615	V13_100	2.91874313	L17_Fija	1.5	V13_60	3.75	M9_100	9.25

Tabla (4.4) Comparativo Fija vs Movimiento

Con este análisis se observa un claro descenso en todas las características de la red, todas relacionadas a la velocidad, mientras mayor sea la velocidad sus parámetros son de menor calidad.

En las comparaciones siguientes, se tomo como referencia el resultado de las pruebas fijas y de ahí se obtuvo el porcentaje de afectación para cada rubro en su mejor y peor desempeño en las dos diferentes velocidades que se manejaron.

En cuanto al número de paquetes, la disminución es del 18 y 28 % a 60 y 100 Km/h respectivamente esto en lo relacionado a su mejor desempeño, si se comparan en su peor desempeño, la diferencia es aún mayor, siendo desde el 36 % a 60 Km/h hasta 48 % a 100 Km/h.

Realizando la misma comparación pero ahora en el rubro de latencia, en su mejor desempeño la latencia aumenta desde un 23 % a 60 Km/h hasta un 51 % a 100 Km/h, siendo que en el peor desempeño se aumenta del 46 % a 60 Km/h hasta el 138 % a 100 Km/h.

En cuanto a Jitter, en el mejor desempeño se incremento desde el 117 % a 60 Km/h hasta el 184 % a 100 Km/h, mientras que en el peor desempeño se aumentó desde el 409 % a 60 Km/h hasta el 533 % a 100 Km/h.

Finalmente en cuanto a paquetes perdidos, en su mejor desempeño se incrementó del 200 % a 60 Km/h y en 400 % a 100 Km/h y en su peor desempeño se incrementó el 150 % a 60 Km/h y en 516 % a 100 Km/h.

Para complementar la información antes descrita, se tomaron como ejemplo los resultados de latencia y jitter, mismos que se muestran gráficamente con sus mejores valores (Figura 4.10 y 4.11).

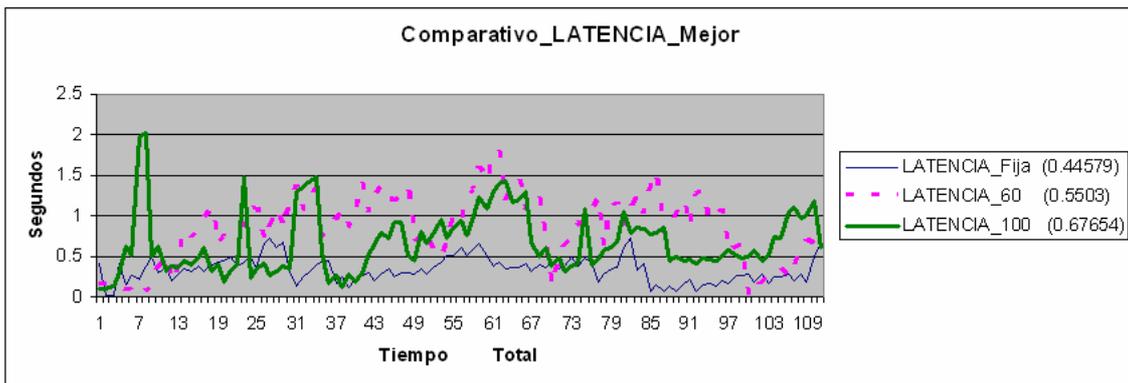


Figura (4.10) Comparación de latencia, en sus mejores valores.

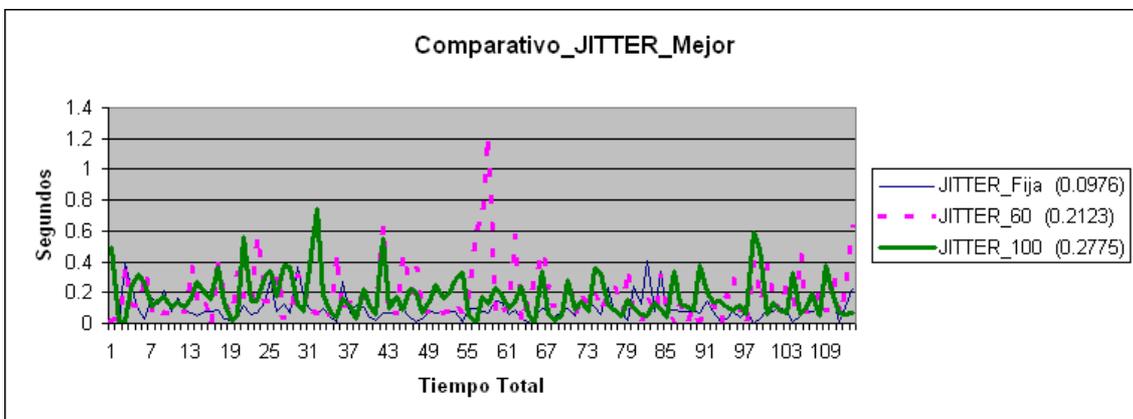


Figura (4.11) Comparación de jitter, en sus mejores valores.

De la misma manera se presentan las gráficas, pero ahora con los peores valores de latencia y de jitter (Figura 4.12 y 4.13).

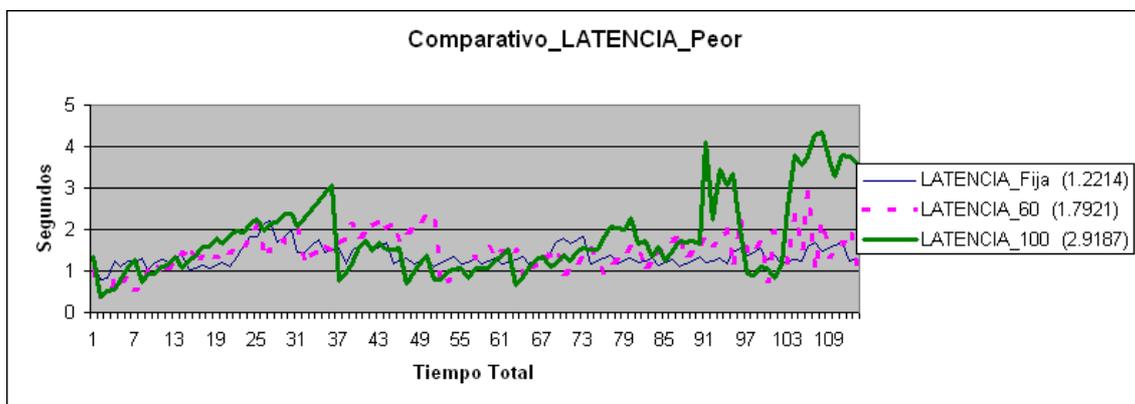


Figura (4.12) Comparación de latencia, en sus peores valores.

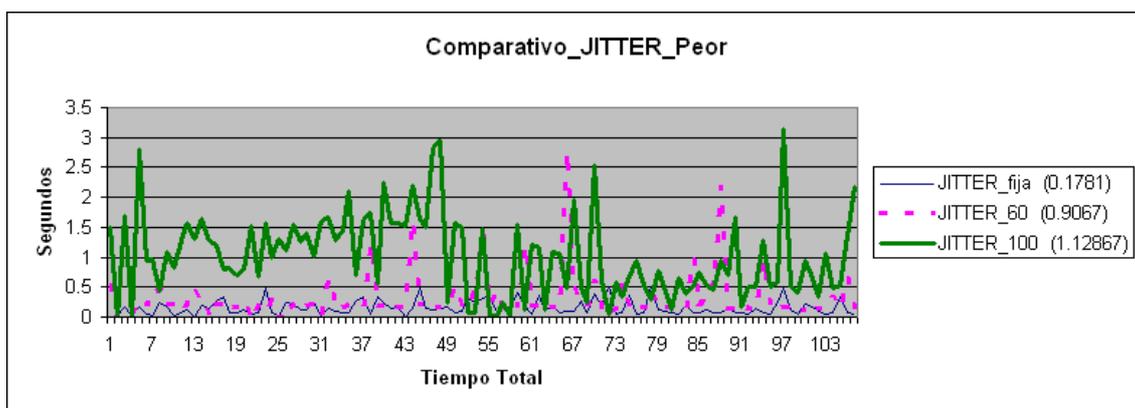


Figura (4.13) Comparación de jitter, en sus peores valores.

Con las gráficas antes presentadas se puede apreciar, con mayor facilidad, la diferencia que existe entre cada uno de los valores obtenidos y que están relacionados con la velocidad a la que se desplaza el CLIENTE MÓVIL.

4.2.3.2 Valores promedio y funciones representativas.

En los análisis anteriores, se ha hablado de los valores con el mejor y con el peor desempeño en cada una de las velocidades, distinguiendo la hora y el día de la prueba, como parte importante del análisis. En el siguiente estudio se hablará de los valores en general en cada una de las velocidades, sin importar el día o la hora, solo contemplando los valores promedio con el CLIENTE MÓVIL de manera fija, a 60 Km/h y a 100 Km/h, (Tabla 4.5)

Promedio				
Pruebas	Paquetes	Latencia (seg)	Jitter (seg)	% paq
Fija	1050.811111	0.838852078	0.128672306	1.11574
60 Km/h	738.1522222	1.093059616	0.427081611	2.714146
100 Km/h	630.4111111	1.474087798	0.523937157	4.461725556

Tabla 4.5 Valores promedio del nodo móvil, a diferentes velocidades

Tomando como base la información de esta tabla, se buscó obtener las funciones que describen su comportamiento; quedando funciones dependientes de la velocidad de movimiento del CLIENTE MÓVIL.

Para la obtención de las mismas, se utilizaron métodos matemáticos, como el de funciones de mínimos cuadrados, más específicamente la regresión lineal, este está basado en la existencia de algunos puntos (x,y) de la gráfica y a partir de ellos se obtiene la función [DEMI 1978], [SC 2008].

Para la obtención de la función, de manera general se siguieron los siguientes puntos, primero se tiene que determinar a que tipo de función se parece la gráfica.

Por ejemplo $y=ab^x$ siendo una exponencial

Después se busca dejar la función, como una ecuación lineal, utilizando transformación de variables, en este caso usando logaritmo natural y sus propiedades.

$$\ln y = \ln a + \ln b^x$$

$$\ln y = \ln a + x \ln b$$

...

...

Hasta llegar a una ecuación del tipo

$$Y = A + BX$$

Después se utilizan los valores originales (x,y), mismos que serán sustituidos en la transformación de la variable, obteniendo unos nuevos valores (x,y).

Estos nuevos valores se utilizan en la función de regresión lineal, obteniendo los valores para A y B, posteriormente se sustituyen en la ecuación de la recta que buscamos.

O sea en
$$Y = A + BX$$

Con este resultado nuevamente se utiliza la transformación de variable y las propiedades logarítmicas, llegando a la función buscada, misma que puede ser exponencial, función de potencia, una recta, una función logarítmica o una función polinomial, dependiendo de lo que se sugirió originalmente, para este ejemplo, sería:

$$\ln y = \ln a + x \ln b$$

...

...

...

$$y = e^a e^{bx}$$

Este procedimiento se utilizó para cada uno de los parámetros de QoS, obteniendo los siguientes resultados:

A) Para el caso de paquetes totales la función que representa la gráfica (Figura 4.14), es una exponencial:

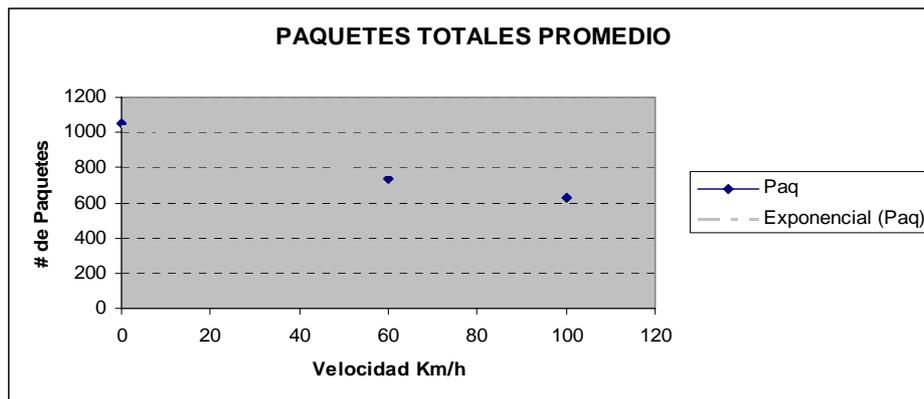


Figura (4.14) Puntos (x,y) de valores promedio en paquetes totales.

Función de “paquetes totales” promedio:

$$y = 1038 e^{-0.00517x}$$

Con esta función podemos extrapolar los valores en las velocidades de 20, 40, 80 y 120 Km/h, resultando en la representación de la gráfica completa de paquetes totales promedio (Figura 4.15)

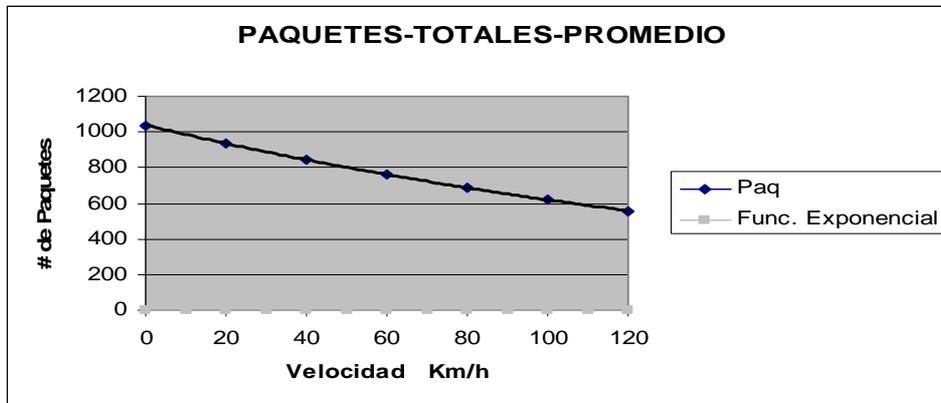


Figura (4.15) Representación completa de valores promedio en paquetes totales.

B) Para el caso de latencia la función que representa la gráfica (Figura 4.16) también es una exponencial:

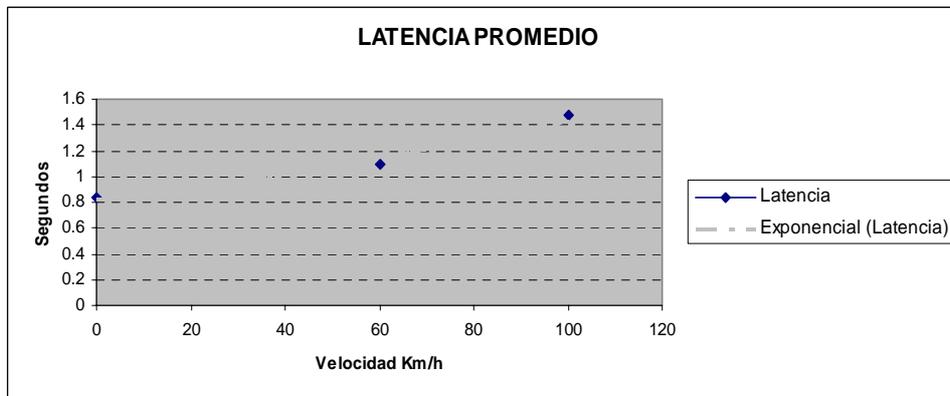


Figura (4.16) Punto (x,y) de valores promedio en latencia.

Función de “latencia” promedio:

$$y = 0.8227 e^{0.0054x}$$

También con esta función podemos extrapolar los valores en las velocidades de 20, 40, 80 y 120 Km/h, resultando en la representación de la gráfica completa de latencia promedio (Figura 4.17)

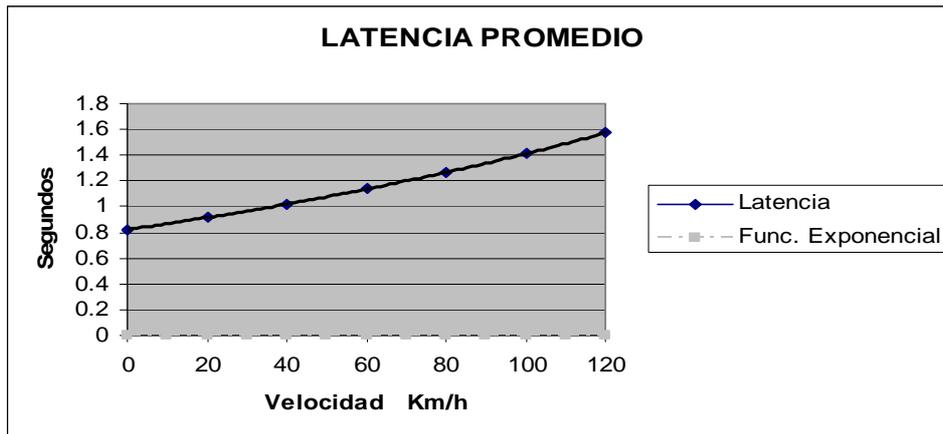


Figura (4.17) Representación completa de valores promedio en latencia.

C) Para el caso del jitter la función que representa la gráfica (Figura 4.16) es una función de potencia:

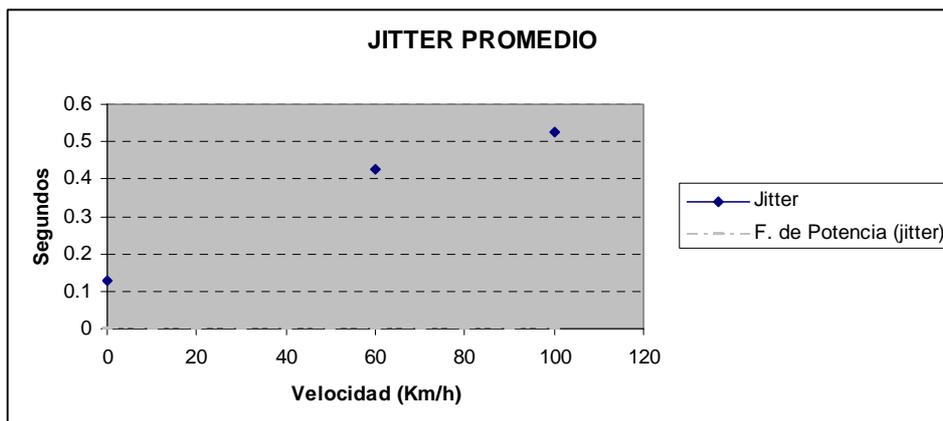


Figura (4.18) Punto; (x,y) de valores promedio en jitter.

Función de "jitter" promedio:

$$y = \begin{cases} 0.1286 & \text{Cuando } v=0; \\ 0.0829 x^{0.40015} & \text{Para } v>0 \text{ y } v<120; \end{cases}$$

Nuevamente con esta función podemos extrapolar los valores en las velocidades de 20, 40, 80 y 120 Km/h, resultando en la representación de la gráfica completa de jitter promedio (Figura 4.19)

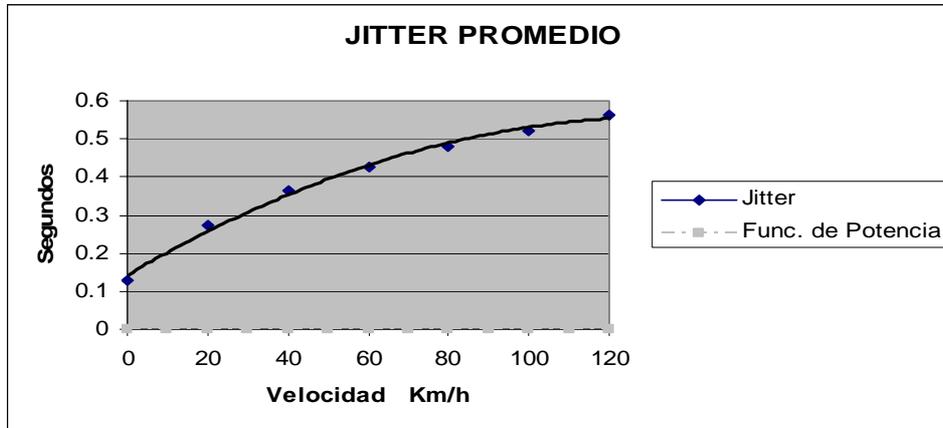


Figura (4.19) Representación completa de valores promedio en jitter.

D) Para el caso de porcentaje de paquetes perdidos la función que representa la gráfica (Figura 4.17) es una exponencial:

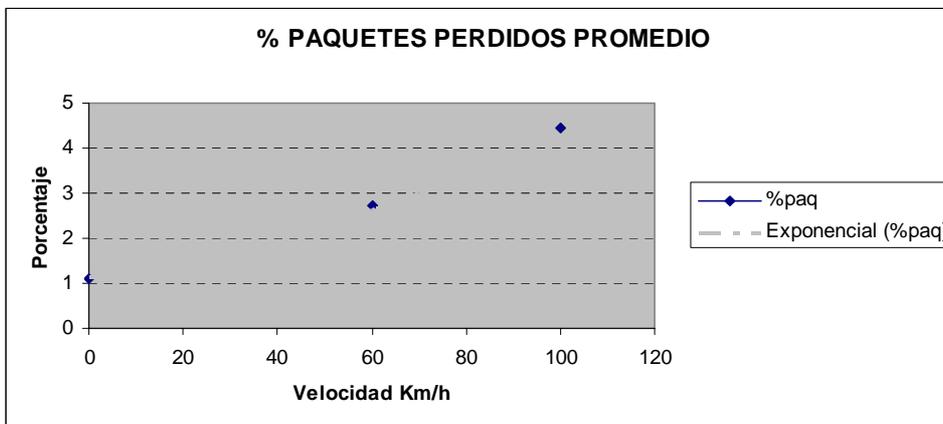


Figura (4.20) Puntos (x,y) de valores promedio en porcentaje de paquetes perdidos.

Función de “porcentaje de paquetes perdidos” promedio:

$$y = 1.132 e^{0.013935x}$$

Nuevamente con esta función podemos extrapolar los valores en las velocidades de 20, 40, 80 y 120 Km/h, resultando en la representación de la gráfica completa de porcentaje de paquetes perdidos promedio (Figura 4.21)

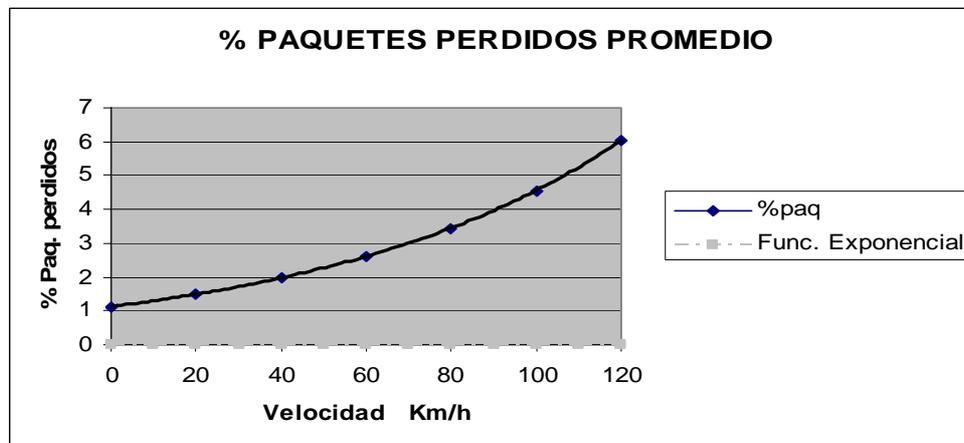


Figura (4.21) Representación completa de valores promedio en porcentaje de paquetes perdidos.

Si se quiere comprobar que estas funciones son la representación de los puntos que se tienen originalmente y de las gráficas finales, se pueden sustituir en "x" los valores de las velocidades y se deben obtener los valores de "y", que en cada caso representarían los paquetes totales, los segundos de latencia, los segundos de jitter o el porcentaje de paquetes perdidos, con una variación máxima del 5 %.

Finalmente otros aspectos a destacar, son los relacionados a las interrupciones que se presentan en la conectividad, estas desconexiones en la comunicación de la tarjeta, se presentaron en algunas pruebas en movimiento. Lo que ocurría es que en diferentes pruebas, se perdía la conexión con la red CDMA2000, siendo necesario reiniciar la comunicación para continuar con las pruebas, inclusive al suscitarse algunas de ellas, la dirección IP que proporciona la red se modificaba.

Estas desconexiones se presentaron en 3 ocasiones a la velocidad de 60 km/h y en 5 ocasiones a la velocidad de 100 km/h, mientras que en las pruebas fijas no se presentó ninguna.

Cabe mencionar que se observó que la red del campus, está con mayor número de usuarios entre las 10:00 y las 14:00 hrs, de lunes a viernes.

Además de estas afectaciones por las desconexiones en la red, se presentaron algunos aspectos que complicaron la realización de las pruebas, en este sentido en la siguiente sección se mencionará y se comentará sobre ellas.

4.3 Obstáculos que se presentaron.

Como es sabido, en las comunicaciones inalámbricas existen diferentes aspectos que pueden llegar a modificar su desempeño. Además de que su comportamiento es más inestable que en las redes cableadas, pues existen factores externos que le pueden llegar a afectar en su desempeño, complicando tanto el análisis de resultados como su interpretación.

El primer obstáculo que se presentó fue relacionado con la seguridad que presenta la red CDMA2000 de Iusacell, pues cuenta con diferentes protecciones para el libre acceso a su red. En este aspecto aunque se buscó la autorización de la empresa para poder realizar pruebas de bajada (*downlink*), no se obtuvo el permiso, por lo que nuestro análisis se tuvo que basar en el sentido de subida (*uplink*) de la tecnología y no en ambos sentidos como lo teníamos considerado.

De la misma manera en la red del Tecnológico de Monterrey Campus Cuernavaca, existen sistemas de seguridad para el acceso a la red, mismos que en un principio tampoco permitían el acceso al análisis de la red, en este caso con el apoyo del área de informática se pudo tener una dirección fija con ciertos permisos que permitieron la captura y envío de datos hacia la red.

Ya adentrándonos en nuestras pruebas, algunos de los obstáculos que se presentaron fueron las desconexiones, ya que dependiendo de cómo se presentaran y en que lugar, era necesario realizar nuevamente las pruebas, pues al perderse la comunicación no se terminaba con el tiempo de 120 segundos programado para tener el mismo lapso de tiempo en cada prueba.

En este mismo aspecto, se llegaba a complicar más, si al perderse la conexión la dirección IP que nos asignó en un principio la red de CDMA2000 era diferente al volvernos a conectar, pues como en los filtros de captura del windump se debe especificar la IP que estamos analizando, se corría el riesgo de que si no nos percatábamos del cambio, no se grababa ninguna información.

Otro obstáculo, fue que en un principio se tenía considerado hacer pruebas en movimiento a una velocidad menor, posiblemente 30 Km/h. ó 50 Km/h. En este aspecto, la complicación radica que en la autopista el promedio de velocidad a la que se transita es mucho mayor y se torna peligroso ir a una velocidad tan baja, pues inclusive en el acotamiento el espacio no es muy grande, los camiones pasan a altas velocidades y se encuentra uno diferentes obstáculos en esta área, coches parados, puestos de venta, piedras, etc. Por lo que se determinó establecer la velocidad en 60 Km/h.

Sin lugar a dudas, otro obstáculo fue para el grabado de las pruebas en movimiento, pues se requiere forzosamente de otra persona que apoye y modifique algunos parámetros en la máquina TEC CVA, ya que al ir grabando las diferentes pruebas

que se hacen en movimiento, el nombre del archivo que se graba se debe actualizar. Adicionalmente si se pierde la comunicación, otros parámetros como la IP se deben de corregir.

Ahora se verá si los objetivos planteados inicialmente se cumplieron, a que conclusiones llegamos y que trabajos pueden continuarse sobre este tema, para eso veamos el siguiente capítulo.

4.4 Resumen del Capítulo

En este capítulo se presentaron los horarios y días en que se realizaron las pruebas, se analizaron los resultados obtenidos en cada velocidad y horario, mencionando las afectaciones sufridas por las diferentes características de cada prueba.

Se presentaron gráficas y resultados de los análisis por medio de las herramientas de tráfico, así como por la herramienta programada MIJO, observando las tendencias que se presentaron en cada caso.

También se realizó una comparación de los resultados, en la cual se puede observar tendencias generales, diferencias de acuerdo a velocidades, días y horarios y obteniendo con esto porcentajes de afectación para cada parámetro de calidad.

De los resultados obtenidos se sacaron valores promedio para llegar a formular las funciones que los representan dependientes de la velocidad, mismas que caracterizan el comportamiento de los parámetros de calidad (QoS).

Finalmente se comentaron los obstáculos que se presentaron durante la realización de estas pruebas, comentando lo que cada uno significó y en que afectaba y como fueron atendidos cada uno de ellos.

Capítulo 5

Conclusiones y Trabajos Futuros

5.1 Objetivos Alcanzados

En este sentido los resultados alcanzados, las pruebas realizadas, el análisis de las pruebas y las conclusiones que comentaremos en una sección más adelante, nos han permitido alcanzar el objetivo planteado originalmente, pues hemos encontrado y presentado tendencias claras que nos proporcionan información sobre el desempeño de la red de manera fija, presentando gráficas que permiten observar la oscilación que se presenta en los resultados implicando con esto el accionar del protocolo TCP. Mismo que presenta ese comportamiento oscilatorio por sus sistemas de control, como la ventana deslizante. Por otro lado los resultados en movimiento nos permiten observar y tener gráficamente una tendencia clara de la disminución de sus parámetros de calidad mismos que tienen relación con las distintas velocidades que se manejaron.

También se refleja como se presenta los sistemas de control de TCP, pues al presentarse mayor conflicto en el envío y recepción de paquetes su accionar va limitando el ancho de banda de la comunicación, por lo que tanto la cantidad de información, como los tiempos de latencia y jitter se afectan.

Adicionalmente a los objetivos planteados inicialmente, se logró otro objetivo, que se considera muy interesante, la escritura y publicación de un artículo:

“Uplink CDMA2000 Performance Evaluation With Mobile Clients”, publicado en el *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, , May 30, 2007. pag 42-48 Editorial Board: to be listed

Este objetivo no tan solo dejó la enseñanza de la escritura del mismo, que por sí sola ya es positiva, si no también el conocer cómo es el proceso desde contactar a la

revista, cumplir con los requerimientos del formato, su proceso de revisión, las correcciones solicitadas y finalmente la aceptación y publicación del artículo.

5.2 Conclusiones

Con los análisis realizados se ha podido observar el comportamiento de esta red, identificando que tanto llega a afectar la movilidad en su desempeño, en donde se ha podido notar que hay parámetros que sufren una gran afectación, siendo el jitter en donde más se observa con una variación arriba del 400 %, la latencia con variaciones arriba del 90 % y los paquetes perdidos arriba del 40 %, ésta comparaciones se analiza con más detalle en la sección 4.2.3 de este mismo documento

También se ha podido observar que los ofrecimientos teóricos máximos de la red, no se llegan a alcanzar en ningún momento, así como también se presentan desconexiones que pueden afectar la continuidad del trabajo en la red, por ejemplo el valor teórico de subida en esta tecnología es de 153 kbps, siendo que en este trabajo los mejores valores se obtuvieron en pruebas fijas siendo los mismos entre 70 y 80 kbps.

Con las mismas pruebas realizadas, se puede observar ciertas tendencias en los horarios y días en donde la red de CDMA2000, tiene los mejores y los peores rendimientos en estos resultados se pudo observar que en todos los casos los días lunes por la mañana es cuando se presentan los mejores rendimientos en esta red, por otro lado también se tienen ciertos días con los peores rendimientos, siendo por ejemplo los viernes después de medio día los momentos en donde se detectó los más bajos rendimientos en la red de CDMA2000.

También podemos concluir con los resultados obtenidos, que esta tecnología sí es capaz de soportar diferentes servicios a velocidad vehicular, con la dificultad de que sí se presentan desconexiones sobre todo a mayor velocidad se pueden interrumpir el envío y recepción de documentos, aún así los servicios de transferencias de archivos, acceso a la web, comunicación por correo electrónico y telnet son posibles.

En relación a las desconexiones, se detectó una zona que presentó algunos problemas de cobertura y afectaciones en la señal, teniendo una pequeña zona en común, siendo aproximadamente entre los Km 99 a 100 de la carretera México-Acapulco.

Las tecnologías inalámbricas como lo es CDMA2000 es seguro que seguirán tendiendo un gran crecimiento en el corto y largo plazo, inclusive durante la realización de este trabajo la misma empresa proveedora ha sacado al mercado una nueva tarjeta que ofrece mejoras en los alcances del servicio; mientras que en otros países se han puesto en operación las siguientes revisiones a esta tecnología, ofreciendo mejores características de servicio, con mayores anchos de banda tanto de

subida como de bajada, pero como se ha observado en este documento, habrá que analizar que tan reales son los ofrecimientos que se plantean en cada caso.

Por tal motivo el estudio de estas redes seguirá siendo de mucha utilidad pues con su gran crecimiento se seguirán viendo nuevas tecnologías, las cuales mientras más conozcamos será más fácil adecuarnos a su utilización en la vida diaria, así como a implementarlas en nuestros entornos de trabajo.

5.3 Trabajos Futuros

La realización de trabajos relacionados con este documento, puede llegar a ser muy enriquecedor, pues de por si son interesantes los datos obtenidos, mismos que seguramente pueden llegar a ser de gran valía, incluso para el propio proveedor. Pero para dar continuidad a este trabajo se pueden realizar una serie de investigaciones sobre esta misma red, de las cuales posiblemente las más interesantes sean:

- 1) Llevar a cabo la misma serie de trabajos, con las mismas características y entornos de prueba, solo que ahora en el sentido de bajada (*Downlink*) de la tarjeta, para este efecto es indispensable la negociación con el proveedor de servicio Iusacell pues se requiere obtener su permiso para poder obtener ciertos niveles de acceso a la red y poder bajar información desde nodos específicos, lo interesante de este trabajo también será corroborar las tendencias que se presentaron en el sentido de subida.
- 2) Ampliar el rango de velocidades a los cuales se puedan hacer las pruebas de movilidad, posiblemente ampliar a una o dos velocidades intermedias 30 Km/h y 50 Km/h, así como ampliar otra velocidad a un rango por encima de los 100 Km/h, buscando comprobar a que velocidad se pierde definitivamente la sincronía con la red, perdiendo la comunicación definitivamente, a este respecto teóricamente el estándar de CDMA2000, especifica que la velocidad límite para tener conectividad es a los 120 Km/h.
- 3) Zonas de cobertura y afectaciones en la señal, ya que si bien este trabajo no estaba enfocado a localizar las áreas que cubre servicio, se pudo observar que en ciertas pruebas la señal se llegaba a perder de manera más frecuente, en este sentido, bien se puede hacer la investigación sobre cuales pueden ser circunstancias que afecten la recepción de la señal, ubicación, distancia, obstrucciones, entre otras.

Sin lugar a dudas y teniendo como referencia lo que se comentó en secciones anteriores, otros trabajos que también se pueden contemplar en un futuro, son relacionados con el análisis de las redes CDMA2000 que ya ofrecen otros niveles de servicio más amplios, donde también se podrá corroborar realmente que tanto se ha incrementado el rendimiento en ancho de banda, siendo que teóricamente se ofrece picos de enlace de bajada hasta de 3.1 Mbps y picos de enlace de subida hasta de 1.8 Mbps.

Con estas mismas redes se tendrá que observar el comportamiento a las diferentes velocidades en las que se pueda tener al nodo móvil, siendo posiblemente las mismas que se han mencionado en este trabajo 30, 60, 100 y arriba de 120 Km/h, con la finalidad de ver en estas condiciones que tanto se afecta el rendimiento del servicio por su movilidad.

En la actualidad ya se está ofreciendo otra opción en el mercado, ahora por la empresa Telcel, en este mismo sentido se tendrá que estudiar como funciona su sistema y si es que se está utilizando la misma tecnología.

Referencias

- [ANH 2005] Anh, N.T.; Shorey, R “Network sniffing tools for WLANs: merits and limitations”.; Jan.2005 ICPWC. 2005 IEEE International Conference on Personal Wireless Communications.
- [ARRA 2007] Arrakis. Tutorial TCPdump / Windump. Consultado el 20 de Septiembre del 2007 Disponible en: <http://www.arrakis.es/~terron/tcpdump.html>
- [CDG 2007] CDMA Development Group. Consultado el 18 Abril del 2007. Disponible en: <http://www.cdg.org/>
- [CHEN 2007] Chen, Ling; Lu, Jian-de “IMEWAS--A Integrated Multi-platform EAPoW- based WLAN AAA Solution”; March 2007. ICWMC '07. Third International Conference on Wireless and Mobile Communications.
- [CHIN 2003] Chinta Madhav, Helal Abdelsalam (Sumi) and Lee Choonhwa. “ILC-TCP: An Interlayer Collaboration Protocol for TCP Performance Improvement in Mobile and Wireless Environments” Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC 2003. 2003 IEEE Volume 2, 16-20 March 2003 Page(s):1004 - 1010 vol.2
- [CHOI 2006] Choi, J.K.; Park, J.S.; Lee, J.H.; Ryu, K.S.; “Review on QoS issues in IEEE 802.11 W-LAN” Advanced Communication Technology, 2006. ICACT 2006. The 8th International Conference Vol. 3, 20-22 Feb. 2006 Page(s):5 pp.
- [CHRO 2007] Chronos Atomic Clock Synchronizer. Consultado el 10 de Noviembre del 2007. Disponible en: <http://www.chronosatomic.com>
- [CISCO 2005] Cisco Systems, Inc “Cisco Networking Academy Program CCNA 1 and 2 Companion Guide” Cisco Systems, Inc. Third Edition, 2005. pp capas 368 a 371, congestión 818-819, estructura 812 a 813, conexión 814-815.
- [COMM 2007] CommsDesign. Consultado el 15 de Abril del 2007. Disponible en:

<http://www.commsdesign.com/showArticle.jhtml;jsessionid=UNFTUoQCOSJ3YQ5NDLRCKHSCJUNN2JVN?articleID=16501823>

- [DAST 2007] Dast. Iperf Generador de Tráfico. Consultado el 25 de septiembre del 2007. Disponible en: <http://dast.nlanr.net/projects/lperf/>
- [DEMI 1978] Demidowitsch, Maron, Schuwalowa. “*Métodos numéricos de análisis*”. Editorial Paraninfo Edición 1978, págs 21-23.
- [ESTE 2004] Esteves, Eduardo; Swart, Hugo. “CDMA 2000 1xEVDO: Technologies, Services and Marketing” Última actualización Enero 5, 2004. Consultado el 15 de Abril del 2007. Disponible en http://www.teleco.com.br/es/tutoriais/es_tutorialcdma2000/pagina_3.asp
- [ETHE 2007] Ethereal. Network Protocol Analyzer. Consultado el 22 de Septiembre del 2007. Disponible en : <http://www.ethereal.com/>
- [FERR 2004] Ferrer, F.A.D.; Rosales, C.V., “Performance analysis of cdma2000 MAC layer with voice/data integration” Electronics, Communications and Computers, 2004. CONIELECOMP 2004. 14th International Conference on 16-18 Feb. 2004 Page(s):35- 40 Digital Object Identifier 10.1109/ICECC.2004.1269545
- [FOROU 2003] Forouzan, Behrouz A., “TCP/IP Protocol Suite” Editorial McGraw Hill, Second Edition, 2003. pp capas 32 a 37, congestion 316 a 319, estructura 319 a 329
- [FUEN 2005] Fuentes Felix, Dulal C. Kar “Ethereal vs. Tcpcdump: a comparative study on packet sniffing tools for educational purpose”; Apr 2005 Journal of Computing Sciences in Colleges.
- [GANG 2002] Gang Wu; Haifeng Wang; Shixin Cheng; Lilleberg, J.; “Performance evaluation of space-time spreading and orthogonal transmit diversity in CDMA2000” Spread Spectrum Techniques and Applications, 2002 IEEE Seventh International Symposium on Volume 2, 2-5 Sept. 2002 Page(s):323-327 vol.2 Digital Object Identifier 10.1109/ISSSTA.2002.1048557
- [HAIB 2005] Haibo Zhao; Xingguo Luo; Xiaomei Tang, “Providing End-to-End Quality of Service in CDMA2000 Networks”; Mobile Technology, Applications and Systems, 2005 2nd International Conference on 15-17 Nov. 2005 Page(s):1 – 4

- [HAFI 2003] Hafizi, M.; Feng, S.; Fu, T.L.; Ruth, B.; Schwab, R.; Schulze, K.; Karlsen, P.; Gu, Q.; Narhi, O.; Kananen, K.; Wakeham, C.; "Direct conversion receiver RFIC for CDMA-2000" Gallium Arsenide Integrated Circuit (GaAs IC) Symposium, 2003. 25th Annual Technical Digest 2003. IEEE 2003 Page(s):41 - 43 Digital Object Identifier 10.1109/GAAS.2003.1252358
- [IETF/RFC 1981] The Internet Task Force Consultado el 20 de Agosto del 2007. Disponible en <http://www.ietf.org/rfc/rfc0793.txt>
- [IUSA 2007] IUSACELL Company. Consultado el 10 de Abril del 2007. Disponible en: <http://www.iusacell.com.mx/iusacellEmpresarial/content/html/datos/videosBAM.html>.
- [JPCA 2007] Jpcap Librería de JAVA. Consultado el 22 de Septiembre del 2007. Disponible en: <http://netresearch.ics.uci.edu/kfujii/jpcap/doc/faq.html>
- [KAGA 2005] Kagalkar, A.; Mukherjee, S.; Rangarajan, S.; Guo, K.; "PPP migration: a technique for low-latency handoff in CDMA2000 networks" Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services, 2005. MobiQuitous 2005. The Second Annual International Conference on 17-21 July 2005 Page(s):133 - 144 Digital Object Identifier 10.1109/MOBIQUITOUS.2005.48
- [KAND 2003a] Kandukuri, S.; Chaponniere, E.; Hamdy, W.; "Impact of TCP and RLP parameters on CDMA2000 performance" Vehicular Technology Conference, 2003. VTC 2003-Spring. The 57th IEEE Semiannual, Volume 1, 22-25 April 2003 Page(s):626 - 631 vol.1
- [KAND 2003b] Kandukuri, S.; Chaponniere, E.; Jiangxin Chen; Hamdy, W.; Veerepalli, S.; "Optimizing TCP performance over cdma2000". Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2003. PIMRC 2003. 14th IEEE Proceedings on Volume 2, 7-10 Sept. 2003 Page(s):1476 - 1480 vol.2 Digital Object Identifier 10.1109/PIMRC.2003.1260358
- [KHAN 2000] Khan, F.; Kumar, S.; Medepalli, K.; Nanda, S.; "TCP performance over cdma2000 RLP" Vehicular Technology Conference Proceedings, 2000. VTC 2000-Spring Tokyo. 2000 IEEE 51st Volume 1, 15-18 May 2000 Page(s):41 - 45 vol.1 Digital Object Identifier 10.1109/VETECS.2000.851414

- [KLIA 2006] Kliazovich Dzmityr and Granelli Fabrizio, Pau Giovanni and Gerla Mario. "APOHN: Subnetwork Layering to Improve TCP Performance over Heterogeneous Paths Next Generation Internet Design and Engineering, 2006. NGI '06. 2006 2nd Conference on 3-5 April 2006 Page(s):8 pp. Digital Object Identifier 10.1109/NGI.2006.1678237
- [KNIS 1998] Knisely, D.N.; Kumar, S.; Laha, S.; Nanda, S.; "Evolution of wireless data services: IS-95 to cdma2000" Communications Magazine, IEEE Volume 36, Issue 10, Oct. 1998 Page(s):140 - 149 Digital Object Identifier 10.1109/35.722150
- [MUHA 2007] Muhammad, Adeel; Ali Iqbal, Ahmad; "TCP Congestion Window Optimization for CDMA2000 Packet Data Networks" Information Technology, 2007. ITNG '07. Fourth International Conference on 2-4 April 2007 Page(s):31 - 35 Digital Object Identifier 10.1109/ITNG.2007.190
- [PANG 2004] Pang, Ai-Chun; Jyh-Cheng Chen; Yuan-Kai Chen; Agrawal, P.; "Mobility and session management: UMTS vs. cdma2000" Wireless Communications, IEEE [see also IEEE Personal Communications], Volume 11, Issue 4, Aug. 2004 Page(s):30 - 43, Digital Object Identifier 10.1109/MWC.2004.1325889
- [PERE 2006] Pérez Jesús A, Bonoit Donnet, Olivier Bonaventure, "Preliminary Analysis of the TCP behavior in 802.16 Networks". ITESM-Campus Cuernavaca, Department of Electronics, Temixco., 1st WEIRD Workshop on WiMAX, Wireless and mobility, Coimbra, Portugal, Mayo 2007
- [PERE 2007] Pérez Jesús A. "Apuntes de la materia Tópicos de redes I" Sesión 10, Tecnología CDMA. Consultado el 25 de Abril del 2007.
- [POOL 2006] Poole, I. "What exactly is cdma 2000?" This paper appears in: Communications Engineer Publication Date: Feb./March 2006, Volume: 4, On page(s): 46 - 47, ISSN: 1479-8352
- [PRIM 2002] Primet, P.; Harakaly, R.; Bonnassieux, F.; "Experiments of Network Throughput Measurement and forecasting Using the NetworkWeather" Cluster Computing and the Grid, 2002. 2nd IEEE/ACM International Symposium on 21-24 May 2002 Page(s):413 - 413.

- [RAM] 2002] Ramachandran Ramjee, Li Li, Tom la Porta, Sneha Kaseram , “ IP paging service for mobile hosts “September 2002. *Wireless Networks*, Volume 8 Issue 5 Publishers Kluwer Academic Publishers
- [RAO 1999] Rao, Y.S.; Kripalani, A., “cdma2000 mobile radio access for IMT 2000” *Personal Wireless Communication*, 1999 IEEE International Conference on 17-19 Feb. 1999 Page(s):6 - 15 Digital Object Identifier 10.1109/ICPWC.1999.759574
- [SARK 2001] Sarkar, S.; ”Reverse link capacity for cdma2000” *Vehicular Technology Conference*, 2001. VTC 2001 Spring. IEEE VTS 53rd Volume 4, 6-9 May 2001 Page(s):2397 - 2401 vol.4 Digital Object Identifier 10.1109/VETECS.2001.944030
- [SC 2008] “Método de los mínimos Cuadrados” Consultado el 26 de Abril del 2008. Disponible en: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cursolava/numerico/regresion1/regresion1.htm>
- [SHAR 2007] Sharpe Richard, Ross K.W., *“Ethereal User’s Guide”*, NS Computer Software and Services P/L, Ed. Warnicke, pp.221
- [SHIN 2007] Shinbo, H.; Idoue, A.; Hasegawa, T.; Ohashi, M.; “Evaluation of TCP performance on cdma2000 1x system using computer simulation”. *Telecommunications*, 2003. ICT 2003. 10th International Conference on Volume 1, 23 Feb.-1 March 2003 Page(s):723 - 728 vol.1 Digital Object Identifier 10.1109/ICTEL.2003.1191499
- [TODO 2006] Milan Todorović, Noé López-Benitez, N-Com, LP, “Efficiency Study of TCP Protocols in Infrastructured Wireless Networks” Department of Computer Science Texas Tech University Lubbock, TX 79424-4957, Lubbock, TX 79409-3104. mtodorovic@n-com.us, nlb@cs.ttu.edu. O-7695-2622-5/06/\$20.00 (c) 2006 IEEE
- [TORR 2007] Torres Aguilera Alejandro “Factores que afectan la Calidad de la VoIP” Consultado el 20 de Mayo del 2007. Disponible en <http://atorresa.wordpress.com/category/jitter/>
- [VOiP 2007] VoIPforo.com Consultado el 15 Mayo del 2007. Disponible en http://www.voipforo.com/QoS/QoS_PacketLoss.php

- [WIND 2007] Windump Analizando la red Consultado el 25 de Septiembre del 2007. Disponible en: <http://webs.ono.com/alfonn/windump.htm>
- [WINP 2007a] Tcpdump para Windows. Consultado el 12 de Septiembre del 2007. Disponible en: <http://www.winpcap.org/windump/install/>
- [WINP 2007b] WinPcap: The Windows Packet Capture Library. Consultado el 13 de Septiembre del 2007. Disponible en: <http://www.winpcap.org/devel.htm>
- [WIRE 2007] Wireshark capture setup. Consultado el 16 de Septiembre del 2007. Disponible en :<http://wiki.wireshark.org/CaptureSetup>.
- [WU 2005] Wu Tin-Yu, Han-Chieh Chao*,†, Tak-Goa Tsuei and Yu- Feng Li "A measurement study of network efficiency for TWAREN IPv6 backbone", Nov, 2005 en International Journal Of Network Management.
- [YALLA 2002] Yallapragada, R.; "QoS implementation in cdma2000" Personal Wireless Communications, 2002 IEEE International Conference on 15-17 Dec. 2002 Page(s):45 - 50 Digital Object Identifier 10.1109/ICPWC.2002.1177243
- [YOUN 2006] Young C. Park; Joong S. Lim; Gyoo S. Chae; "Evaluating the Performance of Integrated Voice and Data Mobile Networks" TENCON 2006. 2006 IEEE Region 10 Conference Nov. 2006 Page(s):1 - 4 Digital Object Identifier 10.1109/TENCON.2006.343879
- [ZTI 2007] ZTI Telecomunicaciones. Consultado el 20 de Abril del 2007. Disponible en:<http://www.zti-Telecom.com/pages/iptraffic-test-measure.htm>