

Modelo de Simulación para Interfaz de Radiofrecuencias del protocolo IEEE802.11b

Hugo Araya Lara y Walter Grote Hahn

harayal@atmlab.utfsm.cl, wgh@elo.utfsm.cl

Universidad Técnica Federico Santa María, Av. España 1680, Valparaíso.

Resumen — En el presente trabajo se propone el modelo de simulación de un sistema cuyo fin es brindar un servicio de conexión a Internet, basado en la aplicación del concepto de red de área local inalámbrica.

Abstract — This publication describes the simulation model of a system that offers an Internet connection service, based on the application of the IEEE 802.11b wireless local area network concept.

Palabras Clave— Acceso a Internet, red de área local inalámbrica, IEEE 802.11b.

I. INTRODUCCIÓN

En el último tiempo se ha registrado un notable crecimiento del mercado que ofrece servicios de conexión a Internet. Entre las diversas fórmulas propuestas para la implementación del servicio de conexión a Internet, se cuenta la tradicional conexión vía línea telefónica, el llamado “cable módem” y la conexión inalámbrica. Esta última alternativa utiliza antenas que se instalan convenientemente en las dependencias del cliente con el fin de establecer un enlace inalámbrico con una estación base central, cuyo rango de cobertura genera una especie de “celda”.

En el marco del desarrollo del proyecto FDI ID01, el Departamento de Electrónica de la Universidad Técnica Federico Santa María ha estado desarrollando un sistema de difusión de contenidos de Internet mediante una aplicación no tradicional del estándar internacional IEEE 802.11b, desarrollado para aplicaciones de red de área local inalámbrica WLAN (*Wireless Local Area Network*) de una celda con un área de cobertura del orden de varios kilómetros. En este contexto, un servidor central difunde contenidos multimediales vía inalámbrica hacia diversos receptores, que actúan como clientes del servicio, manteniendo contacto con la estación base conectada al servidor central. Sin embargo, los clientes pueden no detectar las transmisiones provenientes de sus pares

En la concepción del estándar IEEE 802.11b se tuvieron en cuenta enlaces de distancia inferior a los 50 m en ambientes confinados. Motivados por el alcance que tiene el uso de este protocolo en ambientes de propagación abiertos de mayor distancia, como es el caso del WiLL (*Wireless Local Loop*) en su modalidad WiFi los investigadores de este proyecto han decidido

profundizar acerca de las posibilidades y limitaciones que tiene este protocolo cuando se aplica en ambientes de trayectos de distancias superiores a 400 m con antenas altamente directivas (con una apertura de unos 8°), con tráfico asimétrico, en el marco del proyecto FONDECYT N° 1010129.

En el presente trabajo se presenta el modelo de simulación propuesto para una situación como la descrita anteriormente. El objetivo final del modelo es la obtención de medidas del uso de la red y de la calidad del servicio brindado bajo dicho concepto.

II. TOPOLOGÍA FÍSICA DE LA RED Y COBERTURA

El escenario que se espera modelar se caracteriza por una configuración tipo estrella (Fig. 1), en que la estación base (servidor central) distribuye tráfico de Internet a las estaciones que componen el sector servido por ella.

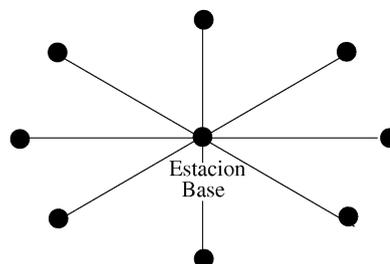


Fig. 1. Modelo de Topología de Red

Se asume que la estación base utiliza una antena que cubre todas las localizaciones de las antenas de los terminales remotos (estaciones cliente). La distancia entre la estación base y las estaciones cliente supera los 400 m. Para mejorar la recepción, las estaciones cliente utilizan antenas directivas, lo cual redundante en que las estaciones cliente no necesariamente pueden detectar las transmisiones provenientes de sus pares. El modelo asume el caso extremo de que las estaciones cliente sólo puede detectar transmisiones provenientes de la estación base, lo que en general es un peor caso. La estación central es capaz de recibir transmisiones provenientes desde, y transmitir información hacia, todas las estaciones cliente. Aplicaciones típicas de este escenario son las redes WiLL (como las que se analizan en colaboración con ENTEL en el marco del proyecto FONDEF D00I 1048) y las de las redes de difusión multimedial inalámbrica IP, como las que se plantean en el marco del proyecto FDI ID01 antes descrito.

Bajo esta perspectiva, el tradicional problema del terminal oculto se manifiesta en esta configuración, ya que una estación cliente puede intentar enviar información a la base mientras uno de sus pares también lo está haciendo, provocando interferencia, y la consecuente pérdida de información, [1] o [2].

III. DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA OFRECIDA

Dada la naturaleza del servicio de conexión a Internet, éste es mayoritariamente un servicio en demanda, lo cual significa que cada cliente recibe tráfico que ha sido solicitado previamente. Por ejemplo, un usuario hace *click* en un enlace con el fin de descargar un archivo. Es sabido que la respuesta del servicio de conexión a Internet no es instantánea. Esto se debe principalmente a retardos aleatorios provocados por *buffering* en los diversos nodos o los servidores en que reside el contenido web solicitado, a la velocidad de los enlaces (b/s) y a la distancia involucrada.

A raíz de lo anterior, el modelo plantea una independencia entre la información emitida desde una estación cliente hacia la estación base y el tráfico distribuido (en general, como respuesta a una solicitud previa) desde la base hacia los clientes. También se asume que el tráfico generado por cada cliente también es independiente del aquél generado por otro.

En cada estación cliente, el tiempo entre generación de paquetes se modela mediante una distribución Poisson de parámetro λ_C . En la estación base, éste tiempo se modela mediante una distribución Poisson de parámetro $\lambda_B = n \lambda_C$, donde n es el número de estaciones cliente que componen la celda servida por la base, y Fa es el factor de asimetría, que modela cuantas veces más tráfico se distribuye en el enlace de bajada (desde la estación base hacia el cliente) con respecto al de subida (cliente hacia estación base).

IV. TAMAÑO DE PAQUETES

El tamaño de los paquetes generados afecta el desempeño de la red, dado que incide en aspectos tales como el retardo medio esperado (un paquete más grande tarda más tiempo en ser transmitido y liberar el medio), la probabilidad de error (un paquete de mayor longitud tiene mayor probabilidad de sufrir algún tipo de error en un canal ruidoso), y el *throughput* de la red (un paquete muy pequeño contiene un *overhead* relativamente grande).

El tamaño de los paquetes generados tanto por las estaciones cliente como por la estación base será un parámetro de entrada del sistema que puede ser modificado por el usuario. Sin embargo,

para efectos de poder simular una situación cercana a la que ha de esperarse en una red real, será modelado mediante una distribución discreta. Esta distribución emula el comportamiento del tamaño de los paquetes generados por tráfico de Internet, los cuales fueron registrados en una red de área local real, de acuerdo a mediciones realizadas en el marco de un proyecto de recolección de datos para investigación de redes [3], y procesados por Agilent Technologies para su utilización en la medición del desempeño de su solución de probador de enrutadores [4].

La Tabla I presenta la distribución discreta empírica utilizada. Nótese la preponderancia de los tamaños extremos de 64[byte] y 1500[byte], y de los tamaños de 496[byte] y 576[byte]. El tamaño medio de paquete es de 427[byte].

TABLA I.
DISTRIBUCIÓN DISCRETA EMPÍRICA DE TAMAÑO DE
PAQUETES EN TRÁFICO DE INTERNET

Tamaño	Porcentaje
64 [byte]	50,5 %
72 [byte]	4,5 %
496 [byte]	11,8 %
552 [byte]	0,8 %
576 [byte]	11,5 %
628 [byte]	1,0 %
924 [byte]	6,9 %
1420 [byte]	3,0 %
1500 [byte]	10,0 %

V. MODELO DEL CANAL Y PROBABILIDAD DE ERROR

El medio inalámbrico se modela como un conjunto de canales independientes que permiten la transferencia de tramas entre estaciones y emulan colisiones y pérdidas por desvanecimiento de multitrayectoria. Los canales independientes se yuxtaponen en la estación base, capaz de detectar transmisiones provenientes de todos los clientes, pero establecen un enlace único entre dicha estación base y cada uno de los clientes, evitando así la interacción e interferencia entre estaciones cliente.

Se asume que todas las estaciones clientes se encuentran equidistantes de la estación base, a una distancia R de la misma. Esto representa un peor caso, ya que resulta en retardo y probabilidad de colisión mayores.

Se plantea la posibilidad de errores en la transmisión de una trama a través del canal. Esto se modela mediante la utilización

del parámetro BER (*bit error rate*: tasa de error de bit), el cual establece la probabilidad de que un bit registre error en la transmisión debido a interferencia o desvanecimientos en el canal inalámbrico. Como consecuencia, la probabilidad de que un bit no experimente error está dada por:

$$Prob\{No_Error_Bit\} = 1 - BER \quad (1)$$

Se asume independencia entre cada uno de los bits contenidos en una trama transmitida por el canal. Bajo dicha premisa, la probabilidad de que una trama de $B[bit]$ no experimente error está dada por:

$$Prob\{No_Error(B)\} = (1 - BER)^B \quad (2)$$

Por lo tanto, la probabilidad de error de paquete PER (*Packet Error Rate*) de una trama cuya longitud es igual a $B[bit]$ está dada por la siguiente expresión dependiente del parámetro BER :

$$Prob\{Error(B)\} = PER(B) = 1 - (1 - BER)^B \quad (3)$$

El modelo analítico anterior asume independencia entre bits consecutivos, lo que en general no se cumple en la realidad, dado que los errores generalmente ocurren en ráfagas. En general, asumir independencia entre bits trae como consecuencia una mayor probabilidad de error de paquete, lo cual es un peor caso, dado que no se asume que los errores se producen en ráfagas (lo que concentraría los errores en unos cuantos paquetes), sino que se distribuye la probabilidad de error a todos los paquetes.

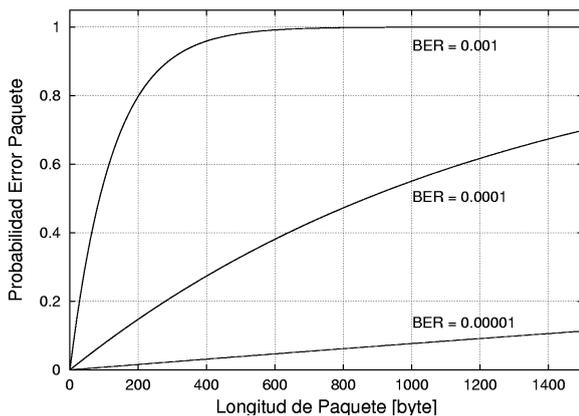


Fig. 2. Probabilidad de error de paquete PER v/s longitud del paquete. Parametrizado para distintos valores de probabilidad de error de bit BER

La Fig. 2 presenta la característica PER v/s tamaño de paquete

para distintos tamaños de trama, de acuerdo a la Ecuación 3.

La probabilidad de recibir con error una trama determinada sólo depende del parámetro BER y del tamaño de la trama. Se asume completa independencia entre transmisiones sucesivas efectuadas en un mismo canal. El parámetro BER es único y modela los errores para todas las tramas transmitidas por todas las estaciones que componen la red, de donde la probabilidad de error para una trama de tamaño dado es la misma para cada una de las estaciones.

El modelo de simulación realiza un experimento aleatorio para determinar error de canal. El experimento utiliza como parámetro la probabilidad de error de paquete, la cual se asume dada por la Ec. 3, con la consecuente ventaja de ser un parámetro dependiente del tamaño de paquete, de modo que un paquete más grande conlleva una probabilidad de error mayor.

VI. PROTOCOLO DE ACCESO UTILIZADO

Se modela un sistema basado en la aplicación del estándar internacional IEEE 802.11b. Dicho estándar utiliza un protocolo de acceso múltiple conocido como CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*: Acceso Múltiple con Detección de Portadora Evitando Colisiones), cuyo fin es brindar servicios de WLAN.

Hablar de “evitar” colisiones es, tal vez, demasiado pretencioso. Lo que en realidad hace CSMA/CA es reducir la probabilidad de colisión entre estaciones que comparten un medio inalámbrico común, al evitar que todas las estaciones intenten transmitir en el instante en que más probablemente habrá una colisión: inmediatamente después que el medio se vuelve ocioso.

Además del protocolo CSMA/CA, el estándar IEEE 802.11b establece la opción de intercambio previo de tramas RTS y CTS para acceder al medio; y el uso de acuse de recibo positivo inmediato. El intercambio de tramas RTS y CTS permite reducir considerablemente los estragos que provoca el problema del terminal oculto en una WLAN, problema inherente al modelo de cobertura planteado, de acuerdo a la topología física utilizada. El uso de acuse de recibo positivo inmediato permite a una estación determinar rápidamente si la información que acaba de transmitir ha sido recibida en la estación destino. El modelo plantea que la estación base nunca enviará una trama RTS antes de enviar una trama de datos (dado que no es oculta para ninguna otra estación), pero las estaciones cliente pueden o no hacerlo.

VII. MODELO DE OPERACIÓN DEL PROTOCOLO

En la Fig. 3 se observa el proceso de transmisión por el canal inalámbrico. Cuando una estación transmite su trama por medio del canal, lo primero que se registra es si ésta es la primera transmisión por el mismo. En caso en que no sea así, se establece que ha ocurrido una colisión y la información se declara corrupta.

Si la transmisión en curso es la primera registrada sobre el canal, se realiza un experimento aleatorio que determina si la trama sufre error de canal (producto de atenuación y/o desvanecimiento de multitrayectoria), tomando como parámetro el tamaño del paquete en transmisión. Si dicho experimento es exitoso, la información se declara corrupta; si no es exitoso, la transmisión continúa limpia en el medio.

La Fig. 4 representa en forma simplificada el modelo de operación de cada una de las estaciones. El proceso de generación de nuevos mensajes es independiente del estado de operación de cada estación, y por esa razón no aparece en el diagrama de flujo de la Fig. 4. Cada estación ociosa espera la generación de un mensaje o el arribo de una trama dirigida hacia ella. Cuando una estación recibe un paquete dirigido a ella, ésta lo procesa y envía las tramas de respuesta que correspondan (si recibe una trama RTS, responde con una CTS; si recibe una trama válida de datos, responde con un ACK).

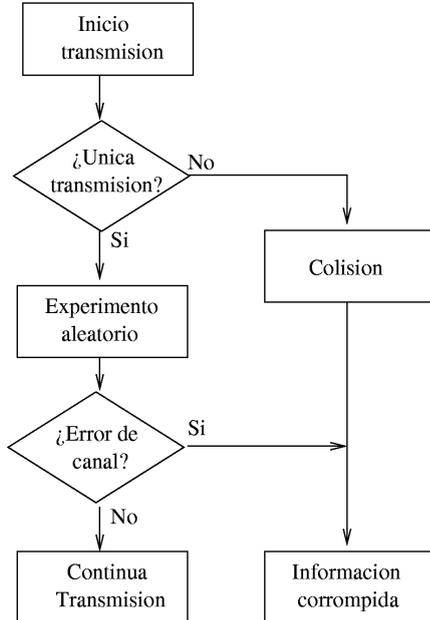


Fig. 3. Diagrama de Flujo Transmisión por el Canal.

Al generar un nuevo mensaje, la estación detecta la actividad en el medio y, si éste se encuentra ocioso, inicia el proceso de transmisión. Si la estación encuentra el medio ocupado, entonces

espera un tiempo aleatorio mediante una cuenta regresiva realizada mientras el medio permanece ocioso. Una vez que la cuenta regresiva llega a cero, la estación comienza el proceso de transmisión.

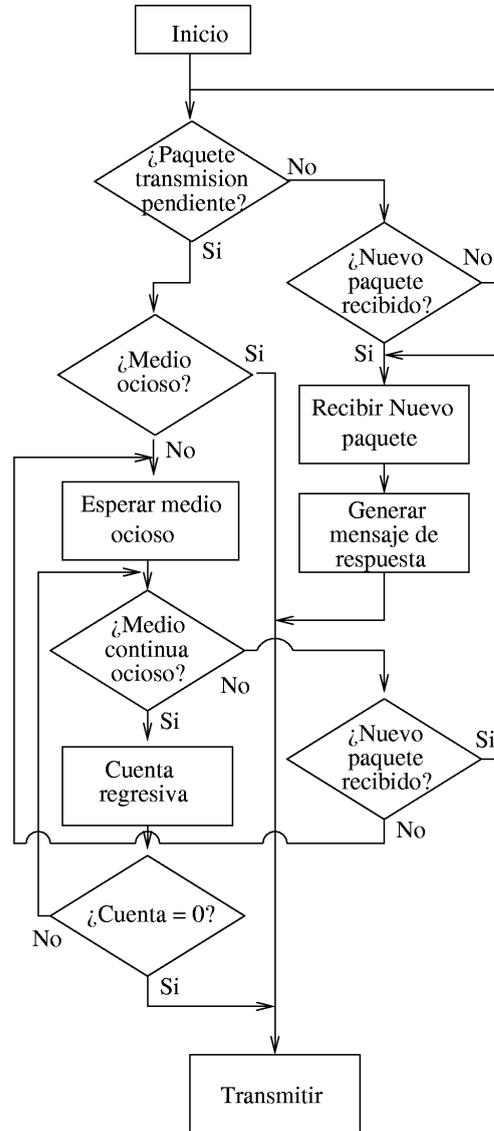


Fig. 4. Diagrama de Flujo Estaciones.

El proceso de transmisión depende de los parámetros de la red y del tamaño del paquete de datos. Es posible que antes de la transmisión de la trama de datos en sí se transmita una trama RTS, ante lo cual es necesario esperar una respuesta CTS (este mecanismo permite aminorar los efectos negativos de los terminales ocultos, ya que todas las estaciones pueden "oír" el CTS proveniente de la estación base y se abstienen de

transmitir); después de recibir la trama CTS, se procede a enviar la trama de datos. La estación entiende que la transmisión ha sido exitosa cuando recibe una trama ACK como respuesta a la trama de datos enviada.

VIII. PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DE LA RED

Los parámetros de desempeño de la red que se espera obtener se pueden agrupar en dos categorías. La primera es la de parámetros relevantes para el usuario: retardo (el usuario no debe percibir el retardo de transmisión) y pérdida de paquetes (debe representar una fracción mínima del total de paquetes transferidos). La segunda categoría es de parámetros relevantes para el proveedor de servicio: eficiencia en el uso de recurso y, ligado a lo anterior, número de retransmisiones.

IX. SIMULACIÓN DEL MODELO

Se realizaron simulaciones basadas en el modelo propuesto para el caso en que el parámetro de carga ofrecida por estación cliente es $\lambda_c = 1$ [msj/s], y el factor de asimetría es $Fa = 1$, es decir, para un número n de estaciones cliente, la carga ofrecida por la estación base es $\lambda_b = n \cdot 1.0$ [msj/s]. Se simuló una estación base y un número de estaciones cliente $n = 5, 10, 15, 20, 25, y 30$. La tasa de transmisión de la red es de 11 [Mbit/s]. No se consideran errores de canal.

Los parámetros utilizados en la simulación fueron el tamaño físico de la red y la utilización de intercambio RTS/CTS. El tamaño de la red está dado por el rango de cobertura R de la estación base, con valores $R = 500[m]$ y $1000[m]$. Se establecieron dos conjuntos de escenarios: uno en que todos los paquetes transmitidos desde las estaciones cliente utilizan intercambio previo RTS/CTS, y otro en que no se utiliza dicho mecanismo.

X. RESULTADOS OBTENIDOS

La Fig. 5 representa el *Throughput* medio obtenido para la red, en [kbit/s]. Nótese que esta medida es prácticamente independiente del rango de cobertura de la estación base, R . Nótese cómo incide la utilización de intercambio previo RTS/CTS en la utilización de la red: para el caso en que se utiliza RTS/CTS no se nota un efecto de saturación a medida de se agregan nuevas estaciones cliente a la red, lo que sí es notorio en el caso en que no se utiliza dicho procedimiento. Esto reafirma cómo el mecanismo RTS/CTS aminora los efectos negativos del problema del terminal oculto en la red.

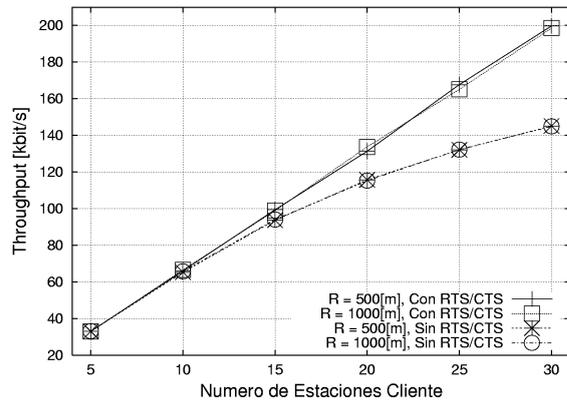


Fig. 5. *Throughput* Medio Total

La Fig. 6 representa el retardo medio registrado para las estaciones cliente. Es posible observar cómo se produce un aumento progresivo en el retardo a medida que se agregan más clientes a la red. En el caso en que se utiliza intercambio RTS/CTS, el retardo aumenta en forma lineal. Si no se utiliza RTS/CTS, el retardo es mayor, con cierta tendencia a estabilizarse a medida que crece el número de clientes. Nótese que el comportamiento de esta medida es prácticamente independiente del tamaño de la red, dado por el rango de cobertura R de la estación base. Es evidente el aporte positivo de la política de intercambio RTS/CTS, dado que previene colisiones producidas por terminales ocultos y, por consiguiente, un mayor retardo.

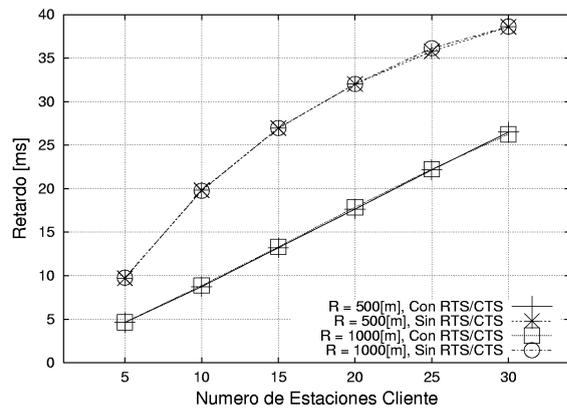


Fig. 6. Retardo Medio Estaciones Cliente.

La Fig. 7 representa el retardo medio registrado para la base. Nótese que este retardo es de escasas décimas de milisegundos, aproximadamente 1 orden de magnitud más bajo que el registrado para las estaciones cliente (Fig. 6). Este efecto se debe básicamente al hecho de que la base tiene la ventaja de registrar

las transmisiones provenientes de cualquier punto de la red, y asimismo es oída por todas las otras estaciones. Como consecuencia de lo anterior, la probabilidad de ser interferida es menor, con la consecuente disminución en el número de retransmisiones y en el retardo medio. Además, esta estación siempre transmite sus paquetes sin intercambio previo RTS/CTS, lo que permite un despacho más rápido de sus paquetes.

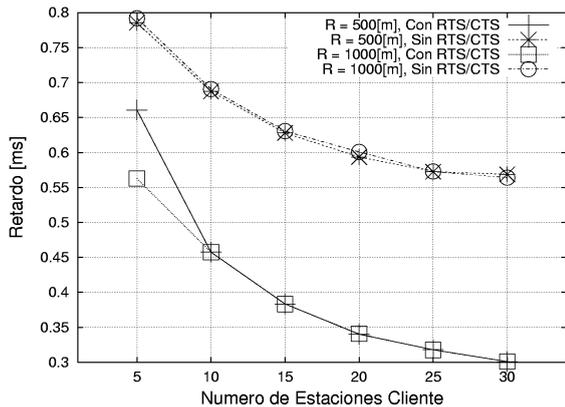


Fig. 7. Retardo Medio Estación Base

XI. CONCLUSIONES

Se ha planteado un modelo de red en que se ha extendido el concepto de área local inalámbrica. El objetivo del sistema modelado es brindar servicios de conexión a Internet. En dicho modelo se han incluido aspectos tales como la topología de la red, la distribución de la carga ofrecida, la distribución del tamaño de los paquetes y la probabilidad de error en el canal de transmisión. Este modelo permite obtener medidas representativas del desempeño del sistema aplicado, tales como utilización de la red o los retardos experimentados por el usuario.

Se han realizado simulaciones de una red basada en el modelo propuesto, y los resultados indican que es factible utilizar dicha configuración para ofrecer un servicio de conexión a Internet. En el caso en que se utilice antenas directivas en los clientes, éstos experimentarían dificultades para detectar transmisiones provenientes de una estación que no sea la base (problema del terminal oculto). En esa situación, se requiere utilizar una política de intercambio RTS/CTS previa a la transmisión de datos, en cuyo caso no se registra mayor saturación en la red cuando se tiene un total de 30 clientes intercambiando tráfico de Internet con la estación base a una tasa media de 1 paquete por segundo, pero dicho desempeño se ve afectado si no se utiliza el mecanismo RTS/CTS.

El rango de cobertura de la red no es un factor que incida

significativamente en el desempeño del sistema de comunicación, por lo menos dentro del margen de 1[*km*], rango que claramente permite establecer una zona de servicio en que sea posible brindar servicios de conexión inalámbrica a Internet.

REFERENCIAS

- [1] W. M. Moh, D. Yao, and K. Makki, "Wireless LAN: study of hidden-terminal effect and multimedia support", in *Proceedings of Computer Communications and Networks*, pp. 422---431, october 1998.
- [2] A. Kahol, S. Khurana, and A. P. Jayasumana, "Effect of hidden terminal on the performance of IEEE 802.11 MAC protocol", in *Proceedings of local Computer Networks Conference*, 1998.
- [3] Measurement & Operations Analysis Team from the National Library for Applied Network Research (NLNR): Proyecto de recolección de datos, febrero 2001. <http://moat.nlanr.net/Datacube/>
- [4] Agilent Technologies: "Mixed Packet Size Throughput". Actualmente no disponible. <http://advanced.comms.agilent.com/routertester/member/journal/1MxdPktnSzThroughput.html>

Hugo Araya L. Nació en Chuquicamanta, Chile, en enero de 1976. Actualmente es alumno tesista del programa de Magister en Ingeniería en Electrónica de la Universidad Técnica Federico Santa María, (UTFSM). Su especialidad es la de Telecomunicaciones y Sistemas Computacionales.

Walter Grote H. es académico del Departamento de Electrónica de la UTFSM desde 1974. Obtuvo el título de Ingeniero Civil Electrónico de la UTFSM en 1975, el grado de M.Sc. in EE. del Polytechnic Institute of NY y el grado de Ph.D in EE de la Polytechnic University en 1984 y 1992, respectivamente. El área de desarrollo profesional es en telecomunicaciones, comunicaciones inalámbricas, telefonía, redes de datos y protocolos de acceso múltiple.