

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R S.1711-1
(01/2010)

**Mejoras en el comportamiento
del protocolo de control de
transmisión por redes
de satélites**

Serie S
Servicio fijo por satélite



Unión
Internacional de
Telecomunicaciones

Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

| Series | Título |
|------------|--|
| BO | Distribución por satélite |
| BR | Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión |
| BS | Servicio de radiodifusión sonora |
| BT | Servicio de radiodifusión (televisión) |
| F | Servicio fijo |
| M | Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos |
| P | Propagación de las ondas radioeléctricas |
| RA | Radio astronomía |
| RS | Sistemas de detección a distancia |
| S | Servicio fijo por satélite |
| SA | Aplicaciones espaciales y meteorología |
| SF | Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo |
| SM | Gestión del espectro |
| SNG | Periodismo electrónico por satélite |
| TF | Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias |
| V | Vocabulario y cuestiones afines |

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2010

© UIT 2010

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1711-1

Mejoras en el comportamiento del protocolo de control de transmisión por redes de satélites

(Cuestión UIT-R 263-1/4)

(2005-2010)

Cometido

La mayoría de las actuales transmisiones IP utilizan protocolo de control de transmisión (TCP) como protocolo de transporte. Sin embargo, dicho protocolo presenta algunos inconvenientes cuando se emplea en las redes de satélites. Por consiguiente, se han desarrollado varias técnicas, denominadas de forma colectiva «mejoras en el comportamiento del TCP», a fin de superar estas limitaciones. La presente Recomendación indica los resultados de las pruebas y las mediciones llevadas a cabo utilizando estas técnicas para hacerse una idea más precisa de su eficacia y pertinencia dependiendo del tipo de red de satélites.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que cada vez se están utilizando más los sistemas de satélites para la transmisión de paquetes (protocolo Internet (IP)), en particular para ofrecer directamente a los usuarios aplicaciones de banda ancha, además de su función como enlaces medulares;
- b) que la transmisión de paquetes IP por los enlaces de satélites puede exigir unos objetivos de calidad de funcionamiento distintos a los que figuran en la Recomendación UIT-T G.826 y en las Recomendaciones UIT-R S.1062 y UIT-R S.1420;
- c) que la calidad del protocolo de control de transmisión (TCP) puede experimentar degradaciones debidas al retardo prolongado de la transmisión por el satélite, lo que afecta a la calidad del servicio de las aplicaciones de usuario final;
- d) que la mejora de la calidad del TCP es, por tanto, crucial en el diseño de enlaces por satélite que cursen paquetes IP;
- e) que los recursos de radiofrecuencia no se utilizan eficazmente sin implementar mejoras de la calidad del TCP por satélite en algunos entornos de red,

observando

- a) que la mejora del comportamiento del TCP puede no ser necesaria en enlaces de caudal reducido (véase el § 3.1 del Informe UIT-R S.2148),

recomienda

- 1 que se consideren los modelos de referencia indicados en el Anexo 1 a la presente Recomendación como base del desarrollo de métodos para mejorar la calidad del TCP en enlaces de satélite;
- 2 que los diseñadores de sistemas que implementen conexiones TCP en redes que incluyan enlaces por satélite evalúen la pertinencia de un método de mejora del comportamiento del TCP para sus sistemas basándose en los resultados de las simulaciones y mediciones indicadas en el Anexo 2;

3 que para no afectar el caudal del TCP, los enlaces por satélite destinados a realizar estas transmisiones basadas en TCP se diseñen de manera que se garantice una proporción de bits erróneos mejor de 10^{-7} durante el tiempo disponible (véase el § 2 del Anexo 2);

4 que para mejorar el caudal de las transmisiones basadas en TCP por redes que incluyen enlaces por satélite:

4.1 se implementen técnicas de división (asociadas o no a la ocultación) cuando lo permita la topología de la red (véanse los § 2, 3 y 5 del Anexo 2);

4.2 se utilice la opción de escala de ventana TCP para fijar la ventana de congestión TCP al máximo valor posible (véase la Nota 1 y el § 4 del Anexo 2);

5 que la siguiente Nota 1 se considere parte de la presente Recomendación.

NOTA 1 – Las ventanas TCP grandes generan un tráfico de ráfagas que podrían lugar a pérdidas de paquetes en encaminadores intermedios debido a la saturación de la memoria tampón. Esta saturación puede disminuirse implementando memorias tampón de mayor tamaño en los encaminadores intermedios o control de tráfico en la fuente TCP (véase el § 4 del Anexo 2). Cuando no sean posibles tales implementaciones, debe fijarse el máximo valor de la ventana de congestión TCP teniendo en cuenta la posible saturación de la memoria tampón en los encaminadores intermedios.

NOTA 2 – El Informe UIT-R S.2148 proporciona material básico sobre algunos inconvenientes del TCP cuando se utilizan redes de satélites así como una panorámica general sobre las mejoras en el comportamiento del TCP, describiéndolas brevemente e indicando áreas en que puede seguir mejorando dicho comportamiento del TCP en las redes de satélites.

NOTA 3 – El § 6 del Anexo 2 contiene resultados de mediciones realizadas para evaluar la eficacia de las mejoras de dos aplicaciones típicas basadas en TCP (protocolo de transferencia de ficheros (FTP) y protocolo de transferencia hipertexto (HTTP)).

ÍNDICE

| | <i>Página</i> |
|---|---------------|
| Anexo 1 – Modelos de referencia del sistema de satélites..... | 7 |
| 1 Cometido | 7 |
| 2 Modelos de referencia | 7 |
| 2.1 Enlaces punto a punto | 7 |
| 2.2 Redes VSAT | 8 |
| 2.2.1 Topología en estrella | 8 |
| 2.2.2 Topología en malla..... | 8 |
| 2.3 Acceso en banda ancha..... | 9 |
| Anexo 2 – Pruebas y medición del comportamiento de las mejoras introducidas en el TCP.. | 9 |
| 1 Cometido | 9 |
| 2 Comportamiento del TCP con mejora por división..... | 9 |
| 2.1 Comportamiento de la conexión TCP única probada sin ninguna mejora | 10 |
| 2.1.1 Prueba de comportamiento de la conexión TCP única | 10 |
| 2.1.2 TCP sin mejora del comportamiento | 10 |
| 2.1.3 Comportamiento de una conexión TCP única sin mejora del comportamiento | 10 |
| 2.2 División en dos segmentos | 11 |
| 2.2.1 Configuración de las redes de satélites | 11 |
| 2.2.2 Resultados de las pruebas | 13 |
| 2.2.3 Resumen..... | 20 |
| 2.3 División en tres segmentos | 20 |
| 2.3.1 Configuración de las redes de satélites | 20 |
| 2.3.2 Procedimientos de prueba | 21 |
| 2.3.3 Resultados de las pruebas | 21 |
| 2.3.4 Resumen..... | 26 |
| 3 Pruebas y mediciones de TCP por satélite utilizando ocultación y simulación | 26 |
| 3.1 Introducción..... | 26 |
| 3.2 Pruebas y mediciones | 27 |
| 3.2.1 Especificaciones de los equipos..... | 27 |
| 3.2.2 Configuraciones de la red para pruebas y mediciones..... | 28 |
| 3.2.3 Resultados de las pruebas y mediciones | 29 |
| 3.3 Resumen | 31 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4 | Características del TCP en una red ATM por satélite | 31 |
| 4.1 | Configuración de la red | 31 |
| 4.2 | Características del TCP en una red ATM únicamente por satélite | 33 |
| 4.3 | Comportamientos TCP en redes heterogéneas que incluyen enlaces por satélite | 34 |
| 4.3.1 | Simulación del tamaño de la memoria tampón | 35 |
| 4.3.2 | Características del TCP con control del tráfico en el emisor TCP | 37 |
| 4.4 | Resumen | 39 |
| 5 | Características del TCP en las redes de acceso por satélite | 39 |
| 5.1 | Arquitectura de la red y configuración | 39 |
| 5.1.1 | Arquitectura de la red | 39 |
| 5.1.2 | Configuración | 40 |
| 5.2 | Resultados de las mediciones de calidad | 42 |
| 5.2.1 | Disponibilidad | 42 |
| 5.2.2 | Caudal | 42 |
| 5.2.3 | Tráfico | 44 |
| 5.3 | Resumen | 44 |
| 6 | Mediciones del protocolo de aplicación (FTP y HTTP) | 44 |
| 6.1 | Configuración de la red ATM por satélite | 45 |
| 6.2 | Caudal FTP por enlace de satélite OC-3 | 46 |
| 6.3 | Caudal HTTP por un enlace de satélite OC-3 | 48 |
| 6.3.1 | HTTP 1.0 con conexiones no persistentes | 48 |
| 6.3.2 | HTTP 1.0 con opción «viva» | 48 |
| 6.3.3 | HTTP 1.1 sin envío por conducto | 49 |
| 6.3.4 | HTTP 1.1 con envío por conducto | 49 |
| 6.3.5 | Resultados del prueba | 50 |
| 6.4 | Resumen | 51 |
| 7 | Conclusiones | 53 |

Lista de abreviaturas

| | |
|----------|--|
| AAL | Capa de adaptación ATM (<i>ATM adaptation layer</i>) |
| ACK | Acuse de recibo (<i>acknowledgement</i>) |
| AMDT | Acceso múltiple por división en el tiempo |
| ATM | Modo de transferencia asíncrono (<i>asynchronous transfer mode</i>) |
| ATOP | Amplificador del tubo de ondas progresivas |
| BDP | Producto retardo/anchura de banda (<i>bandwidth delay product</i>) |
| BER | Proporción de bits erróneos |
| BW | Anchura de banda |
| CE | Bit de experiencia de congestión (<i>congestion experience bit</i>) |
| CPU | Unidad de procesamiento central (<i>central processing unit</i>) |
| cwnd | Variable de ventana de congestión en el TCP (<i>congestion window variable in TCP</i>) |
| DA | Acceso especializado (<i>dedicated access</i>) |
| DACK | Acuse de recibo retardado (<i>delayed acknowledgement</i>) |
| DAMA | Acceso múltiple por asignación según demanda (<i>demand assignment multiple access</i>) |
| DVB-S | Radiodifusión de vídeo digital por satélite (<i>digital video broadcast via satellite</i>) |
| ECN | Notificación de congestión explícita (<i>explicit congestion notification</i>) |
| p.i.r.e. | Potencia isotrópica radiada equivalente |
| FEC | Corrección de errores directa (<i>forward error correction</i>) |
| FIN | Segmento final (en una conexión TCP) (<i>final segment (in a TCP connection)</i>) |
| FTP | Protocolo de transferencia de ficheros (<i>file transfer protocol</i>) |
| G/T | Relación ganancia/temperatura equivalente del sistema |
| GW | Pasarela (<i>gateway</i>) |
| HPA | Acelerador de plano central (<i>hub page accelerator</i>) |
| HSP | Procesador central de satélite (<i>hub satellite processor</i>) |
| HTML | Lenguaje de etiquetado hipertexto (<i>hypertext markup language</i>) |
| HTTP | Protocolo de transferencia hipertexto (<i>hypertext transfer protocol</i>) |
| ICMP | Protocolo de mensaje de control Internet (<i>Internet control message protocol</i>) |
| IETF | Grupo Especial sobre ingeniería de Internet (<i>Internet engineering task force</i>) |
| I/O | Entrada/salida (input/output) |
| IP | Protocolo Internet (<i>Internet protocol</i>) |
| IPSEC | Protocolo de seguridad IP (<i>IP security protocol</i>) |
| ISP | Proveedor de servicio Internet (<i>Internet service provider</i>) |
| LAN | Red de área local (<i>local area network</i>) |
| LFN | Red lenta de banda ancha (<i>long fat network</i>) |

| | |
|---------|--|
| MF-AMDT | Acceso múltiple por división en el tiempo multifrecuencia |
| MPEG | Grupo de Expertos en imágenes en movimiento (<i>moving picture Experts Group</i>) |
| MPLS | Conmutación por etiquetas multiprotocolo (<i>multiprotocol label switching</i>) |
| MSS | Máximo tamaño del segmento (<i>maximum segment size</i>) |
| MTU | Máxima unidad de transmisión (<i>maximum transmission unit</i>) |
| NNTP | Protocolo de transporte de novedades de red (<i>network news transport protocol</i>) |
| NTP | Protocolo de tiempo de red (<i>network time protocol</i>) |
| OS | Sistema operativo (<i>operating system</i>) |
| OSG | Órbita de los satélites geoestacionarios |
| PAD | Bytes de relleno (<i>padding bytes</i>) |
| PAWS | Protección contra secuencias desbordadas (<i>protect against wrapped sequence(s)</i>) |
| PC | Ordenador personal |
| PDU | Unidad de datos de protocolo (<i>protocol data unit</i>) |
| PEP | Modelo de mejora de la calidad (<i>performance enhancing proxy</i>) |
| RA | Acceso aleatorio (<i>random access</i>) |
| RAM | Memoria de acceso aleatorio (<i>random access memory</i>) |
| RBP | Tasa de avance basada en la velocidad (<i>rate-based pacing</i>) |
| rcvwnd | Ventana de recepción (variable en el TCP) (<i>receive window (variable in TCP)</i>) |
| RFC | Petición de comentarios (que publica el IETF) (<i>request for comments (issued by the IETF)</i>) |
| RPA | Acelerador de plano distante (<i>remote page accelerator</i>) |
| RS | Código Reed-Solomon |
| RTT | Tiempo de ida y vuelta (<i>round trip time</i>) |
| RTTM | Medición RTT (<i>RTT measurement</i>) |
| Rx | Receptor |
| SACK | Acuse de recibo selectivo (<i>selective acknowledgment</i>) |
| SCPC | Un solo canal por portadora (<i>single channel per carrier</i>) |
| SSPA | Amplificador de potencia de estado sólido (<i>solid state power amplifier</i>) |
| ssthres | Umbral de arranque lento (variable en el TCP) (<i>slow start threshold (variable in TCP)</i>) |
| SYN | Segmento de arranque síncrono (utilizado para establecer una conexión TCP) (<i>synchronous start segment (used to establish a TCP connection)</i>) |
| T/TCP | TCP para transacciones (<i>TCP for transactions</i>) |
| TBF | Filtro de cubeta de testigos (<i>token buffer filter</i>) |
| TC | Codificación en retícula (<i>trellis coded</i>) |
| TCP | Protocolo de control de transmisión (<i>transmit control protocol</i>) |
| Tx | Transmisor |

| | |
|------|--|
| UDP | Protocolo de datagrama de usuario (<i>user datagram protocol</i>) |
| URL | Localizador uniforme/universal de recursos (<i>uniform/universal resource locator</i>) |
| VSAT | Terminal de apertura muy pequeña (<i>very small aperture terminal</i>) |
| WAN | Red de área extensa (<i>wide area network</i>) |

Anexo 1

Modelos de referencia del sistema de satélites

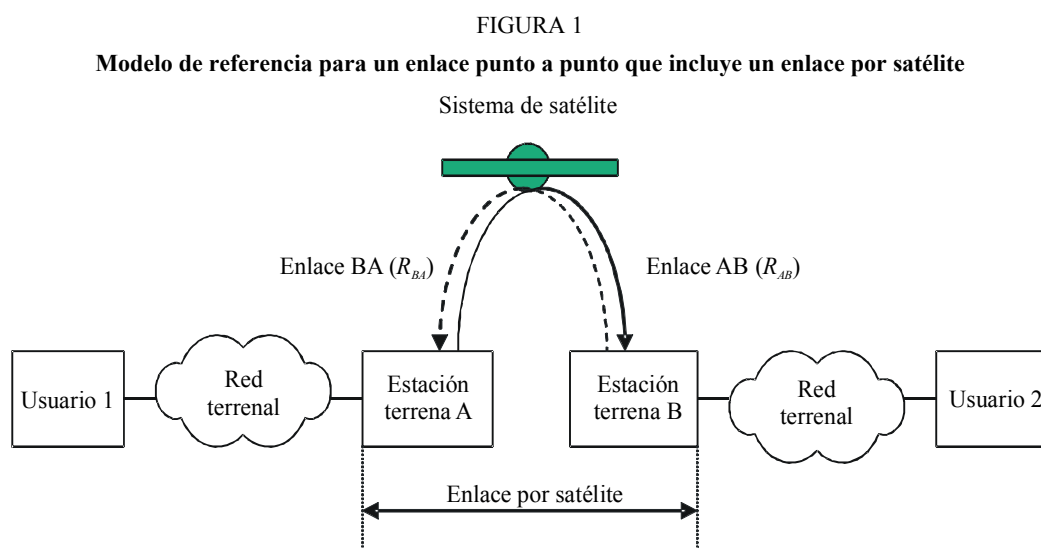
1 Cometido

Este anexo presenta modelos de referencia de redes que incluyen un enlace por satélite para transportar paquetes IP y seguido de la descripción de limitaciones del TCP en los enlaces por satélite.

2 Modelos de referencia

2.1 Enlaces punto a punto

La Fig. 1 ofrece un modelo de referencia para una red que curse transmisiones de paquetes IP. La red consta de un enlace por satélite y de las redes terrenales asociadas entre dos usuarios finales. El enlace por satélite es bidireccional y se compone de un enlace AB (desde la estación terrena A hasta la estación terrena B con una velocidad binaria de información, R_{AB}) y un enlace BA (desde la estación terrena B a la estación terrena A con una velocidad binaria de información, R_{BA}). Las redes terrenales pueden emplear diversos protocolos de capa de enlace de datos (por ejemplo, ATM, retransmisión de tramas, MPLS).

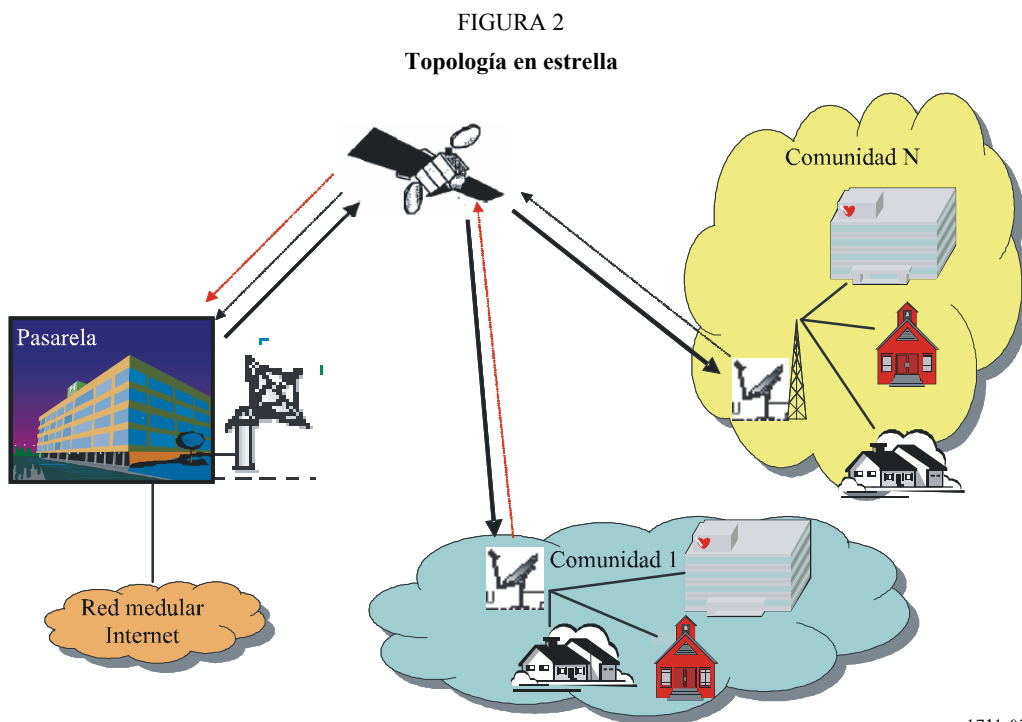


NOTA 1 – En este modelo de referencia se considera únicamente un salto de satélite. En esta Recomendación se describen las técnicas que segmentan la conexión TCP para mejorar la calidad del TCP en enlaces de satélite con un solo salto. No obstante, una conexión de extremo a extremo puede incluir varios saltos de satélite. En este caso, habrá que implementar dichas técnicas en cada enlace por satélite individual.

2.2 Redes VSAT

2.2.1 Topología en estrella

La Fig. 2 representa la configuración en estrella normal, en la que las señales procedentes de diversos usuarios distantes se conectan a una estación terrena de pasarela, que a su vez se conecta al enlace terrenal.

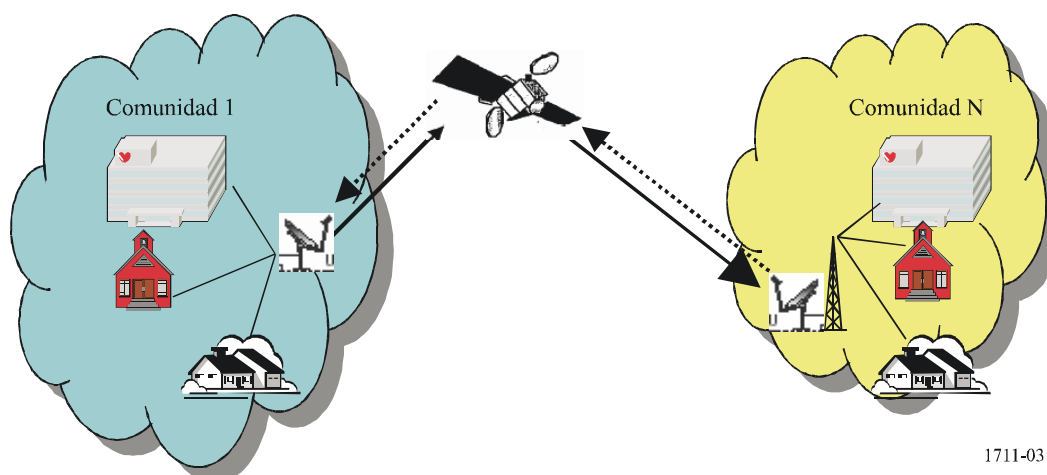


1711-02

2.2.2 Topología en malla

La Fig. 3 ilustra una configuración en malla en la que puede conectarse directamente a través del satélite cualquier pareja de estaciones terrenas.

FIGURA 3
Topología en malla



2.3 Acceso en banda ancha

Aunque no son completamente similares a las redes VSAT, las redes de acceso en banda ancha suelen utilizar las mismas topologías (es decir, en estrella o en malla)

Anexo 2

Pruebas y medición del comportamiento de las mejoras introducidas en el TCP

1 Cometido

El Anexo 2 presenta los resultados de pruebas y mediciones independientes realizadas para experimentar algunos métodos de mejora en el comportamiento del TCP y proporciona información útil a los diseñadores de sistemas de satélites. En el Informe UIT-R S.2148 aparecen más detalles sobre los diversos métodos de mejoras del comportamiento del TCP.

2 Comportamiento del TCP con mejora por división

INTELSAT y KDDI han realizado mediciones del comportamiento del TCP utilizando técnicas de división en segmentos (división en dos segmentos y división en tres segmentos) para verificar la eficacia de estas técnicas. Este punto presenta los resultados de estas mediciones.

El § 2.1 contiene resultados de la prueba de comportamiento de una conexión TCP única sin ninguna pasarela.

El § 2.2 señala los resultados de las pruebas de la técnica de división en dos segmentos. El § 2.3 indica los resultados de las pruebas de la técnica de división en tres segmentos.

2.1 Comportamiento de la conexión TCP única probada sin ninguna mejora

2.1.1 Prueba de comportamiento de la conexión TCP única

En el primer conjunto de pruebas se examinó el caudal de una conexión TCP única. Las pruebas se realizaron con y sin mejora de la pasarela de protocolo para retardos de ida y vuelta de 200 ms, simulando una conexión WAN terrenal, y de 700 ms, simulando un enlace por satélite combinado en la red terrenal medular.

2.1.2 TCP sin mejora del comportamiento

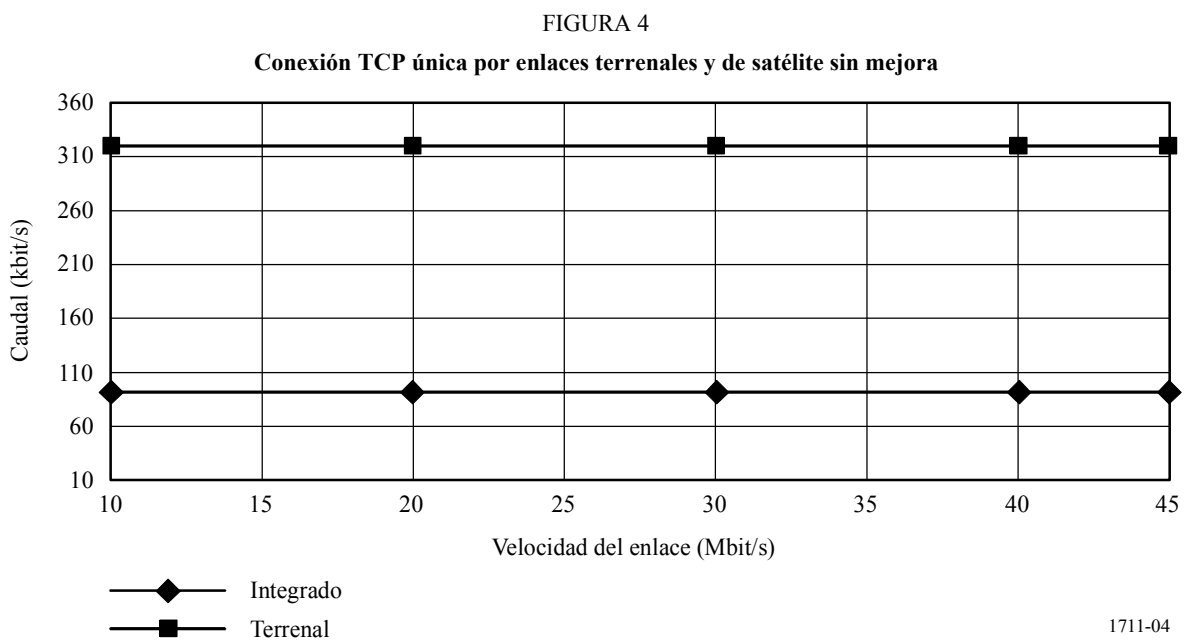
El primer conjunto de pruebas se realizó en conexiones TCP únicas sin mejora del comportamiento. El tamaño de ventana del cliente se estableció en 8 kbytes para adaptarse a los ajustes por defecto de Windows 95, Windows 98, Windows NT, y muchos otros sistemas operativos comunes. El retardo RTT del enlace terrenal se fijó a 200 ms y en el caso de enlace por satélite/terrenal combinado se fijó a 700 ms.

2.1.3 Comportamiento de una conexión TCP única sin mejora del comportamiento

El máximo caudal sin mejora de comportamiento es 320 kbit/s para conexiones terrenales y 91 kbit/s para enlaces por satélite (véase la Fig. 4). Estos resultados demuestran que sin mejora del comportamiento, la máxima velocidad del caudal de una conexión TCP única será aproximadamente igual al tamaño de la ventana,

$$\frac{8 \text{ kbytes} \cdot 8 \text{ bits}}{RTT = 200 \text{ ms}} = 320 \text{ kbit/s}$$

aunque aumente la velocidad del enlace.



2.2 División en dos segmentos

2.2.1 Configuración de las redes de satélites

A fin de verificar la eficacia de las técnicas de división en dos segmentos en varias condiciones, se efectuaron las pruebas siguientes:

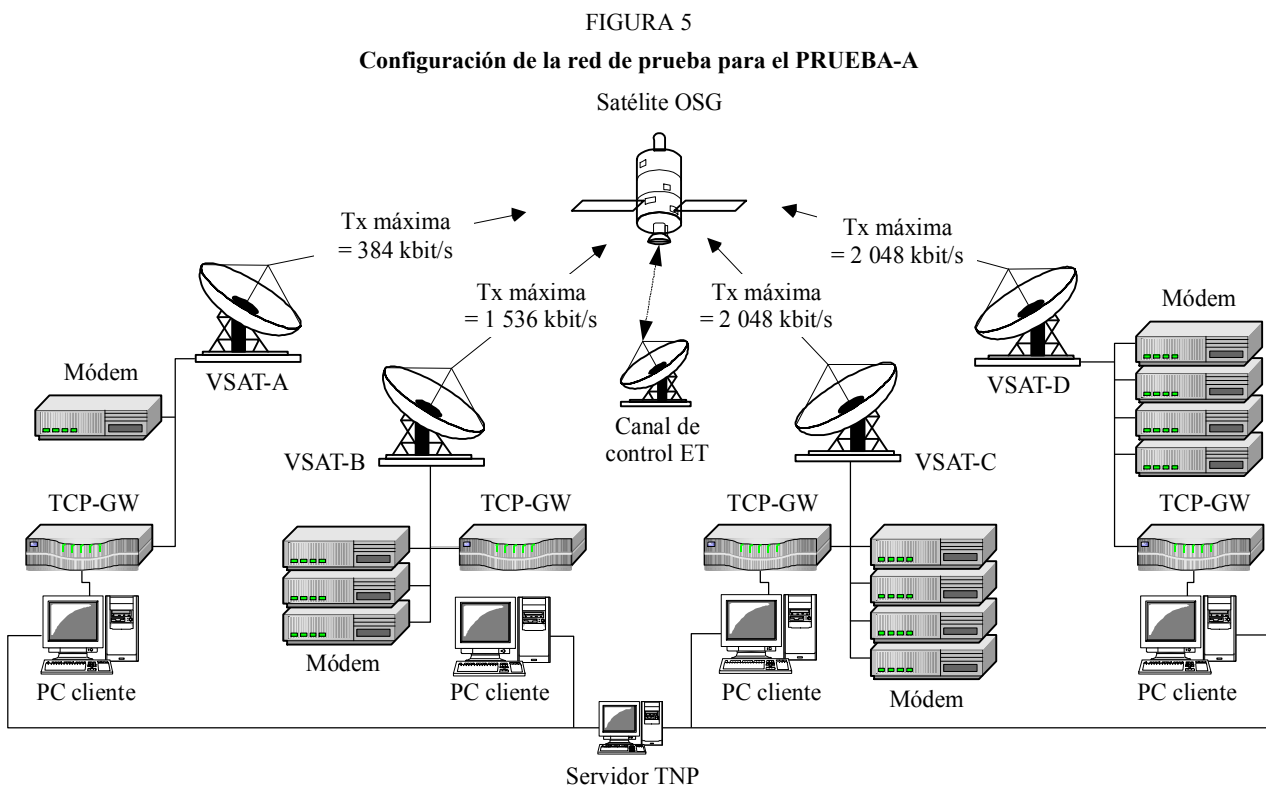
PRUEBA-A: Medición en el terreno, utilizando un sistema VSAT real con enlace por satélite

PRUEBA-B: Medición utilizando un simulador de enlace de satélite

2.2.1.1 PRUEBA-A: Medición en el terreno, utilizando un sistema VSAT real con enlace por satélite

La medición del PRUEBA-A se efectuó utilizando una red IP de satélites con acceso múltiple por asignación según demanda (DAMA), en una topología en malla que empleaba una tecnología SCPC de velocidad variable. El prueba consistía en una medición del caudal de una conexión TCP única y de conexiones TCP múltiples para diversas velocidades del enlace, conexiones UDP y mezcla de conexiones UDP y TCP. El prueba se efectuó utilizando una red de satélite asimétrica y una simétrica, cuyas velocidades del enlace eran de 384 kbit/s, 1 536 kbit/s y 2 048 kbit/s.

La red de prueba del PRUEBA-A se representa en la Fig. 5. La red de satélites DAMA consta de una estación terrena para el control del canal y de cuatro VSAT. Cada VSAT va equipado con equipo de pasarela que permite realizar la técnica de división en dos segmentos para mejorar el caudal en el sentido directo. Las especificaciones principales de cada VSAT se representan en el Cuadro 4. Véase que en esta prueba se utilizaron dos tipos de equipo de pasarela (Tipo 1 y Tipo 2) de dos distintos suministradores. El enlace de satélite está diseñado con disponibilidades del enlace del 99,9% entre el sistema VSAT y la unidad central (HUB), y del 99,85% entre los sistemas VSAT y VSAT.



ET: Estación terrena
TCP-GW: Pasarela TCP con técnica de división en 2 segmentos

CUADRO 1

Especificaciones de estación terrena VSAT

| Estación terrena | Tamaño de la antena (m) | Potencia del SSPA (w) | Velocidad de transmisión máxima (kbit/s) | Proveedor de la pasarela TCP |
|--------------------------------|-------------------------|-----------------------|--|------------------------------|
| Control de la estación terrena | 7,6 | N/A | N/A | N/A |
| VSAT-A | 1,2 | 10 | 384 | Tipo-1 |
| VSAT-B | 1,2 | 40 | 1 536 | Tipo-2 |
| VSAT-C | 1,8 | 40 | 2 048 | Tipo-2 |
| VSAT-D | 1,8 | 120 | 2 048 | Tipo-2 |

| Estación terrena | Sistema operativo | CPU | Memoria (Mbit) | Aplicación |
|------------------|-------------------|---------------------|----------------|-------------|
| VSAT-A | FreeBSD 4.3 | Pentium III 1 GHz | 256 | Iperf 1.1.1 |
| VSAT-B | FreeBSD 4.3 | Pentium III 1 GHz | 512 | Iperf 1.1.1 |
| VSAT-C | FreeBSD 4.3 | Pentium III 1 GHz | 256 | Iperf 1.1.1 |
| VSAT-D | FreeBSD 4.3 | Pentium III 1 GHz | 512 | Iperf 1.1.1 |
| Servidor NTP | Windows 2000 | Pentium III 600 MHz | 256 | |

El sistema operativo FreeBSD 4.5 se encuentra instalado en todos los ordenadores personales del cliente que se conectan individualmente a un servidor NTP para sincronizar las temporizaciones entre sí. Cada VSAT va equipado con un soporte lógico Iperf¹ a fin de generar paquetes IP y medir el caudal.

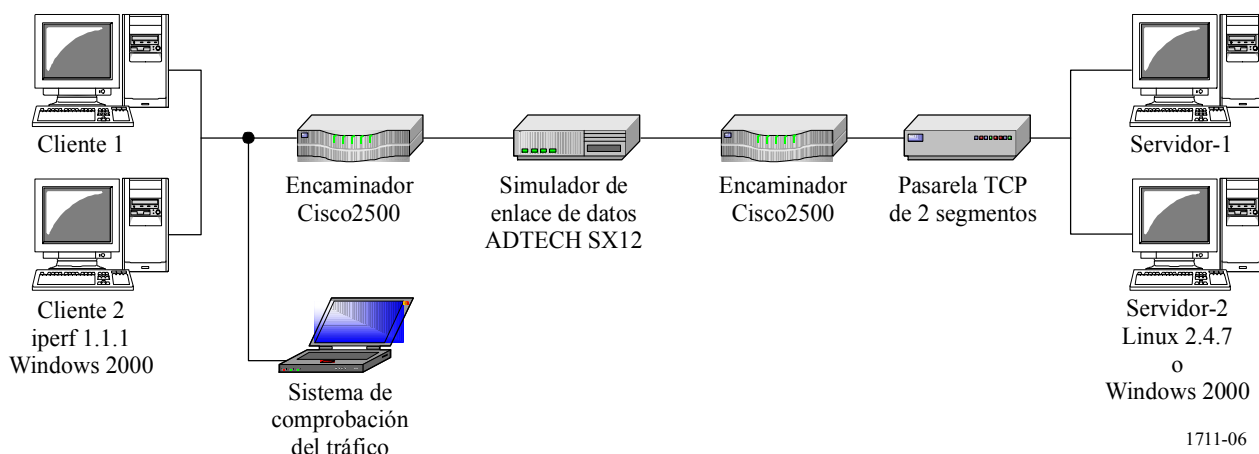
2.2.1.2 PRUEBA-B: Medición utilizando un simulador de enlace por satélite

La medición del PRUEBA-B se efectuó con una configuración punto a punto utilizando un simulador de enlace de datos que puede insertar retardo y errores de canal. La prueba constaba de mediciones del caudal para 1, 2, 4 y 8 conexiones TCP simultáneas con diversas velocidades del enlace (comprendidas entre 384 kbit/s y 1 536 kbit/s) que simulaban diversas condiciones de errores binarios (sin errores, 10^{-8} , 10^{-7} , 10^{-6} , 10^{-5} ; errores aleatorios/ráfagas de errores) y un retardo por el satélite de 250 ms (en un sentido). A los efectos de comparación, se midieron los caudales utilizando el equipo de pasarela y sin él.

La Fig. 6 muestra la red de prueba. Dicha red contiene el simulador del enlace de datos que simula el efecto de las condiciones del enlace de satélite en redes punto a punto. El simulador del enlace de datos utiliza una interfaz serie con dos encaminadores instalados a ambos lados del simulador para adaptar la interfaz. El computador personal cliente utiliza un sistema operativo Microsoft Windows 2000 (SP2) y el computador personal servidor utiliza el sistema Microsoft Windows 2000 (SP2) o el Linux, Versión 2.4.7.

¹ Iperf es una aplicación para generar tráfico y medir el caudal de paquetes IP. La versión 1.1.1 de Iperf es un software gratuito que puede cargarse en: <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf1.1.1/release.html>.

FIGURA 6
Configuración de la red de prueba para el PRUEBA-B



2.2.2 Resultados de las pruebas

2.2.2.1 PRUEBA-A

Las cuatro pruebas se efectuaron en condiciones de cielo despejado. Los resultados de las pruebas se presentan en los puntos siguientes:

- Conexión UDP (§ 2.2.2.1.1).
- Conexión simple TCP/IP (§ 2.2.2.1.2).
- Conexión múltiple TCP/IP (§ 2.2.2.1.3) (véase la Nota 1).
- Una sesión TCP (60% de la velocidad del enlace) y sesión UDP (40% de la velocidad del enlace) (§ 2.2.2.1.4) (véase la Nota 2).

NOTA 1 – El número de sesión es cuatro en un ordenador personal. Algunos VSAT no pudieron establecer cuatro sesiones de TCP/IP simultáneamente.

NOTA 2 – El caudal medido en la prueba de la conexión UDP se supone que es el caudal máximo de la sesión TCP.

El efecto de la mejora por la pasarela mediante la técnica de división en dos segmentos se observó debidamente a lo largo de todas las pruebas, pues se obtuvieron caudales de más del 95% del valor máximo.

2.2.2.1.1 Resultados de la conexión UDP

CUADRO 2

Velocidad del enlace: 384 kbit/s, promedio: 360,2 kbit/s (93,8%)
(sin datos suplementarios)

| | | Tx (se fija la velocidad del enlace en 384 kbit/s) | | | |
|-----------------|--------|---|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | VSAT-A (kbit/s) | VSAT-B (kbit/s) | VSAT-C (kbit/s) | VSAT-D (kbit/s) |
| Rx (384 kbit/s) | VSAT-A | | 365 | 365 | 365 |
| | VSAT-B | 345 | | 365 | 365 |
| | VSAT-C | 346 | 365 | | 365 |
| | VSAT-D | 346 | 365 | 365 | |

CUADRO 3

Velocidad del enlace: 1 536 kbit/s, promedio: 1 463 kbit/s (95,2%)
(sin datos suplementarios)

| | | Tx (se fija la velocidad del enlace en 1 536 kbit/s) | | | |
|-----------------|--------|---|--------|--------------|--------|
| | | VSAT-A | VSAT-B | VSAT-C | VSAT-D |
| Rx (384 kbit/s) | VSAT-A | | | 1 463 kbit/s | |

CUADRO 4

Velocidad del enlace: 2 048 kbit/s, promedio: 1 947,5 kbit/s (95,1%)

| | | Tx (se fija la velocidad del enlace en 2 048 kbit/s) | | | |
|-------------------|--------|---|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | A (384 kbit/s) | B (1 536 kbit/s) | C (2 048 kbit/s) | D (2 048 kbit/s) |
| Rx (1 536 kbit/s) | VSAT-B | | | 1 946 kbit/s | 1 949 kbit/s |

2.2.2.1.2 Resultado de la conexión TCP única

CUADRO 5

**Velocidad del enlace: 384 kbit/s, promedio: 349,2 kbit/s (96,9%)
(sin datos suplementarios)**

| | | Tx (se fija la velocidad del enlace en 384 kbit/s) | | | |
|------------------------|---------------|--|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | VSAT-A (kbit/s) | VSAT-B (kbit/s) | VSAT-C (kbit/s) | VSAT-D (kbit/s) |
| Rx (384 kbit/s) | VSAT-A | | 359,0 | 359,0 | 359,0 |
| | VSAT-B | 327,8 | | 358,5 | 358,3 |
| | VSAT-C | 328,0 | 348,3 | | 357,8 |
| | VSAT-D | 328,0 | 358,5 | 348,3 | |

El Cuadro 5 muestra el promedio a lo largo de cuatro pases.

CUADRO 6

**Velocidad del enlace: 1 536 kbit/s, promedio: 1 397,5 kbit/s (95,5%)
(sin datos suplementarios)**

| | | Tx (se fija la velocidad del enlace en 1 536 kbit/s) | | | |
|------------------------|---------------|--|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | | VSAT-A (384 kbit/s) | VSAT-B (1 536 kbit/s) | VSAT-C (2 048 kbit/s) | VSAT-D (2 048 kbit/s) |
| Rx (384 kbit/s) | VSAT-A | | | 1 397,5 kbit/s | |

El Cuadro 6 muestra el promedio a lo largo de cuatro pases.

CUADRO 7

**Velocidad del enlace: 2 048 kbit/s, promedio: 1 890,1 kbit/s (97,1%)
(sin datos suplementarios)**

| | | Tx (se fija la velocidad del enlace en 2 048 kbit/s) | | | |
|--------------------------|---------------|--|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | | VSAT-A (384 kbit/s) | VSAT-B (1 536 kbit/s) | VSAT-C (2 048 kbit/s) | VSAT-D (2 048 kbit/s) |
| Rx (1 536 kbit/s) | VSAT-B | | | 1 888,3 kbit/s | 1 891,8 kbit/s |

2.2.2.1.3 Resultados de la conexión TCP múltiple

CUADRO 8

**Velocidad del enlace: 1 536 kbit/s, promedio: 1 370,5 kbit/s (95,5%)
(sin datos suplementarios)**

| | | Tx (se fija la velocidad del enlace en 1 536 kbit/s) | | | |
|----|------------------------|--|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | | VSAT-A (384 kbit/s) | VSAT-B (1 536 kbit/s) | VSAT-C (2 048 kbit/s) (kbit/s) | VSAT-D (2 048 kbit/s) (kbit/s) |
| Rx | VSAT-A (384 kbit/s) | | | 360 | 338 |
| | | | | 358 | 337 |
| | | | | 345 | 329 |
| | | | 345 | 329 | |
| | Total | | | 1 408 | 1 333 |

CUADRO 9

**Velocidad del enlace: 2 048 kbit/s, promedio: 1 910 kbit/s (98,1%)
(sin datos suplementarios)**

| | | Tx (se fija la velocidad del enlace en 2 048 kbit/s) | | | |
|----|--------------------------|--|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | | VSAT-A (384 kbit/s) | VSAT-B (1 536 kbit/s) | VSAT-C (2 048 kbit/s) (kbit/s) | VSAT-D (2 048 kbit/s) (kbit/s) |
| Rx | VSAT-B (1 536 kbit/s) | | | 759 | 680 |
| | | | | 597 | 565 |
| | | | | 562 | 657 |
| | | Total | | | 1 918 |

2.2.2.1.4 Resultados de la combinación de sesiones UDP y TCP

CUADRO 10

Combinación de una conexión TCP (60%) y una conexión UDP (40%)

| | | Tx (384 kbit/s) | | | |
|----|--------|------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | | VSAT-A (384 kbit/s) | VSAT-B (1 536 kbit/s) | VSAT-C (2 048 kbit/s) (kbit/s) | VSAT-D (2 048 kbit/s) (kbit/s) |
| Rx | VSAT-B | | | 1 241 687 | 1102 841 |

Fila superior: conexión TCP; fila inferior: conexión UDP.

2.2.2.2 PRUEBA-B

Las Figs. 7 a 11 muestran los resultados del PRUEBA-B. Los valores del caudal de los gráficos de 1, 2 y 8 sesiones TCP son la suma de los caudales de todas las sesiones TCP. Se observó debidamente a lo largo de todas las pruebas el efecto de la mejora por la pasarela mediante la técnica de división en dos segmentos.

Como puede verse en las Figs. 7 y 8, el caudal máximo de una sesión TCP/IP se limita a aproximadamente 200 kbit/s, cuando la pasarela no está activada. Por ejemplo, en el caso de dos sesiones TCP (véase la Fig. 14) el caudal total («sin pasarela TCP») se limita a unos 400 kbit/s. Por otro lado, en el caso de ocho sesiones TCP (véase la Fig. 15) el caudal total («sin pasarela TCP») alcanza aproximadamente 1,5 Mbit/s y no se observa ninguna diferencia notable entre los casos «sin pasarela TCP» y «con pasarela TCP».

Con BER superiores (es decir, $BER = 10^{-6}$), el efecto de la mejora se reduce, tal como se representa en la Fig. 10

FIGURA 7
Resultado de una sesión TCP ($BER = 10^{-8}$)

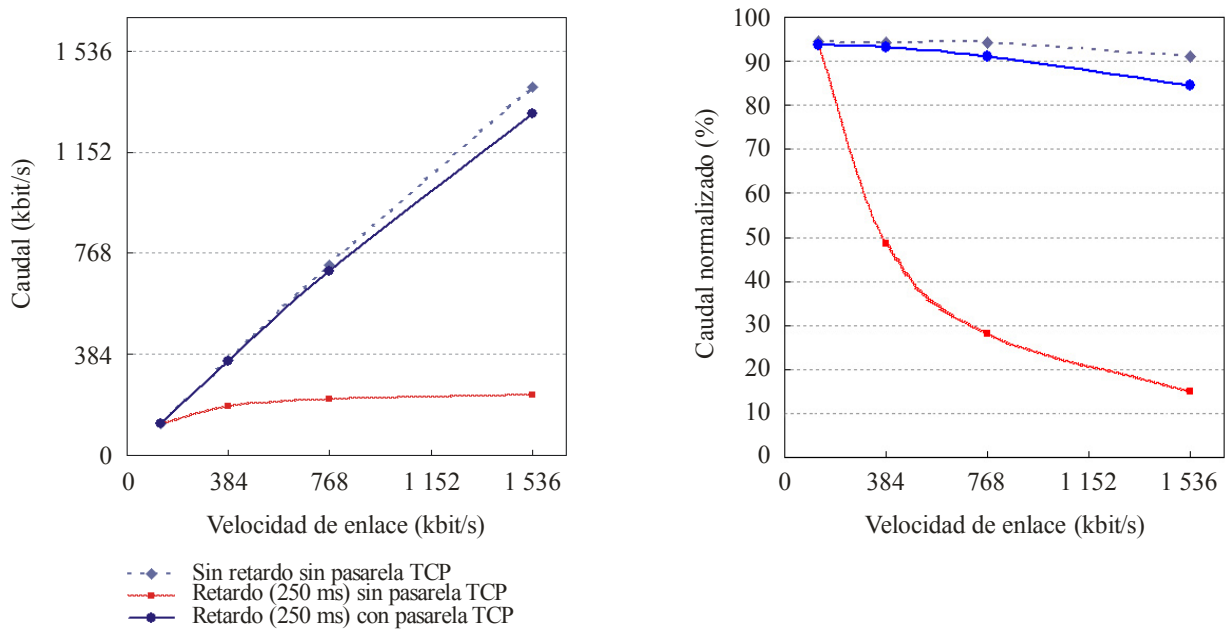
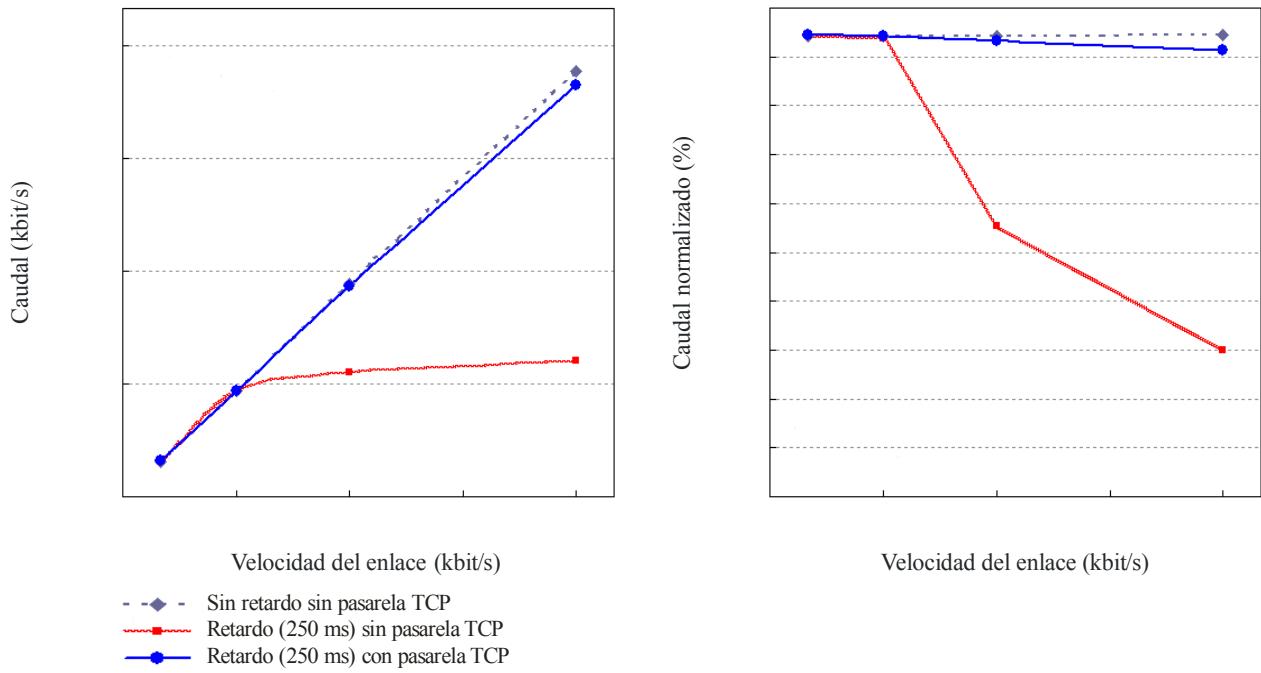
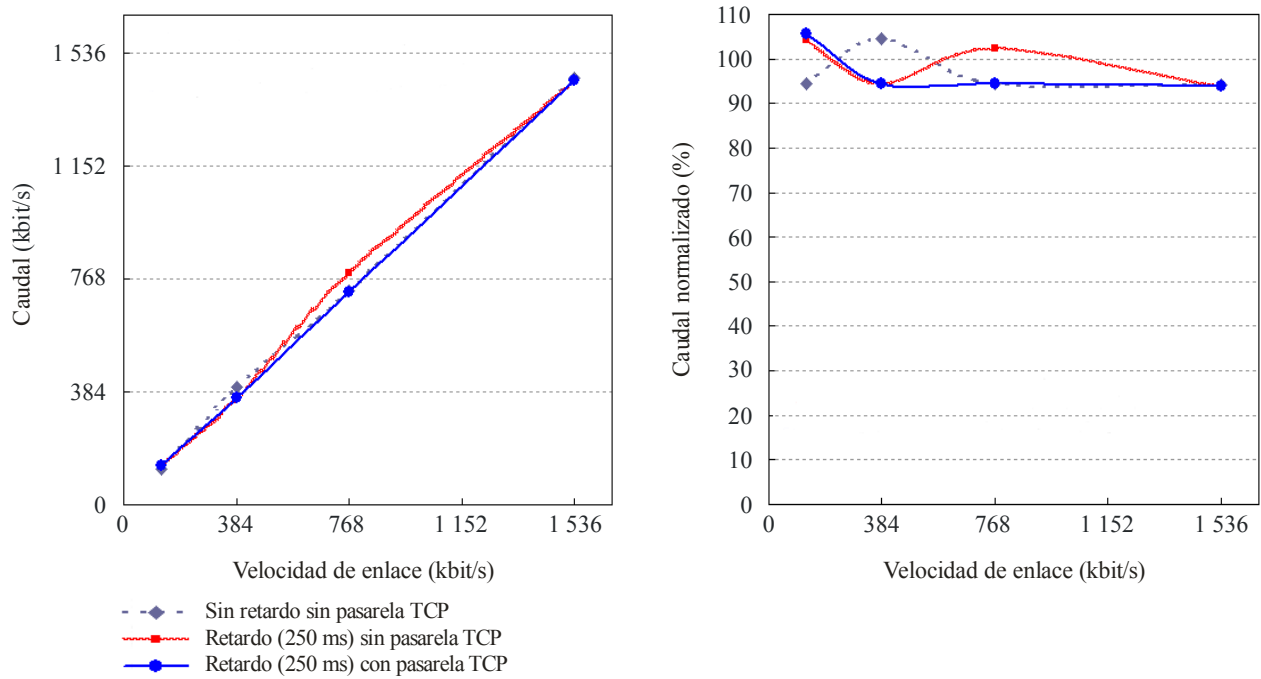


FIGURA 8
Resultados de dos sesiones TCP (BER = 10⁻⁸)



1711-08

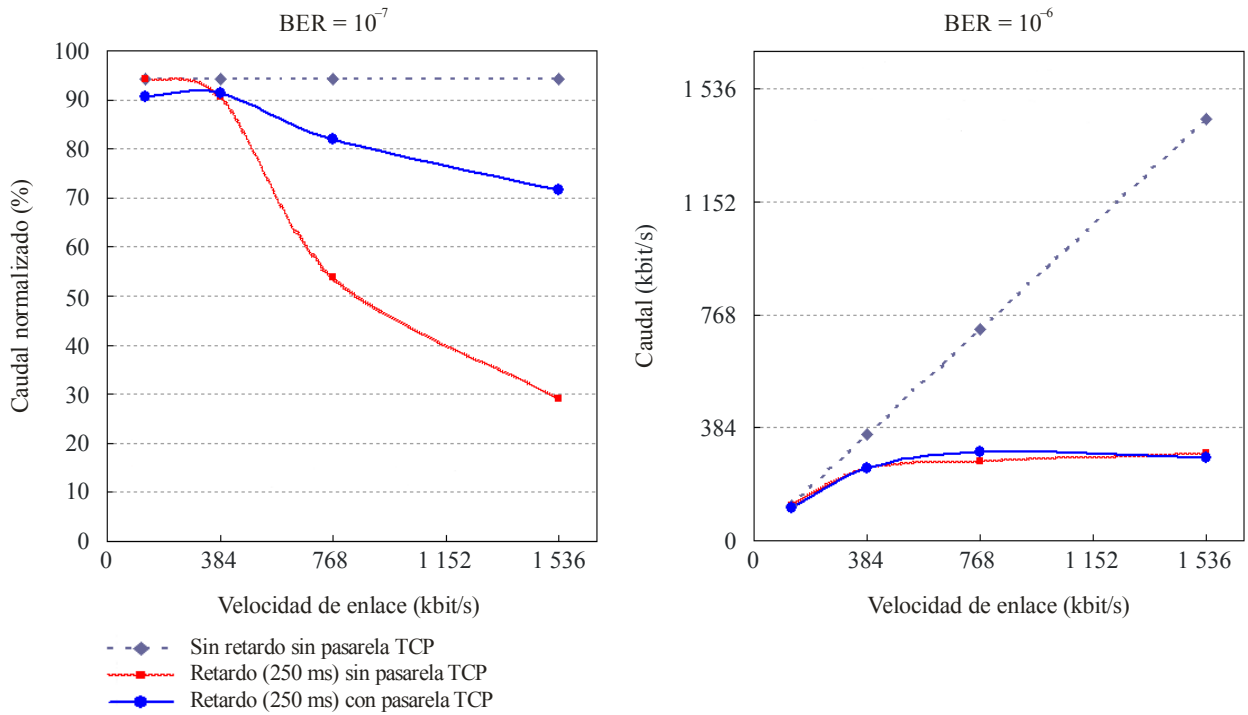
FIGURA 9
Resultados de ocho sesiones TCP (BER = 10⁻⁸)



1711-09

FIGURA 10

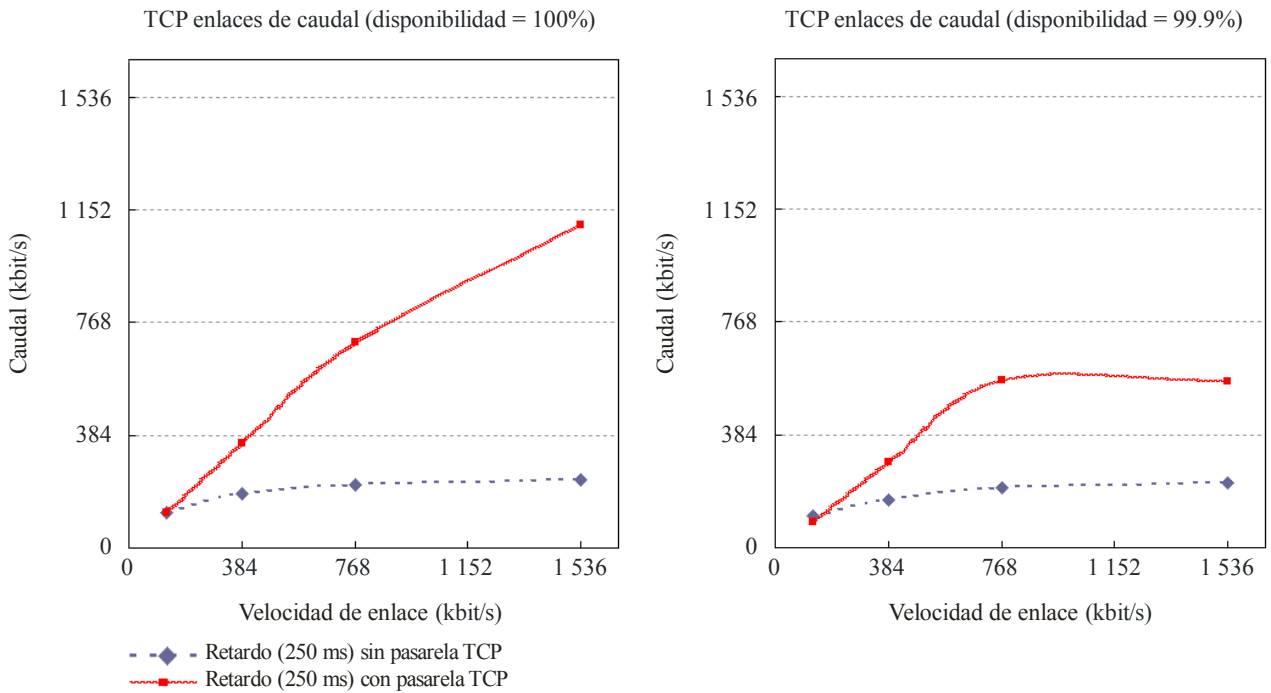
Resultados de dos sesiones TCP (BER = 10^{-7} , 10^{-6})



1711-10

FIGURA 11

Resultados de una sesión TCP en el caso de varias ráfagas de error



1711-11

2.2.3 Resumen

Los resultados muestran que el método de división en dos segmentos puede mejorar significativamente el caudal TCP en un enlace de satélite con una BER de 10^{-7} o mejor. La calidad en términos del caudal total correspondiente al 95% de la capacidad con 1, 2 y 8 conexiones TCP simultáneas se logró en presencia de retardos prolongados, tales como los de una red de satélites. Además, se comprobó que la técnica de división en dos segmentos es adecuada para las redes de satélites asimétricas y simétricas.

Las técnicas de división en segmentos permiten lograr un esquema optimizado de equilibrio de cargas entre conexiones en un segmento por satélite, para evitar la degradación no deseada de la ventana de transmisión TCP mediante los algoritmos de prevención de la congestión. Este esquema de equilibrio de la carga es posible porque el equipo de la pasarela actúa como intermediario entre los usuarios finales TCP.

2.3 División en tres segmentos

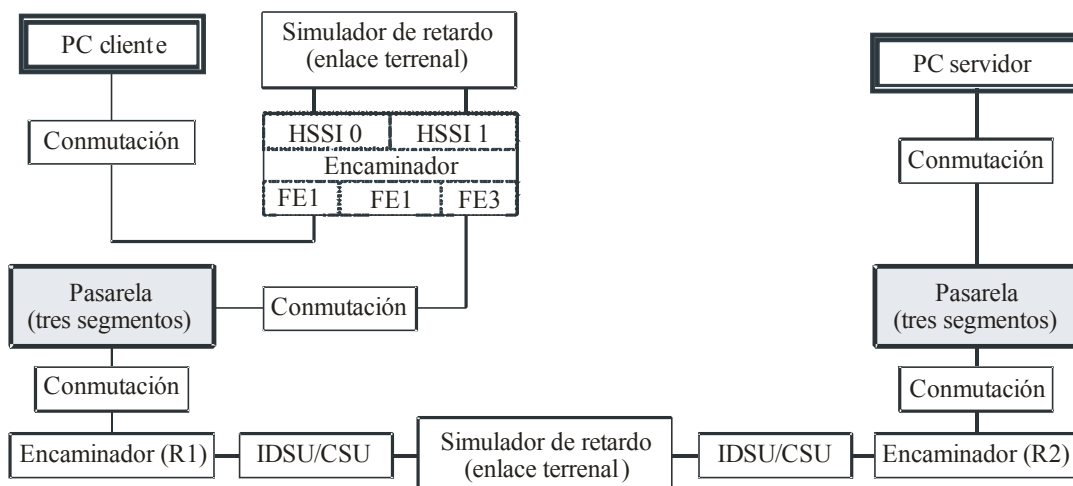
2.3.1 Configuración de las redes de satélites

La red de prueba se representa en la Fig. 12. La red contiene dos simuladores de enlace para simular los efectos de las condiciones del enlace por satélite y de la red medular terrenal Internet. A fin de probar únicamente las condiciones del enlace de satélite, el simulador del retardo del enlace terrenal y el encaminador Cisco 7206 no se incluyeron en la red. El sistema cliente se conectó directamente a la central de conmutación Ethernet anexa a la pasarela de protocolos.

Ambos sistemas, cliente y servidor, son de tipo Sun Enterprise 450 ($2 \times$ UltraSPARC-II 296 MHz) con una memoria de 2 048 Mbytes que explota un sistema operativo Solaris 7. Se utilizó una aplicación cliente-servidor para el generador de carga.

FIGURA 12

Configuración de la red de prueba



Nota 1 – «Conmutación» indica el conmutador Ethernet 100 Mbit/s.

2.3.2 Procedimientos de prueba

Los objetivos de las pruebas eran efectuar pruebas independientes para investigar la eficacia de las pasarelas de protocolos en diversas condiciones de carga, las velocidades de conexión TCP y las tasas de errores, en condiciones típicas de un enlace por satélite. Además de simular las condiciones del satélite, en las pruebas se examinaba también el efecto de la congestión Internet y el caudal de extremo a extremo con la pasarela de protocolos y sin ella.

Se efectuaron tres tipos de prueba:

Prueba 1: Caudal de una conexión TCP única para varias anchuras de banda del enlace

Estas pruebas se diseñaron para simular aplicaciones LAN de gran velocidad e Internet-2 en las que suelen producirse transferencias de grandes ficheros de datos a gran velocidad, comparando el comportamiento con pasarela de protocolo y sin ella.

Prueba 2: Conexiones TCP múltiples con anchura de banda fija por conexión

Estas pruebas se diseñaron para examinar la mejora en la calidad de la pasarela de protocolos para enlaces ISP que dan soporte a grandes cantidades de pequeñas conexiones TCP. Las pruebas se efectuaron para retardos de ida y vuelta de 200 ms a fin de simular un enlace WAN terrenal y de 700 ms para simular la combinación de un salto de satélite de 500 ms desde el usuario a la red medular Internet, junto al retardo de 200 ms necesario para llegar al servidor. Para mayor sencillez, se añadieron retardos y errores binarios en un único punto, situando las pasarelas de protocolos a ambos lados del simulador del enlace.

Prueba 3: Conexiones TCP múltiples con pérdidas terrenal de paquetes

Las pruebas anteriores se ampliaron para examinar de forma más precisa el efecto del retardo y los errores a lo largo de la red medular Internet, independientemente del salto de satélite. Se añadió un segundo simulador de satélite para simular por separado las condiciones del satélite y las terrenales. Para estas pruebas, se fijó el retardo de ida y vuelta del salto del satélite en 500 ms sin errores, y el del enlace de la red medular se fijó en 200 ms, con diversas tasas de pérdidas.

2.3.3 Resultados de las pruebas

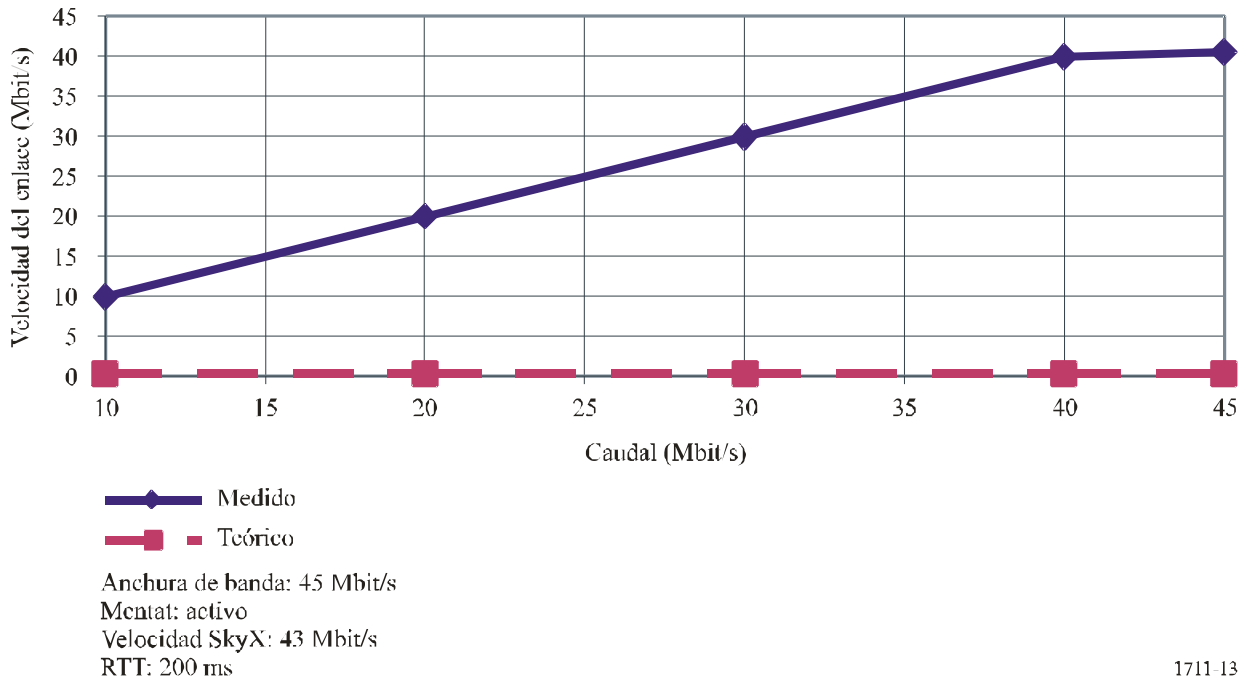
2.3.3.1 TCP con mejora de la pasarela de protocolo

En el siguiente grupo de pruebas se examinó la mejora de la calidad que proporcionaba la pasarela de protocolos para una conexión TCP única. La Fig. 13 muestra el caudal en función de la anchura de banda del enlace para un retardo de ida y vuelta de 200 ms, comparando el caudal medido con utilización de la pasarela de protocolos al caudal teórico máximo TCP sin mejora. La Fig. 20 muestra los resultados de las pruebas para un retardo de ida y vuelta de 700 ms.

Para ambos casos de retardo de 200 ms y de 700 ms, la calidad utilizando la pasarela de protocolo es claramente de varios órdenes de magnitud mejor que la del caudal TCP teórico máximo. Aun con un retardo de 700 ms, la pasarela de protocolos permite a la conexión aprovechar toda la anchura de banda disponible.

FIGURA 13

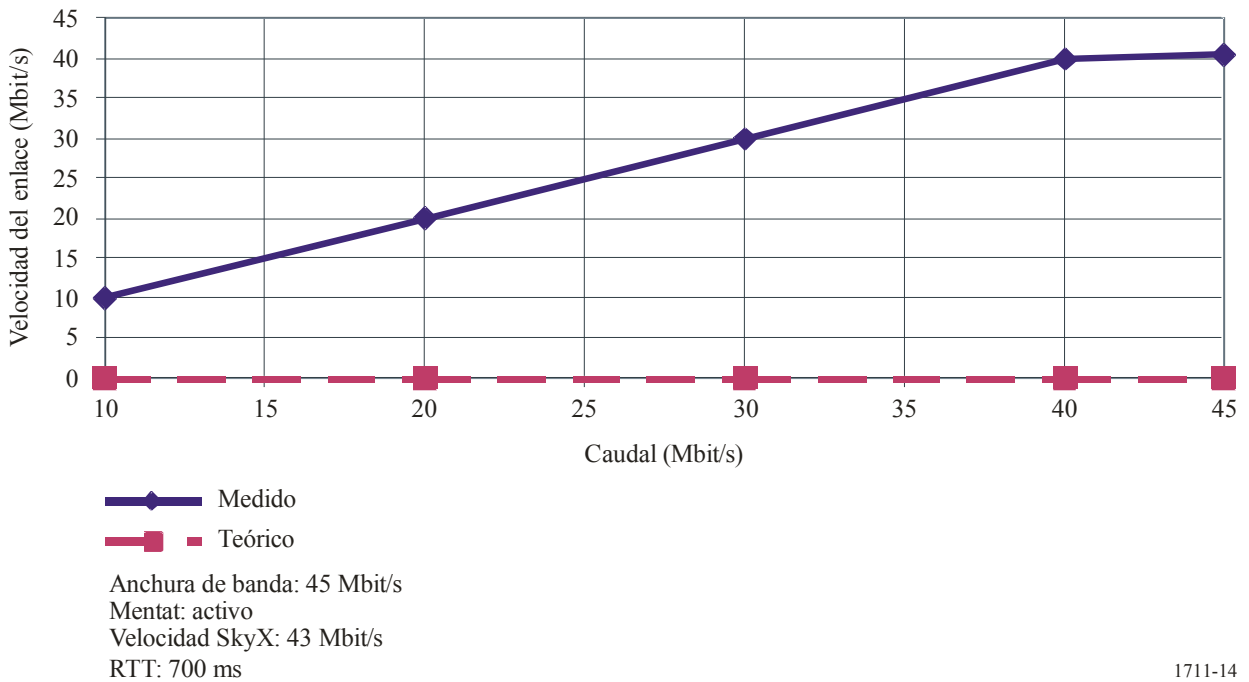
Conexión TCP simple por enlace terrenal con mejora de la pasarela de protocolo



1711-13

FIGURA 14

Conexión TCP simple por enlace de satélite con mejora de la pasarela de protocolo



1711-14

2.3.3.2 Pruebas de la calidad de la conexión TCP múltiple

Más que una conexión TCP única grande, el ISP que da servicio a usuarios residenciales conectados a Internet da soporte a grandes números de pequeñas conexiones en subredes. Las velocidades de la conexión TCP suelen generalmente estar limitadas por la velocidad de la conexión del usuario al ISP. El siguiente grupo de pruebas se diseñó por tanto para examinar la calidad del TCP con mejora de la pasarela de protocolos y sin ella para un gran número de conexiones TCP, limitando cada conexión a 128 kbit/s. Las pruebas se efectuaron con retardos de ida y vuelta de 200 ms y de 700 ms, para comparar la calidad del enlace terrenal y el del satélite. Se ensayaron para cada condición diversas BER.

2.3.3.3 Conexiones TCP múltiples sin mejora

Las Figs. 15 y 16 muestran el caudal acumulado entre cliente y servidor sin mejora TCP para conexiones TCP múltiples a 128 kbit/s en diversas condiciones de BER. Con un límite de 128 kbit/s por conexión, se requieren 350 conexiones para llenar un enlace de 45 Mbit/s.

La Fig. 15 muestra el caudal acumulado para el enlace terrenal. Con el retardo de 200 ms, el TCP es capaz de dar valores de caudal acumulado próximos al máximo teórico, excepto con tasas de errores binarios elevadas.

La Fig. 16 muestra el caudal acumulado para la conexión por satélite. Con un retardo de 700 ms, incluso sin errores, el TCP está limitado a únicamente 31 Mbit/s para 350 conexiones. Con tasas de errores elevadas, la calidad TCP cae rápidamente.

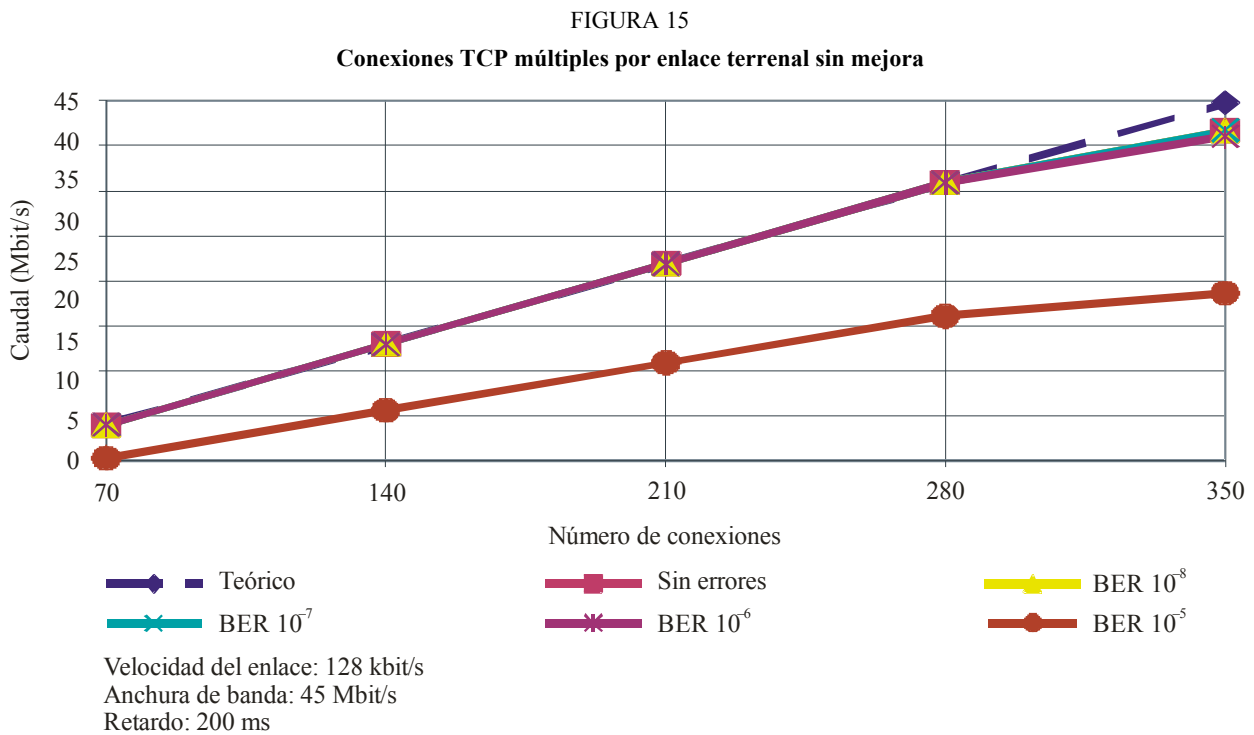
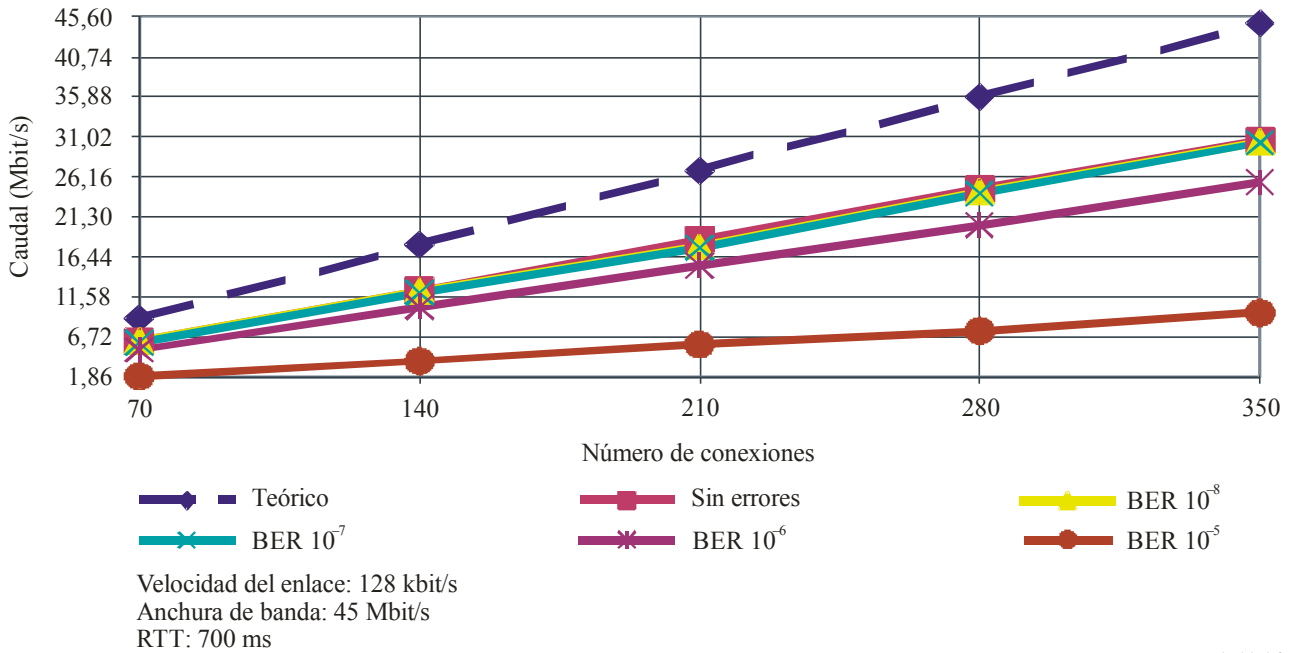


FIGURA 16

Conexiones TCP múltiples por enlace de satélites sin mejora



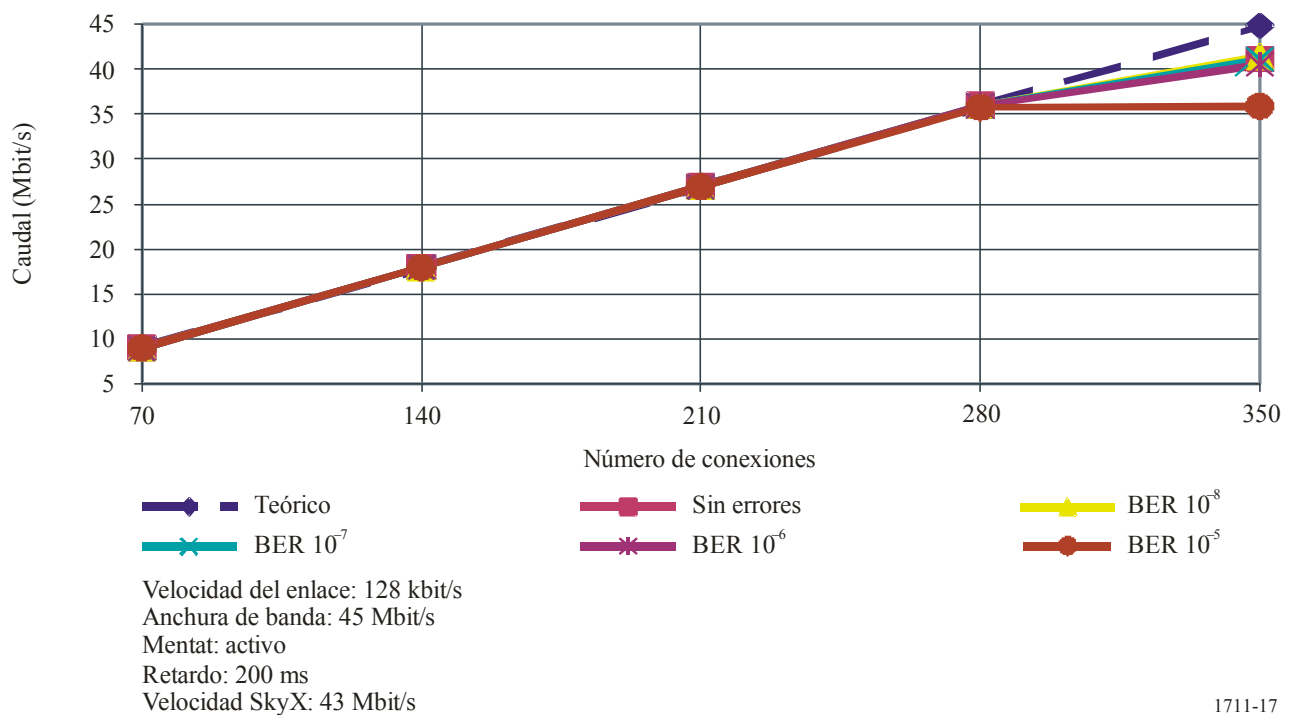
1711-16

2.3.3.4 Conexiones TCP múltiples con mejora de la pasarela de protocolo

Las Figs. 17 y 18 ilustran los efectos de la adición a la red de la pasarela de protocolos. La Fig. 17 muestra el caudal acumulado para un retardo de 200 ms, mientras que la Fig. 18 muestra los resultados para un retardo de 700 ms.

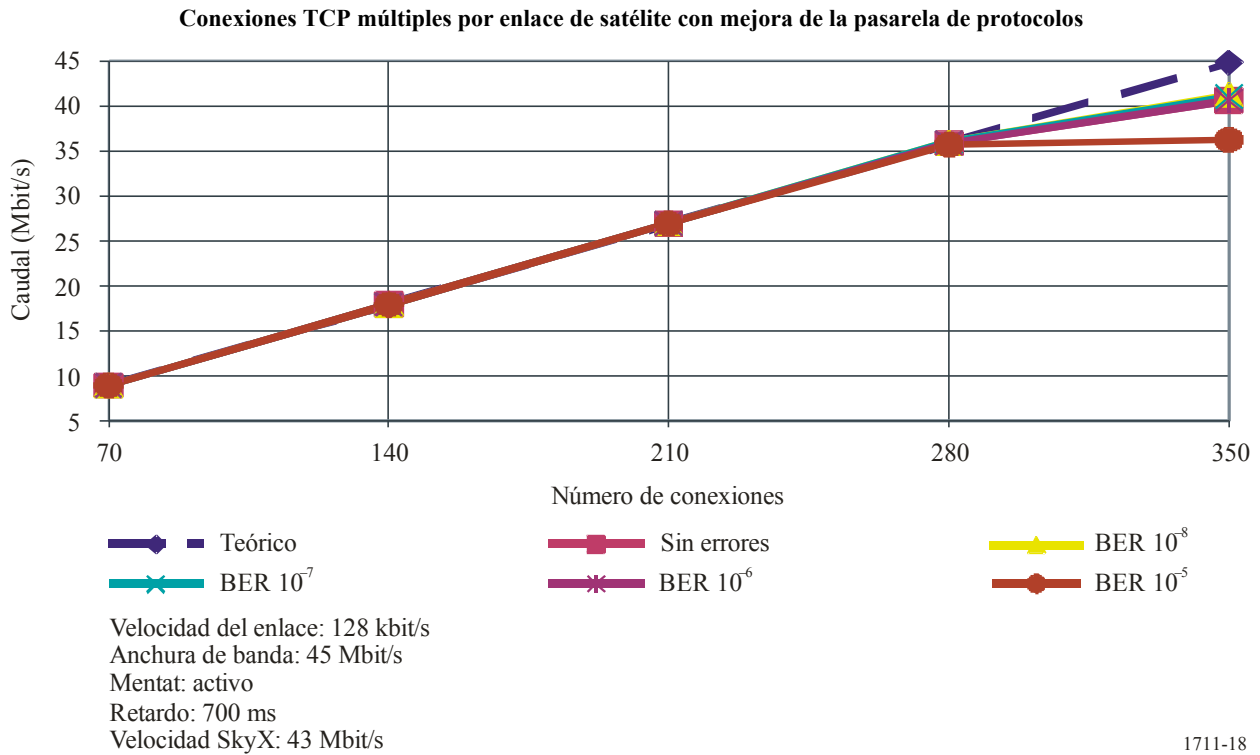
FIGURA 17

Conexiones TCP múltiples por enlace terrenal con mejora de la pasarela de protocolos



1711-17

FIGURA 18



1711-18

Para las condiciones terrenal y de satélite, la pasarela de protocolos permite a la conexión utilizar toda la anchura de banda disponible. En ambos casos, la calidad es fundamentalmente idéntica al límite teórico hasta para 280 conexiones.

Comparando con el § 2.3.3.3, la pasarela de protocolos da casi un 100% de mejora en el caudal acumulado, con un índice de pérdidas de paquetes del 10% (que corresponde a una BER de 1×10^{-5} para paquetes de 1 500 bytes). En el caso de la red basada en el satélite, la pasarela de protocolo ofrece un aumento sustancial de la anchura de banda acumulada con BER reducidas y un índice de pérdidas de paquetes del 10%, siendo el caudal acumulado con la pasarela de protocolo para 350 conexiones de 33 Mbit/s, en comparación con los únicamente 10 Mbit/s para el TCP mejorado.

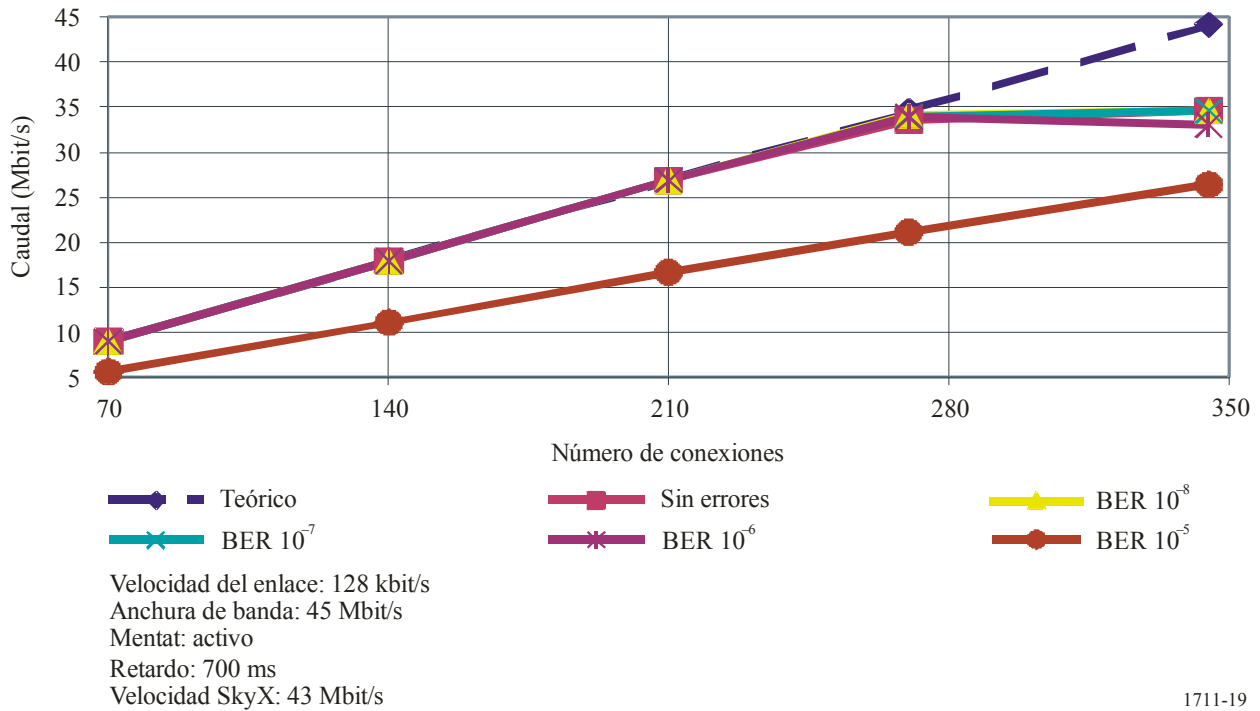
2.3.3.5 Conexiones TCP múltiples con pérdidas terrenales de datos

Al considerar la calidad de los usuarios Internet conectados a través de un ISP por satélite, la conexión atravesará saltos de satélite y seguidamente pasará por la red medular Internet para llegar al servidor. La conexión puede sufrir pérdidas de datos debidas a la congestión por la red medular Internet. A fin de establecer un modelo más preciso de las condiciones que experimenta el usuario final, el siguiente grupo de pruebas dividía la conexión en un enlace de satélite sin pérdidas y un retardo de 500 ms, combinado con un trayecto de red medular de 200 ms de retardo y diversas tasas de errores. En estas pruebas, las pasarelas de protocolo se sitúan a ambos lados del enlace de satélite. Se utiliza un TCP normal para el tramo de la conexión por la red medular entre el servidor y la pasarela de protocolos del lado del servidor.

Tal como se representa en la Fig. 19, la pasarela de protocolos permite a la conexión mantener su plena velocidad sin que haya apenas degradación, excepto para tasas elevadas de pérdidas de paquetes. Comparando la Fig. 19 con las Figs. 16 y 18 se ve que la pasarela de protocolos es capaz de superar la latencia y los errores en el enlace de satélite, así como el retardo y la mayoría de las pérdidas de paquetes en el enlace medular.

FIGURA 19

**Conexiones TCP múltiples por enlaces combinados satélite-terrenal
con mejora de la pasarela de protocolos**



1711-19

2.3.4 Resumen

El resultado de este prueba muestra que la pasarela de protocolos y los dispositivos de división de la conexión pueden mejorar el caudal para portadoras con tráfico de tipo TCP por enlaces de satélite con retardos de hasta 700 ms. Las pruebas muestran también que el caudal TCP no resulta afectado, siempre que la BER del enlace sea mejor de 10^{-7} .

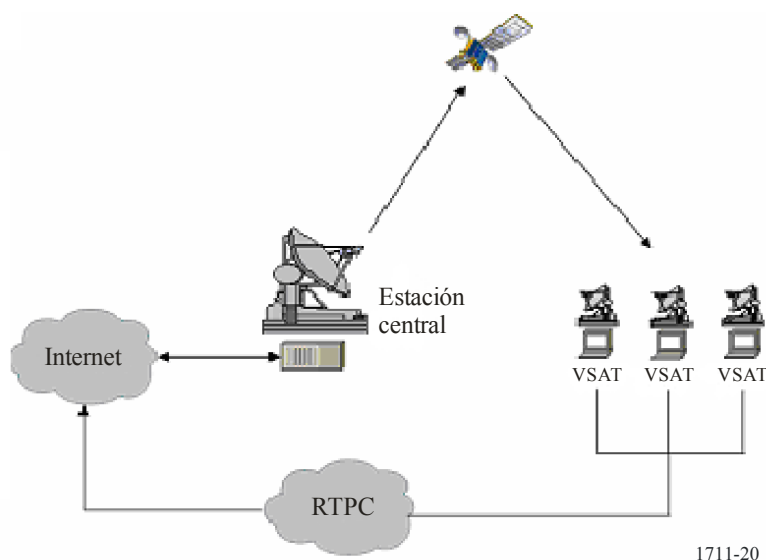
3 Pruebas y mediciones de TCP por satélite utilizando ocultación y simulación

3.1 Introducción

Este punto describe los resultados de las pruebas y mediciones considerando cinco casos de Internet por satélite y un caso de Internet terrenal. El objetivo de las pruebas y mediciones es garantizar la eficacia de la ocultación y la simulación en una red de satélites. Como ilustra la Fig. 20, tradicionalmente los servicios de Internet a través de sistemas de comunicaciones por satélites geoestacionarios se han proporcionado mediante un enlace por satélite unidireccional (enlace descendente) para superar el problema de retardo de transmisión causado por la larga distancia del trayecto Tierra-espacio, ahorrar costes en los equipos de enlaces ascendentes, etc.

Corea Telecom (KT) y el Instituto de Información y Telecomunicaciones de la Universidad Hansei (HITRI) han realizado un estudio de ocultación y simulación para Internet por satélite bidireccional. La simulación se utiliza a fin de disminuir el tiempo que necesita el establecimiento del enlace. La ocultación se emplea con objeto de mejorar la eficacia de la anchura de banda de transmisión.

FIGURA 20
Configuración de una red de Internet por satélite unidireccional



3.2 Pruebas y mediciones

3.2.1 Especificaciones de los equipos

Los Cuadros 11 a 13 muestran las especificaciones del sistema utilizado para hacer pruebas y mediciones. El Cuadro 11 presenta las especificaciones para los sistemas en tierra, el Cuadro 12 para los sistemas de satélites y el Cuadro 13 para los terminales VSAT.

CUADRO 11

Especificaciones del sistema en tierra

| | | |
|------------------------------------|----------------------------------|--|
| Estación terrena central | 1 estación con antena de 9 m | |
| Estación terminal VSAT | 2 estaciones con antena de 1,2 m | IDU/ODU ACQ: 191.0 PING: 1 686 ms PTS: VSAT_141b_uts |
| Línea de conexión central-Internet | 45 Mbit/s | |

CUADRO 12

Especificaciones del sistema de satélites

| | |
|------------------------------|--|
| Órbita | OSG 116° E |
| Nombre del satélite | Mugunghwa-3 |
| Transpondedor | Anchura de banda: 36 MHz Entrante: 11,040 MHz (480 kHz 23 grupos) Saliente: 24,8 MHz |
| Banda de frecuencias | Banda Ku (14 GHz/12 GHz) |
| Velocidad binaria del enlace | Entrante: 128 kbit/s ~ 256 kbit/s Saliente: 23,58 Mbit/s |

CUADRO 13

Especificaciones del terminal VSAT

| Aclaración | Elementos | Especificación |
|-----------------|---------------------------------------|------------------|
| Opción Internet | Página de inicio | Sin confirmación |
| | Espacio | 1 MB |
| | Establecimiento de la conexión LAN | NO |
| | Nivel de seguridad | Normal |
| | Vibración de la imagen | Suprimido |
| | Desplazamiento de pantalla continuada | Suprimido |
| Memoria virtual | Mínima | 384 MB |
| | Máxima | 768 MB |
| | Tamaño del registro | 64 |

3.2.2 Configuraciones de la red para pruebas y mediciones

Se han utilizado cuatro redes de prueba de satélites utilizando una topología en estrella y una red de prueba terrenal. Sus configuraciones aparecen en las Figs. 21 y 22, respectivamente. La estación central de cada red de prueba de satélite se conectó a Internet utilizando una línea especializada de 45 Mbit/s. Se seleccionaron cuatro direcciones web de Internet para realizar las mediciones del comportamiento:

- A: www.naver.com, dirección del portal
- B: www.google.com, dirección basada en texto
- C: www.hansei.ac.kr, dirección de la universidad
- D: www.kbstar.co.kr, dirección del banco.

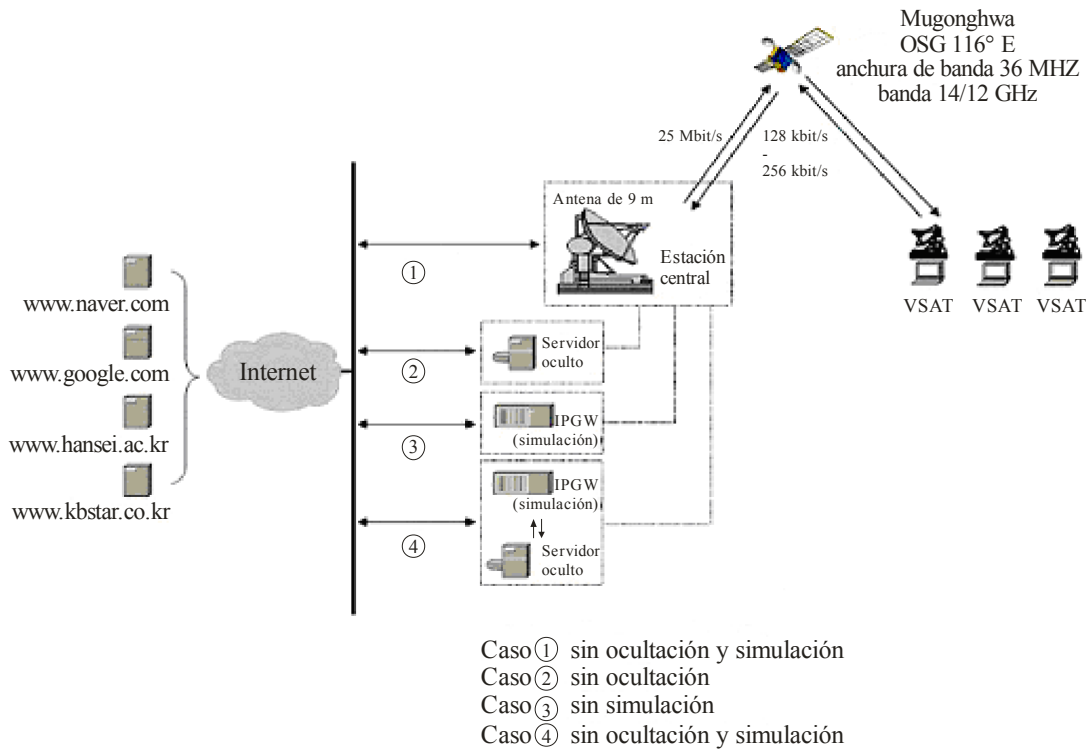
La Fig. 21 muestra las cuatro configuraciones de la red para la prueba y medición del satélite:

- sin ocultación/simulación: la red de satélites está directamente conectada a las direcciones web seleccionadas a través de la estación central;
- con ocultación únicamente: la red de satélites está conectada a las direcciones web seleccionadas a través de un servidor cache situado en la estación central;
- con simulación únicamente: la red de satélites se conecta a las direcciones seleccionadas a través de una pasarela IP (IPGW) situada en la estación central. La simulación se lleva a cabo en la pasarela IP de la estación central y en la unidad de interiores (IDU) de los terminales VSAT;
- con ocultación y simulación: dado que la simulación a menudo no es lo suficientemente eficaz como para superar los retardos de transmisión del satélite y mejorar adecuadamente el comportamiento del TCP en las redes de satélites, se utiliza conjuntamente con la ocultación. La red de satélites se conecta a las direcciones web seleccionadas a través de una IPGW y un servidor cache.

Como punto de referencia, se midió el comportamiento de un acceso terrenal a Internet. La Fig. 22 ilustra la configuración de la red terrenal de pruebas y mediciones.

FIGURA 21

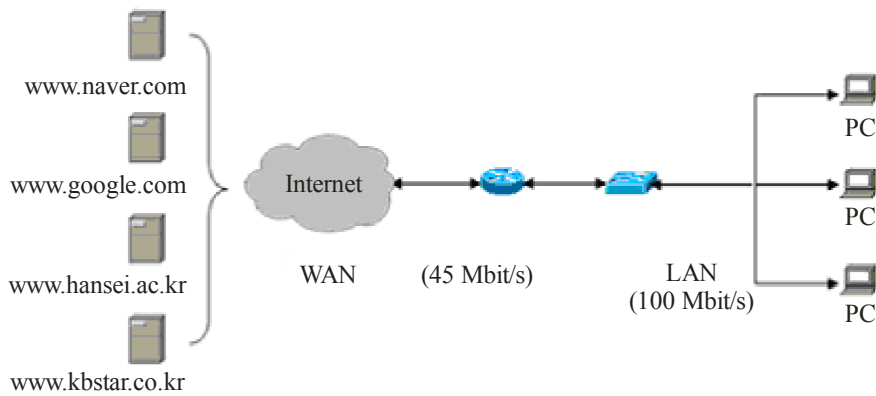
Configuración de prueba de la red de satélites



1711-21

FIGURA 22

Configuración de la red de prueba Internet terrenal



1711-22

3.2.3 Resultados de las pruebas y mediciones

Las pruebas y mediciones se realizaron tres veces a intervalos de 20 minutos recopilando 2×15 muestras (15 por cada uno de los parámetros medidos; es decir, tiempo de conexión y caudal) en cada uno de los cinco casos descritos en el § 3.2.2. Estas muestras se promediaron a continuación y se presentan en el Cuadro 14.

CUADRO 14

Comparación del tiempo de conexión medio (s) y del caudal medio (kbyte/s)

| Dirección web | Acceso terrenal de referencia | | Acceso al satélite | | | | | | | |
|---------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------|
| | | | Caso 1: sin ocultación y simulación | | Caso 2: con ocultación | | Caso 3: con simulación | | Caso 4: con simulación y ocultación | |
| | Tiempo de conexión (s) | Caudal (kbytes/s) | Tiempo de conexión (s) | Caudal (kbytes/s) | Tiempo de conexión (s) | Caudal (kbytes/s) | Tiempo de conexión (s) | Caudal (kbytes/s) | Tiempo de conexión (s) | Caudal (kbytes/s) |
| A | 3,5 | 110,8 | 35,7 | 10,3 | 44,9 | 9,7 | 15,6 | 24,7 | 14,1 | 27,8 |
| B | 1,4 | 11,9 | 9,5 | 2,1 | 9,8 | 1,6 | 5,9 | 2,9 | 5,2 | 3,1 |
| C | 5,9 | 131,7 | 56,9 | 13,1 | 44,3 | 13,9 | 31,1 | 30,4 | 14,7 | 54,3 |
| D | 6,1 | 99,1 | 28,4 | 6,1 | 22,9 | 7,7 | 15,4 | 10,9 | 13,0 | 17,9 |

A: www.naver.com, dirección del portal

B: www.google.com, dirección basada en texto

C: www.hansei.ac.kr, dirección de la universidad

D: www.kbstar.co.kr, dirección del banco.

3.3 Resumen

Para las cuatro direcciones web utilizadas en el experimento, empleando sólo simulación se mejora el comportamiento del TCP/IP por las redes de satélites tanto en términos de caudal como en tiempo de conexión. Por el contrario, si se utiliza únicamente ocultación, el caudal es inferior y el tiempo de conexión mayor para las direcciones web (portal, dirección web basada en imagen en movimiento) y B (dirección web basada en texto) que sin ningún método de mejora del comportamiento.

Cuando se aplican conjuntamente la ocultación y la simulación a la red TCP/IP de satélite, el comportamiento con relación al caudal y al tiempo de conexión mejora en las cuatro direcciones web (por ejemplo, el caudal en el terminal VSAT aumenta de 1,5 veces (dirección web B) a 4,2 veces (dirección web C); los tiempos de conexión se reducen de 1,8 veces (dirección web B) a 3,9 veces (dirección web C)).

4 Características del TCP en una red ATM por satélite

El § 4.1 describe el entorno y las configuraciones de una red experimental. El § 4.2 presenta los resultados del caudal TCP cuando se mide éste en una red de satélite basada en ATM. El § 4.3 examina el comportamiento del TCP cuando la red de satélite de banda ancha basada en ATM se interconecta con redes terrenales de gran velocidad, tales como la Gigabit Ethernet. El § 4.4 resume las conclusiones a las que se llega mediante este experimento.

4.1 Configuración de la red

La Fig. 23 muestra las configuraciones de la red de gran velocidad ATM por satélite Corea-Japón. En este experimento conjunto, se instalaron dos estaciones en Tierra, con antenas de 7 m en ETRI, Corea y de 5 m en CRL, Japón. Las especificaciones principales del enlace ATM por satélite en 155 Mbit/s Corea-Japón son las siguientes:

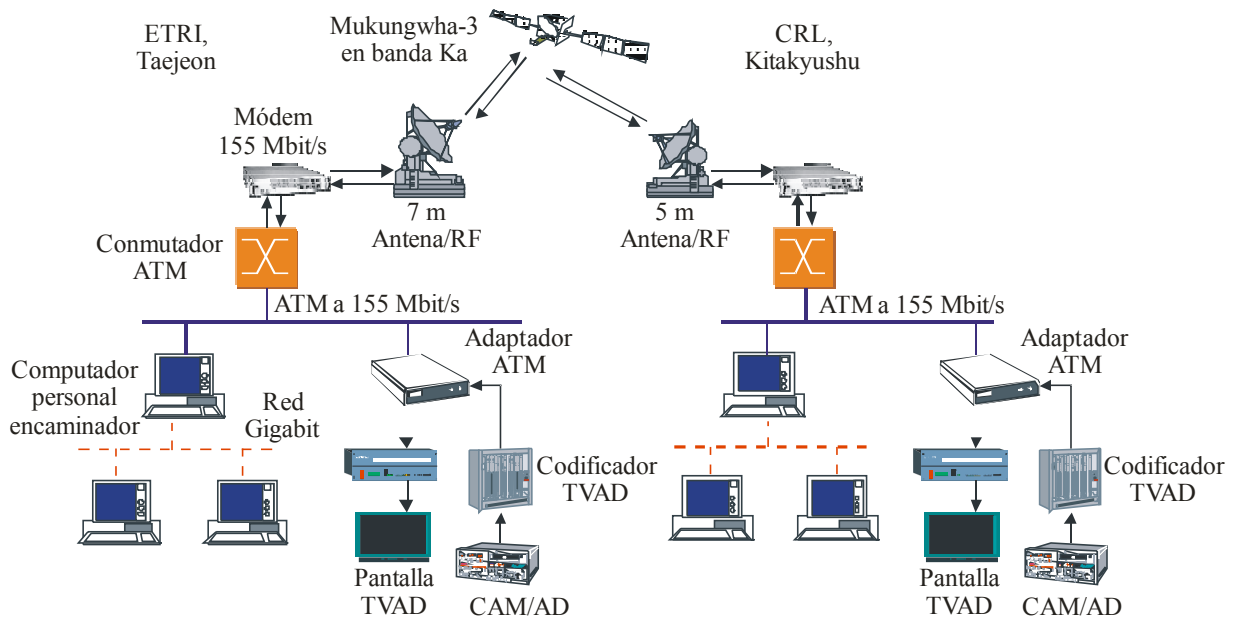
- Satélite: Mukungwha-3.
- Banda de frecuencia: enlace ascendente: 27,5-31 GHz, enlace descendente 17,7-21,2 GHz.
- Potencia máxima del ATOP: 125 W.
- p.i.r.e. normal (Mukungwha-3): 71 dBW.
- G/T (elevación 45°): 32 dB/K (mínima).
- Modulación/demodulación TC 8 PSK.
- Codificación: $K = 7,7/8$ código convolucional RS.
- Velocidad binaria: 155,52 Mbit/s.
- Anchura de banda atribuida: 80 MHz en dos canales.

Toda la red puede dividirse en dos redes -la subred en gigabits y la red medular ATM OC-3 que incluye el enlace por satélite OSG. Los encaminadores basados en un computador personal cuentan ambos con interfaces de red en gigabits y ATM que interconectan dos redes. La red experimental se configuró con direcciones IPv4 y IPv6. La red de satélite basada en ATM se utilizó en el experimento de transmisión MPEG.

Se montó una red basada en ATM para los dos tipos de aplicaciones – Internet y transmisión de vídeo en tiempo real. Las Figs. 24 y 25 muestran las configuraciones detalladas y las pilas de protocolos de la red experimental.

FIGURA 23

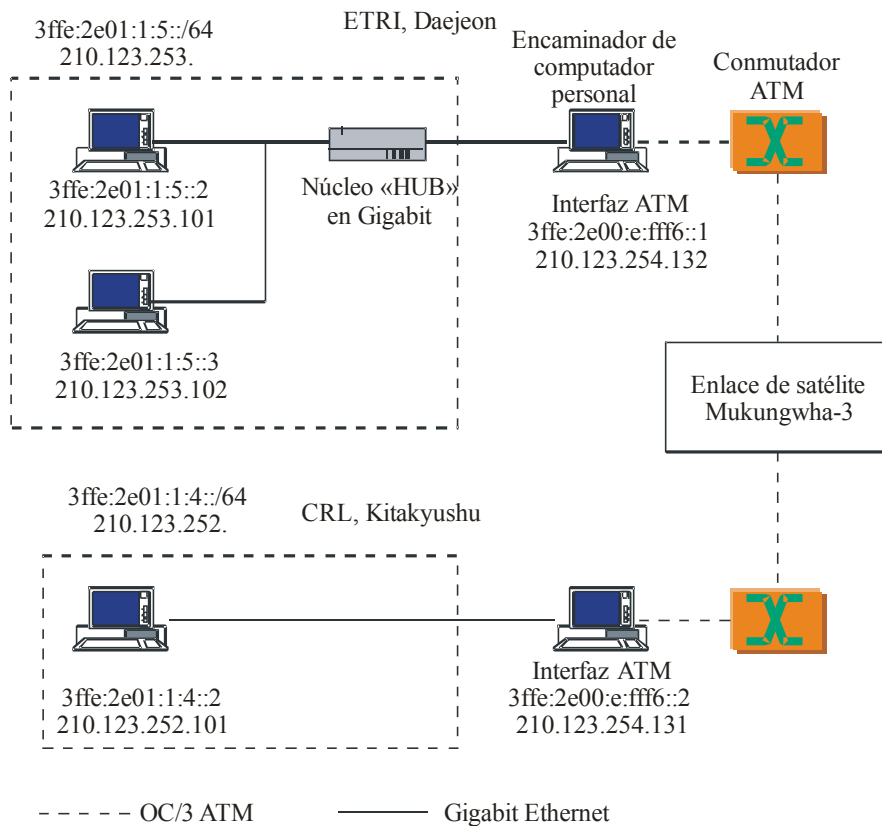
Configuración de la red de los experimentos Corea-Japón



1711-23

FIGURA 24

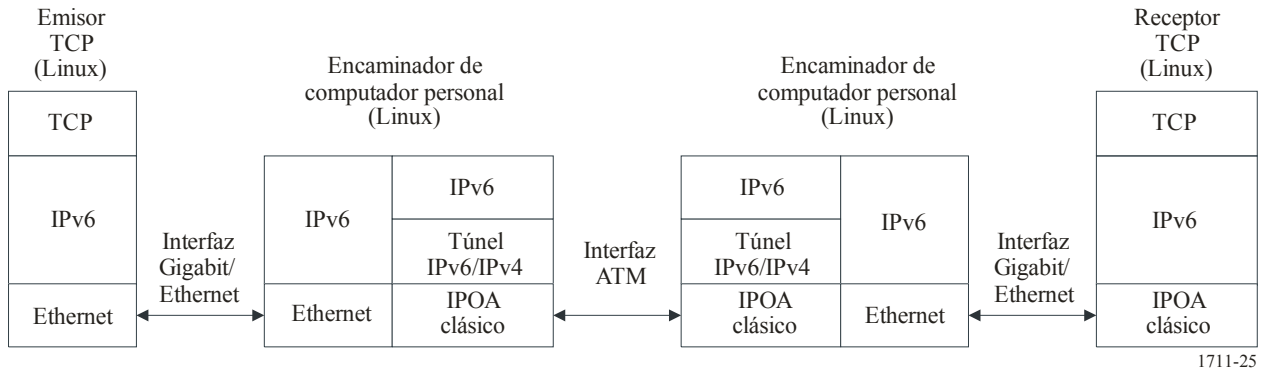
Configuración de la red experimental



1711-24

FIGURA 25

Pilas de protocolos de la red experimental interconectada a través de un encaminador de ordenador personal

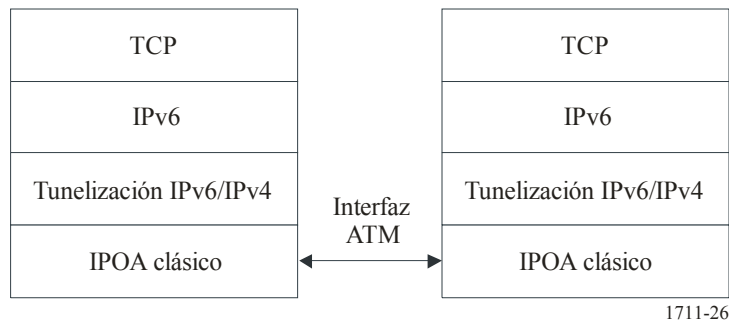


4.2 Características del TCP en una red ATM únicamente por satélite

Se midió en primer lugar el caudal TCP de una red puramente ATM con un retardo de ida y vuelta en el satélite OSG de 540 ms. Se utilizó el túnel IPv6/IPv4 porque aún no se había implementado completamente el IPv6 en IP por ATM. La Fig. 26 muestra la pila de protocolos de la tunelización IPv6/IPv4 por la red de satélite ATM.

FIGURA 26

Pila de protocolos de la tunelización IPv6/IPv4 en ATM



El tamaño de la unidad de transmisión máxima (MTU) en la comunicación IP por ATM es generalmente de 9 180 bytes. El tamaño de la MTU en la interfaz de tunelización IPv6/IPv4 es de 9 160 bytes porque el tamaño del encabezamiento IPv4 es de 20 bytes. Por tanto, el tamaño del segmento máximo (MSS) tiene un máximo de 9 100 bytes (los tamaños del encabezamiento IPv6 y del encabezamiento TCP son 40 y 20 bytes, respectivamente). No obstante, cuando se utiliza la opción de escala TCP para aumentar el tamaño de la ventana TCP en la red ATM por satélite, el MSS se reduce por los bytes de la opción TCP. Cuando los paquetes IP van encapsulados en la AAL5, puede calcularse la anchura de banda teórica máxima. El número de bytes de relleno necesarios es:

$$PAD = 48 - ((8 + 20 + 40 + 20 + 9\ 100 + 8) \text{MOD } 48) = 20$$

Y entonces la utilización de la PDU es:

$$\eta = \frac{9\ 100}{(8 + 20 + 40 + 20 + 9\ 100 + 20 + 8)} = \frac{9\ 100}{9\ 224} = 0,986$$

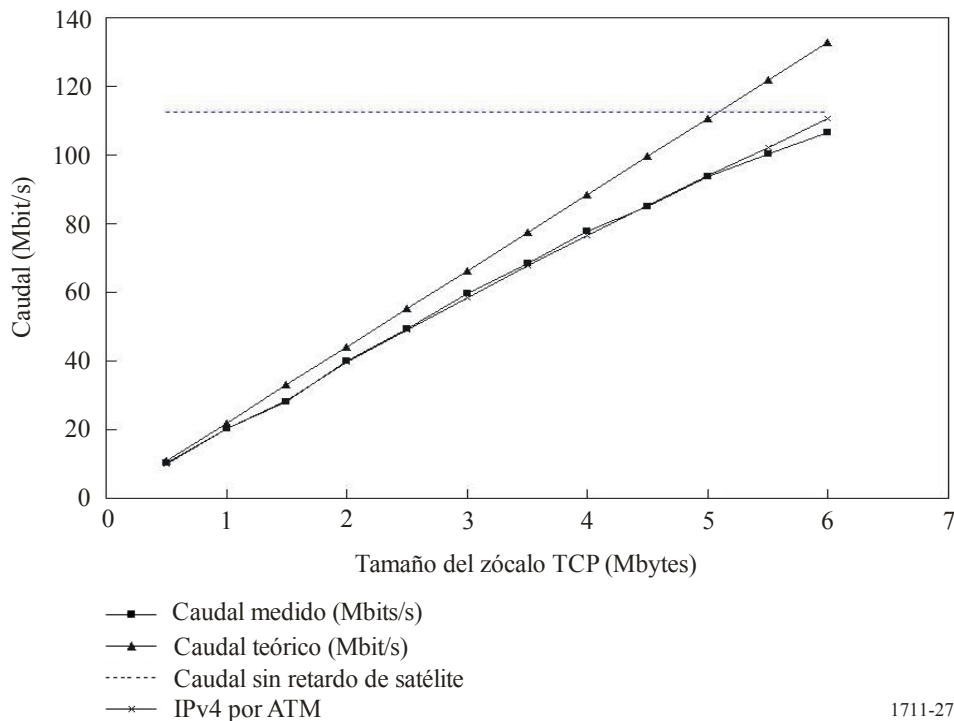
La velocidad neta de células del STM-1 es de unos 149 Mbit/s y la anchura de banda de la carga útil de 48 bytes en las células ATM es de unos 134,94 Mbit/s. Por tanto, la anchura de banda máxima teórica del TCP en la red OC-3 viene dada por:

$$BW_{TCP} = 134,94 \cdot \eta \cong 133,05 \text{ Mbit/s}$$

La Fig. 27 muestra el caudal TCP con diversos tamaños del zócalo (o la ventana) TCP. Cuando el tamaño del zócalo TCP era de 6 Mbytes, se obtenían caudales de 113 Mbit/s utilizando IPv4 y de 106 Mbit/s utilizando IPv6. El rendimiento era del 95% de los caudales sin ningún retardo de satélite. Se medía entonces el caudal TCP en la red ATM con un retardo de ida y vuelta en el satélite OSG de 540 ms.

FIGURA 27

Caudal TCP de la red ATM por satélite con diversos tamaños de ventana TCP



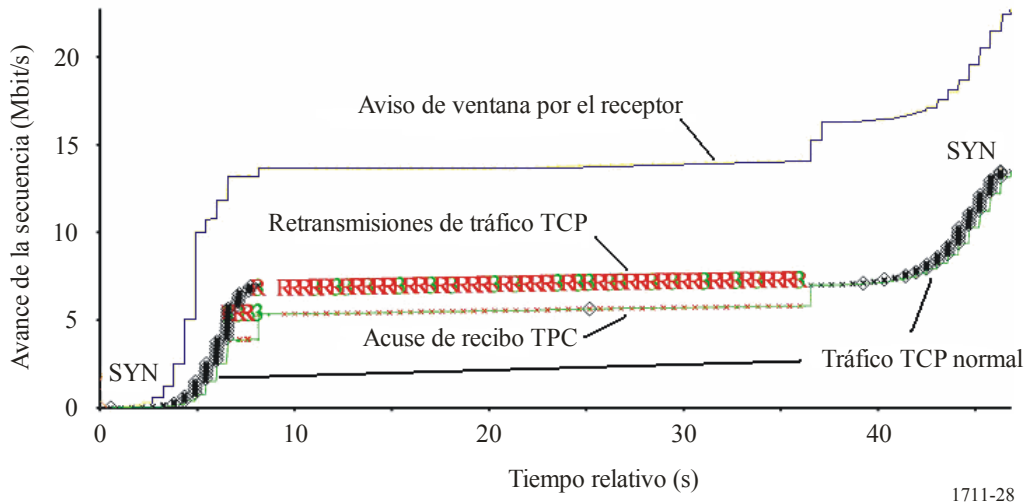
1711-27

4.3 Comportamientos TCP en redes heterogéneas que incluyen enlaces por satélite

El próximo paso consistió en medir el caudal TCP cuando la fuente estaba situada en una subred de gigabits y el destino emplazado en otra subred de gigabits. Cuando se fijaba el tamaño del zócalo TCP en unos 6 Mbytes en la red con retardo de satélite de 540 ms, el caudal máximo era únicamente de unos 2 a 3 Mbit/s. Ello es debido al carácter de ráfagas del tráfico TCP cuando se fijan tamaños de ventana TCP grandes para lograr un buen caudal en redes lentas de banda ancha (LFN). Cuando se aumenta el tamaño de la ventana TCP para utilizar toda la anchura de banda de la LFN, el tráfico TCP va en ráfagas, porque la interfaz física del emisor (es decir, la Ethernet de gigabits) es más rápida que la red medular ATM. El encaminador intermedio debe tener una gran memoria tampón para evitar las pérdidas de paquetes. Los encaminadores actuales no tienen memorias tampón suficientemente grandes que permitan tamaños de ventana TCP grandes. Por tanto, las pérdidas de paquetes del encaminador intermedio degradan el caudal TCP. La Fig. 28 muestra el gráfico de la secuencia del emisor TCP. En los primeros 8 s, hay un arranque lento TCP. A medida que aumenta el tamaño de la ventana TCP, hay pérdidas de paquetes debidas al

desbordamiento de la memoria tampón en el encaminador intermedio. Hay múltiples retransmisiones debidas a estas pérdidas de paquetes. El TCP reinicia el comportamiento de arranque lento tras un intervalo largo (unos 27 s más tarde). Este esquema de transmisión (pérdidas y retransmisión) se repite y las características generales del caudal TCP empeoran.

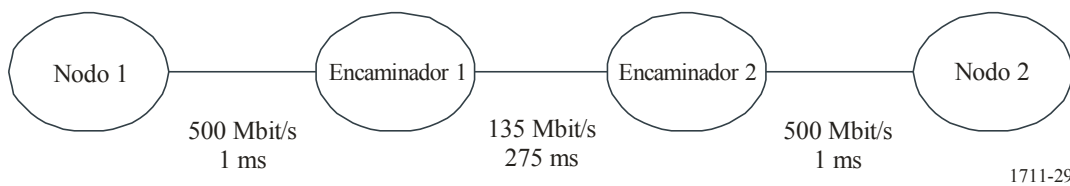
FIGURA 28
Gráfico de la secuencia TCP en la fuente del tráfico TCP



4.3.1 Simulación del tamaño de la memoria tampón

El tamaño de la memoria tampón del encaminador intermedio puede evaluarse mediante cálculos y simulación. La Fig. 29 muestra la configuración del modelo de simulación utilizando un simulador de red. Para la simulación, la anchura de banda TCP disponible máxima en la red gigabit y en la red ATM se fijan en 500 Mbit/s y 135 Mbit/s, respectivamente.

FIGURA 29
Configuración del modelo de simulación



El retardo de la subred de gigabits es despreciable comparado con el retardo en el satélite OSG del enlace ATM y el MSS de la Ethernet es de 1 430 en IPv6. Por tanto, el tamaño de la ventana TCP requerida es:

$$W = \frac{BW \cdot RTT}{8} = \frac{135 \times 10^6 \times 0,540}{8 \times 1\,430} \cong 6\,374 \text{ paquetes}$$

siendo $R1$ y $R2$ las velocidades de paquetes de la red de gigabits y de la red ATM, respectivamente ($R1 > R2$), y habiendo fijado el acuse de recibo TCP mediante $R2$ (el enlace inferior en la conexión de extremo a extremo). La velocidad de paquetes en la fase de arranque lento es $R1 = 2 \times R2$,

porque el emisor TCP transmite dos paquetes cuando recibe un ACK. Suponiendo que $W_{m\acute{a}x}$ es el tama\~no m\`aximo de la ventana TCP durante el arranque lento, el n\`umero de paquetes en la cola del encaminador intermedio viene dado por:

$$P(t) = [R1 - R2] \cdot t = [2 \cdot R2 - R2] \cdot t = R2 \cdot t$$

$$t = \frac{T}{R2}, 2 \cdot \frac{T}{R2}, 3 \cdot \frac{T}{R2} \dots \leq \frac{W_{m\acute{a}x}}{2 \cdot R2}$$

donde T es el tiempo de arranque de la ventana TCP durante el arranque lento.

Por tanto, el tama\~no m\`aximo del paquete en la cola es:

$$P\left(\frac{W_{m\acute{a}x}}{2 \cdot R2}\right) = R2 \cdot \frac{W_{m\acute{a}x}}{2 \cdot R2} = \frac{W_{m\acute{a}x}}{2}$$

Es decir, durante el arranque lento, el emisor env\`ia el doble de ACK que recibe a lo largo de un intervalo RTT. La memoria tamp\~on de la cola requerido del nodo intermedio es la mitad del tama\~no m\`aximo de la ventana TCP porque al principio del RTT el encaminador recibe una velocidad doble de la que env\`ia con lo que vac\`ia la cola en la siguiente mitad del RTT. Cuando la anchura de banda m\`axima disponible del TCP en la red de gigabits y en la red ATM son de 500 Mbit/s y 135 Mbit/s respectivamente, el tama\~no requerido te\~orico de la memoria tamp\~on de la red experimental es de unos 3 187 paquetes. Las Figs. 30 y 31 son el resultado de la simulaci\~on utilizando un simulador de red-2. La Fig. 30 muestra la secuencia TCP, el ACK y el n\`umero de paquetes en la cola intermedia. La Fig. 31 muestra el caudal TCP durante los primeros 10 s del emisor y del receptor. El caudal m\`aximo se obtiene cuando el tama\~no de la memoria tamp\~on TCP es de unos 6 374 paquetes y en ese momento, el m\`aximo de la cola del encaminador intermedio era de 2 279 paquetes.

FIGURA 30

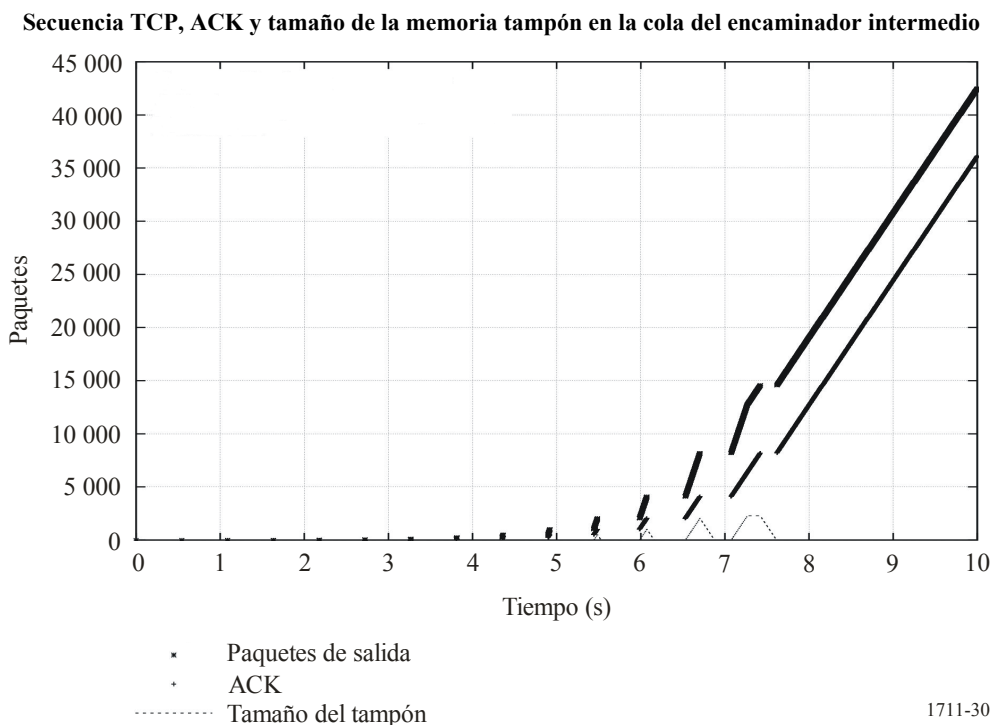
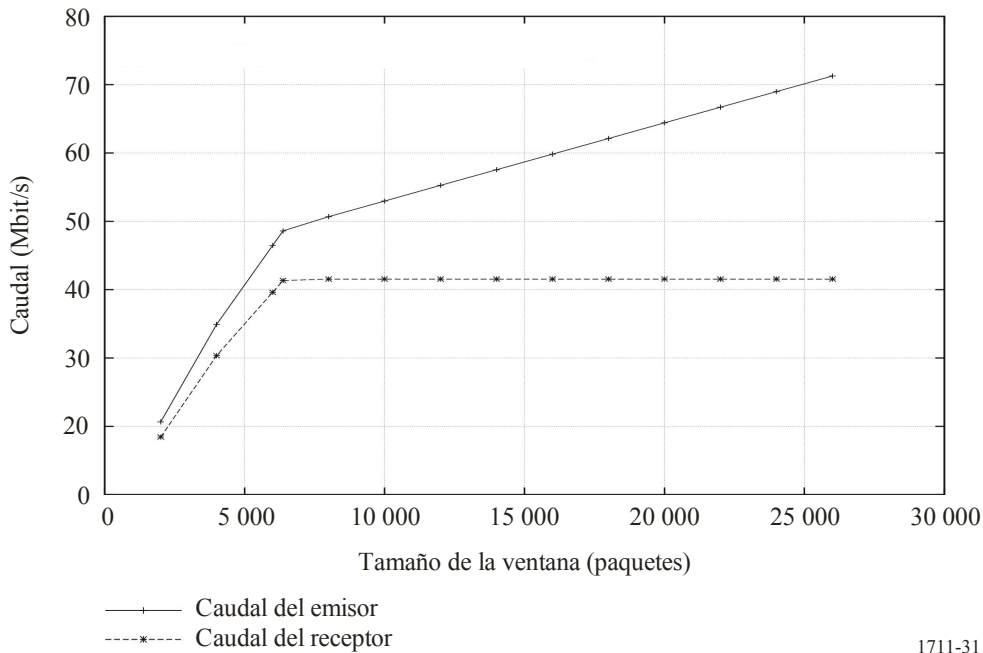


FIGURA 31

Caudales TCP con diversos tamaños de memoria tampón



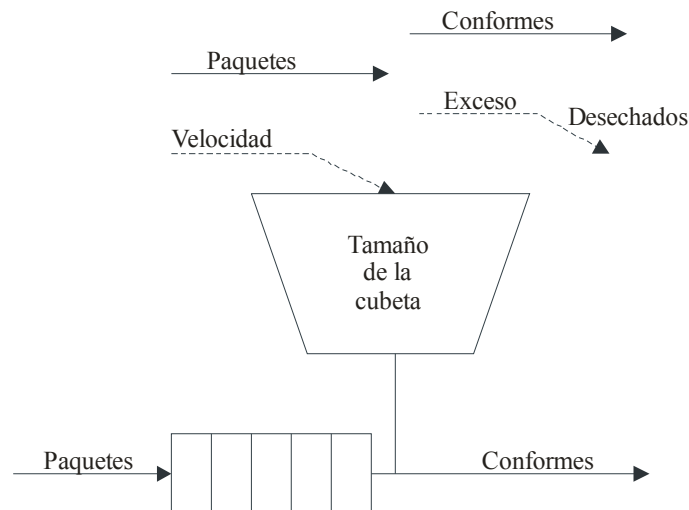
1711-31

4.3.2 Características del TCP con control del tráfico en el emisor TCP

Se utilizó a continuación un mecanismo de conformación del tráfico denominado TBF (*token bucket filter* – filtro de cubeta de testigos, que tiene soporte de la opción de interfuncionamiento de redes avanzada Linux). El TBF regula la velocidad del tráfico por ráfagas TCP. La Fig. 32 muestra los parámetros básicos de la disciplina de cola TBF. *Rate* es la velocidad de relleno de la cubeta con testigos – que representa la velocidad media de transmisión de un flujo de tráfico. El *bucket size* o *burst size* es el número de testigos que puede almacenar la cubeta. El parámetro *limit* es la suma del tamaño de la cubeta y del tamaño de la cola. Si el límite es igual al tamaño de la cubeta y la cola es cero, se descartan los paquetes no conformes. De esta manera se limpia el tren. Si el límite es superior al tamaño de la cubeta algunos de los paquetes no conformes se introducen en la cola.

FIGURA 32

Parámetros básicos para la disciplina de cola TBF



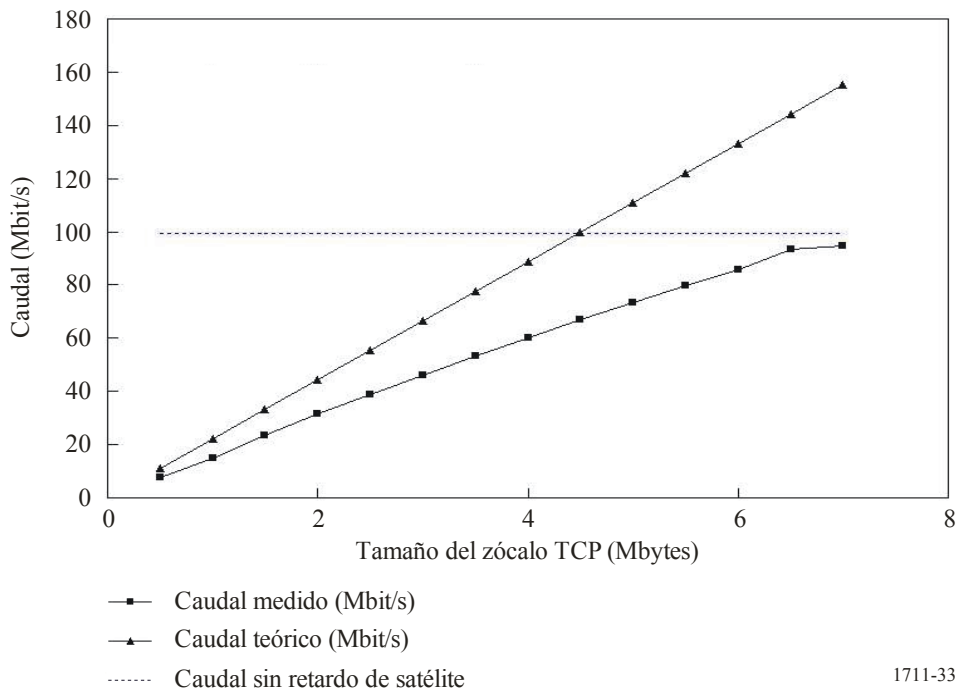
Tamaño de la cola = limit – tamaño de la cubeta

1711-32

La Fig. 33 muestra el caudal TCP con diversos tamaños de zócalo TCP cuando se utiliza el TBF en el emisor TCP con un tamaño fijo de ventana TCP de 6 Mbytes (a efectos de comparación, también se muestra el caso en que no hay retardo del satélite). La Fig. 34 muestra el caudal TCP con diversos tamaños de la cubeta de testigos. Una cubeta de testigos de 120-130 kbits se traduce en el caudal óptimo. Por encima de 130 Mbytes de tamaño de la cubeta, hay pérdidas de paquetes en el encaminador intermedio debidas al carácter por ráfagas del tráfico TCP.

FIGURA 33

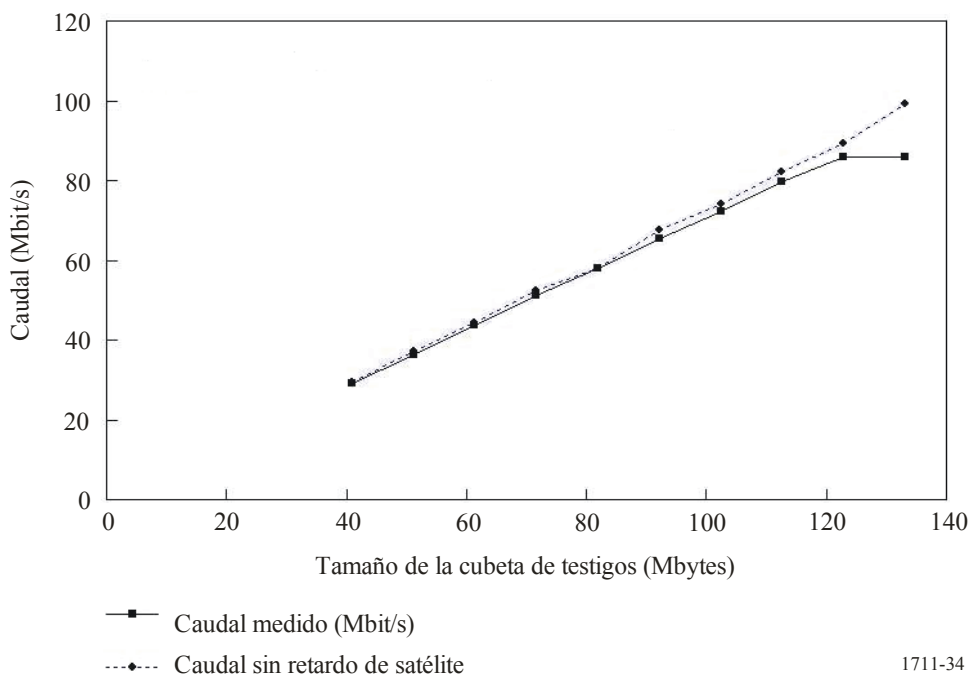
Caudales TCP con diversos tamaños de zócalo TCP cuando se utiliza el TBF en el emisor TCP



1711-33

FIGURA 34

Caudales TCP con diversos tamaños de cubeta de testigos



1711-34

4.4 Resumen

Se midió el caudal TCP y se analizaron los comportamientos internos TCP en la red heterogénea de alta velocidad, incluyendo el enlace de satélite OSG:

A continuación se resumen los resultados experimentales:

1 Para un caudal máximo TCP de 155 Mbit/s por una red de satélite, se necesita un tamaño aproximado del zócalo TCP de 6 Mbytes.

2 Cuando la fuente TCP está en otra red más rápida que la red medular ATM por satélite, se precisan mecanismos para reducir el tráfico por ráfagas debido al gran tamaño de la ventana TCP. Pueden considerarse dos soluciones: una gran memoria tampón en los encaminadores intermedios o el control del tráfico en la fuente TCP. Para tampones grandes en los encaminadores intermedios, se estimó el tamaño del tampón de la cola para evitar pérdidas de paquetes debidas a las ráfagas del tráfico TCP, y se verificó mediante simulación. Alternativamente, se consideró un mecanismo de control del tráfico en la fuente TCP: se logró un caudal de 95 Mbit/s (es decir, el 95% del caudal máximo sin retardo de satélite).

3 La opción de escala de ventana TCP para ventanas TCP grandes es una de las soluciones encaminadas a mejorar la calidad del TCP en redes con gran retardo que incluyen un enlace por satélite OSG. La utilización de ventanas TCP grandes en redes de gran retardo mejora el caudal hasta casi el 90% del máximo teórico. Pero las ventanas TCP grandes generan tráfico por ráfagas en un corto espacio de tiempo. Especialmente en el caso de una red heterogénea compuesta de distintos medios físicos y de diferentes protocolos de control de la capa de enlace, hay pérdidas de paquetes graves en el encaminador intermedio debidas a las ráfagas de tráfico. Para evitar esta situación, el diseñador de la red debe considerar posibles soluciones y verificarlas mediante experimentos.

5 Características del TCP en las redes de acceso por satélite

Este punto presenta los resultados de las pruebas efectuados por Star One, una compañía brasileña de satélites. El § 5.1 describe la arquitectura de la red utilizada en las pruebas. El § 5.2 ilustra las mediciones de la calidad del sistema utilizando una división de tres segmentos e incluye los resultados de éstas. En el § 5.3 se extraen algunas conclusiones de los resultados de las mediciones contenidos en el § 5.2.

5.1 Arquitectura de la red y configuración

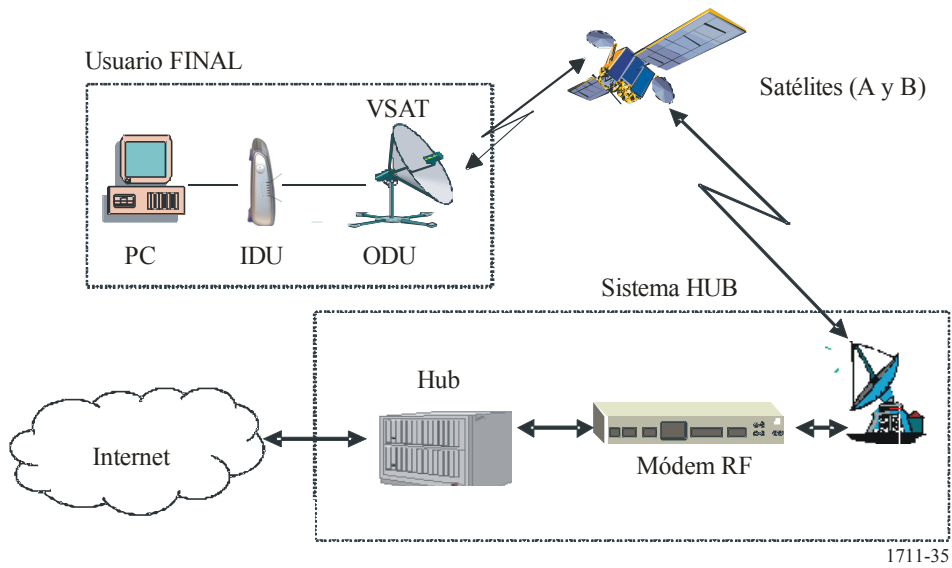
5.1.1 Arquitectura de la red

La arquitectura de la red incluye un núcleo (Hub) con un tren DVB-S (de salida) y un enlace inverso patentado (de entrada). El Hub central está conectado a una red medular Internet. La Fig. 35 muestra la arquitectura del sistema utilizado para obtener los datos de calidad.

Los acuses de recibo locales HV y VSAT mejora la calidad del TCP eliminando la limitación de las ventanas. Los acuses de recibo locales eliminan el mecanismo de arranque lento y mejoran la eficacia del caudal TCP. La compresión de los encabezamientos IP utilizada en esta prueba reduce la tara del sistema e incrementa la eficacia.

FIGURA 35

Arquitectura de la red



5.1.2 Configuración

5.1.2.1 VSAT y características del satélite

Hay dos satélites geoestacionarios que funcionan en las gamas de 14 068 kHz a 14 214 kHz (enlace ascendente) y 11 774 kHz a 11 919 kHz (enlace descendente).

Cada plataforma utiliza un enlace directo (de salida) de 48 Mbit/s y 140 canales de retorno (de entrada) de 76,8 kbit/s.

Esto constituye tres agrupaciones (Agrupación 1, Agrupación 2 y Agrupación 3) que utilizan dos satélites diferentes (satélite A y satélite B) en la banda de frecuencias de 14/11 GHz con un total de 8 000 VSAT estaciones instaladas en el territorio de Brasil. El RTT considerado es de 800 ms.

A continuación se indican las características de las agrupaciones:

Agrupación 1 (Satélite A): Se divide en 3 HSP con unos 1 200 VSAT.

Agrupación 2 (Satélite A): Se divide en 3 HSP con unos 3 200 VSAT.

Agrupación 3 (Satélite B): Se divide en 4 HSP con unos 3 600 VSAT.

Las características de los VSAT se indican en el Cuadro 15. Las diversas relaciones E_b/N_0 necesarias en el enlace de salida se indican en el Cuadro 16.

CUADRO 15

Características del VSAT

| Agrupaciones utilizadas | Tamaño de la antena (m) | Potencia del amplificador de potencia de estado sólido (W) | Velocidad máxima en el enlace de entrada (kbit/s) | Velocidad máxima de salida (kbit/s) |
|-------------------------|-------------------------|--|---|-------------------------------------|
| 1, 2 y 3 | 0,96 | 1 | 50 | 320 |

CUADRO 16

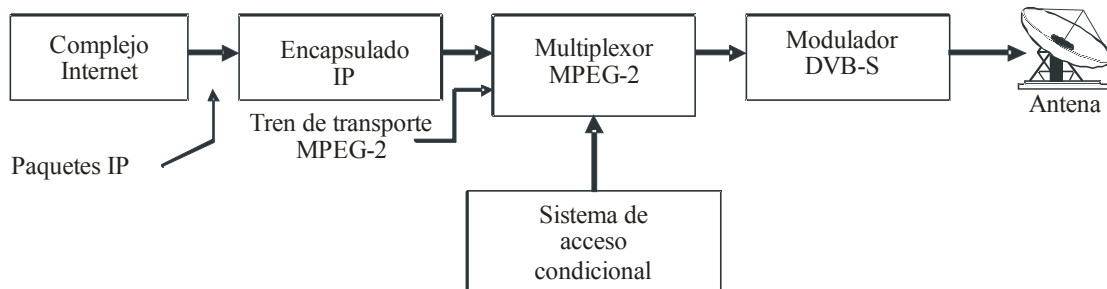
Características del enlace de salida

| Relaciones FEC | Modo DVB-S |
|----------------|-----------------------|
| | E_b/N_0 mínima (dB) |
| 1/2 | 4,5 |
| 2/3 | 5,0 |
| 3/4 | 5,5 |
| 5/6 | 6,0 |
| 7/8 | 6,4 |

5.1.2.2 Protocolos

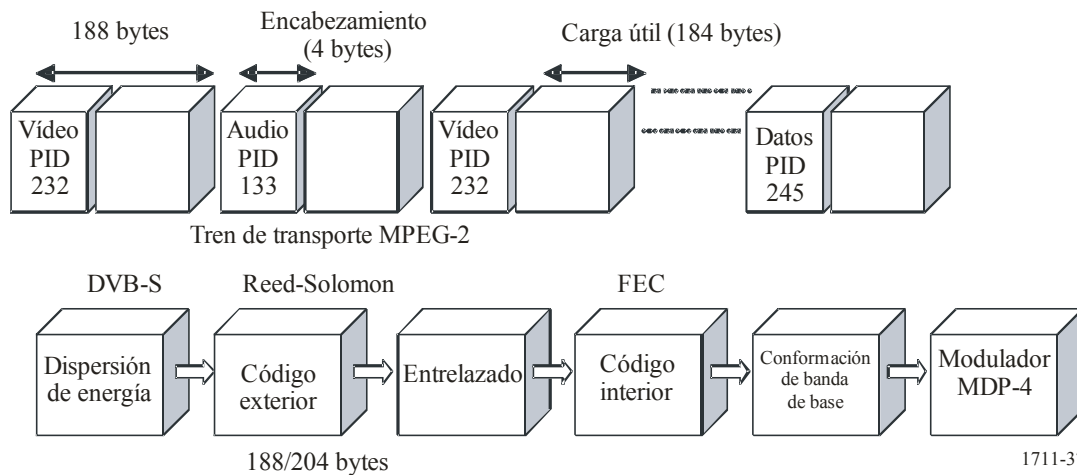
El protocolo utilizado en el enlace ascendente desde la unidad Hub al VSAT (salida) es un tren de transporte MPEG-2 por DVB-S. Los paquetes IP se encapsulan, multiplexan y modulan en la unidad Hub, como se describe en las Figs. 36 y 37.

FIGURA 36
MPEG por DVB-S



1711-36

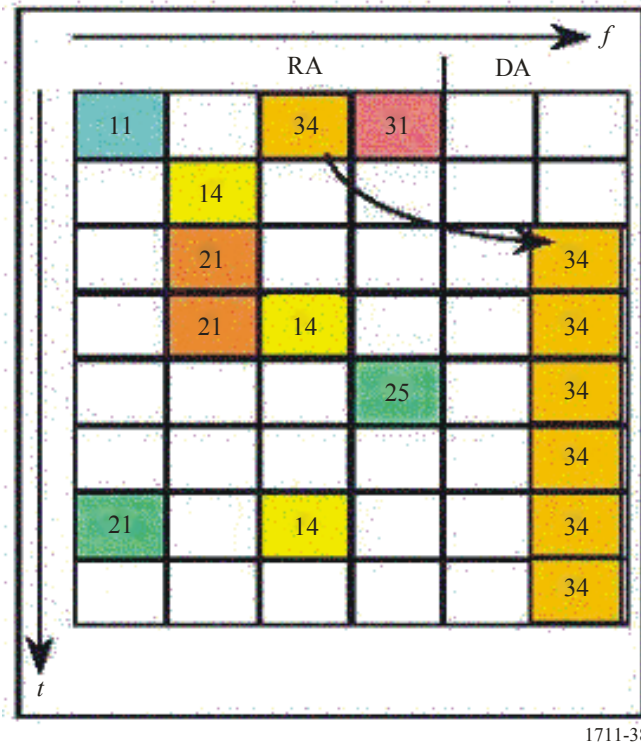
FIGURA 37
Tren de transporte MPEG



1711-37

Los canales inversos (enlace de entrada) son canales MF-AMDT, divididos en canales de acceso aleatorio (RA) y canales de acceso especializado (DA), tal como se representa en la Fig. 38.

FIGURA 38
Canales inversos



5.2 Resultados de las mediciones de calidad

La medición de la disponibilidad incluía las Agrupaciones 1, 2 y 3. La medición del caudal y del tráfico sólo incluía las Agrupaciones 2 y 3.

5.2.1 Disponibilidad

El Cuadro 17 muestra la disponibilidad de cada agrupación y la disponibilidad e indisponibilidad del sistema debidas a la lluvia y a otras condiciones atmosféricas en cada mes de 2003.

5.2.2 Caudal

Los Cuadros 18 y 19 muestran el caudal medio de las Agrupaciones 2 y 3 (respectivamente) y sus HSP asociados. Se realizaron unas 200 mediciones al día durante todos los días de febrero de 2004.

CUADRO 17

Disponibilidad del sistema de salida

| Mes | Agrupaciones | | | Indisponibilidad total del sistema de salida debida a la lluvia, centelleo, etc. |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--|
| | Agrupación 1 | Agrupación 2 | Agrupación 3 | |
| Enero | 100,0 | 99,0 | N/A | 1,4% |
| Febrero | 100,0 | 100,0 | N/A | 1,1% |
| Marzo | 99,9 | 100,0 | N/A | 0,2% |
| Abril | 100,0 | 100,0 | N/A | 0,0% |
| Mayo | 100,0 | 100,0 | 99,9 | 0,0% |
| Junio | 100,0 | 100,0 | 99,9 | 0,0% |
| Julio | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 0,0% |
| Agosto | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 0,0% |
| Septiembre | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 0,0% |
| Octubre | 99,9 | 99,9 | 99,9 | 0,0% |
| Noviembre | 100,0 | 99,9 | 100,0 | 0,1% |
| Diciembre | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 0,1% |
| Media anual | 100,0 | 99,9 | 100,0 | 0,2% |

CUADRO 18

Caudal medio de la Agrupación 2

| | Caudal medio por día (kbit/s) | | | |
|---------|-------------------------------|--------|--------|--------|
| | Agrupación 2 | HSP 1 | HSP 2 | HSP 3 |
| Medio | 308,97 | 310,33 | 309,02 | 307,58 |
| Mediano | 307,66 | 311,76 | 309,50 | 306,63 |
| Máximo | 319,11 | 317,44 | 321,36 | 324,09 |
| Mínimo | 302,13 | 304,03 | 299,06 | 298,70 |

CUADRO 19

Caudal medio de la Agrupación 3

| | Caudal medio por día (kbit/s) | | | | |
|---------|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | Agrupación 3 | HSP 1 | HSP 2 | HSP 3 | HSP 4 |
| Medio | 253,05 | 247,09 | 251,04 | 266,74 | 266,74 |
| Mediano | 253,24 | 246,87 | 252,15 | 266,99 | 266,99 |
| Máximo | 262,35 | 256,94 | 259,45 | 282,42 | 282,42 |
| Mínimo | 243,98 | 237,55 | 241,94 | 249,46 | 249,46 |

5.2.3 Tráfico

Los Cuadros 20 y 21 muestran el tráfico entrante total de las Agrupaciones 2 y 3 (respectivamente) medido durante todos los días de febrero de 2004.

CUADRO 20

Tráfico de la Agrupación 2

| | Tráfico total cada día (Gbyte) | | | |
|---------|-----------------------------------|-------|-------|-------|
| | Agrupación 2 | HSP 1 | HSP 2 | HSP 3 |
| Medio | 6,08 | 5,72 | 6,21 | 6,30 |
| Mediano | 7,02 | 6,60 | 7,00 | 7,00 |
| Máximo | 7,65 | 7,57 | 8,10 | 7,99 |
| Mínimo | 3,56 | 3,15 | 3,80 | 3,51 |

CUADRO 21

Tráfico de la Agrupación 3

| | Tráfico total cada día (Gbyte) | | | | |
|---------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | Agrupación 3 | HSP 1 | HSP 2 | HSP 3 | HSP 4 |
| Medio | 4,84 | 5,44 | 4,58 | 5,74 | 3,58 |
| Mediano | 5,33 | 6,26 | 4,65 | 6,35 | 3,88 |
| Máximo | 6,33 | 7,44 | 6,34 | 7,54 | 5,14 |
| Mínimo | 2,64 | 2,79 | 2,39 | 2,63 | 1,89 |

5.3 Resumen

Las pruebas llevadas a cabo sobre redes VSAT diseñadas para proporcionar conectividad IP en Brasil han demostrado que la división en tres segmentos así como la compresión del encabezamiento IP permiten ofrecer un caudal medio próximo al caudal máximo teórico. Este método también garantiza una buena estabilidad del caudal medio a lo largo del periodo de un mes.

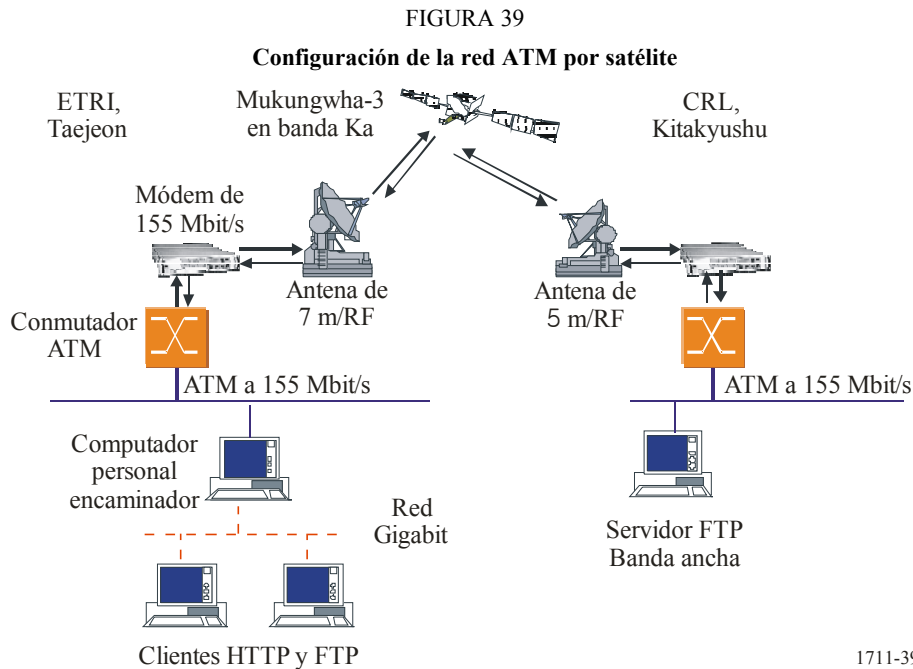
6 Mediciones del protocolo de aplicación (FTP y HTTP)

ETRI en Corea y CRL en Japón iniciaron en el año 2000 el experimento conjunto Corea-Japón de comunicación por satélite con gran velocidad de datos. Se ensayaron dos aplicaciones TCP típicas – FTP y HTTP – por una red ATM de satélite. La transmisión de FTP y HTTP se efectuó a través del satélite MUKUNGWHA-3 en banda Ka.

El § 6.1 describe la configuración de la red para el experimento. En el § 6.2 se presentan los resultados experimentales de las pruebas efectuados con FTP. El § 6.3 presenta brevemente el HTTP y muestra los resultados experimentales de las pruebas efectuados con dicho HTTP. En el § 6.4 se resumen las conclusiones.

6.1 Configuración de la red ATM por satélite

La Fig. 39 muestra las configuraciones de la red de gran velocidad ATM por satélite Corea-Japón. Para este experimento conjunto, se instalaron dos estaciones terrenas con antenas de 7 m en ETRI, Corea y de 5 m en CRL, Japón, respectivamente. Las especificaciones principales de la red ATM por satélite Corea-Japón se indican en el § 4.1.



1711-39

El servidor para FTP y HTTP se instaló en CRL, utilizando un computador personal con sistema Linux. El servidor se conectó directamente a la red ATM. En ETRI, se instalaron dos computadores personales en modo cliente con los sistemas Windows 2000 y Linux, respectivamente los cuales se conectaron a un computador personal encaminador que tenía dos interfaces de red: ATM y Ethernet gigabit. Se interconectaron una subred de gigabits y un servidor mediante una red ATM por satélite.

Para el experimento FTP, se utilizó un sistema NCFTP 3.0 como cliente FTP y uno WUFTPD 2.6.1 como servidor. Este último permite establecer el tamaño máximo de la ventana TCP en el valor del sistema operativo. El NCFTP implementa la opción de cambio de escala de la ventana TCP.

Para el experimento HTTP, se utilizó un sistema Apache 1.3.12 como servidor de la red que explotaba el sistema Linux. El tamaño de la ventana TCP se fijó en 10 Mbytes. A fin de supervisar el funcionamiento interno y el comportamiento de las unidades HTTP 1.0 y HTTP 1.1, se utilizaron dos ojeadores de la Red: Netscape 4.77 versión Linux para el HTTP 1.0 y Webbot 5.2.8 de W3C para el HTTP 1.1. Cuando a petición del cliente se encontraban las páginas de la red, todos los paquetes transferidos se recuperan en el lado del cliente utilizando instrucciones tcpdump y se aplicaba el post-procesamiento empleando un módulo tcptrace HTTP. En el experimento HTTP se utilizaron cinco páginas típicas que se describen en el Cuadro 22.

CUADRO 22

Detalles de las páginas

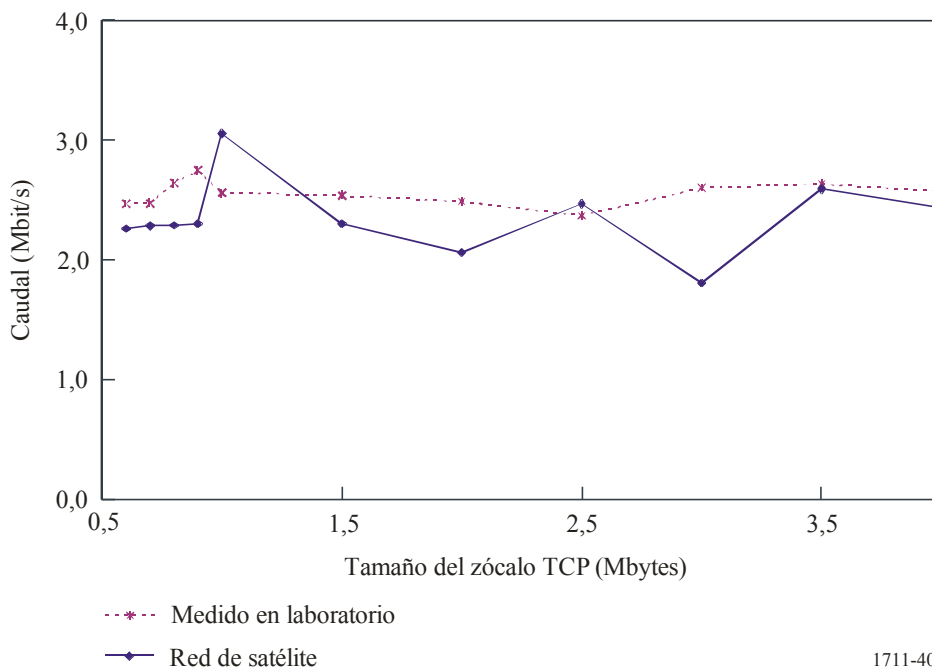
| Página de la red | Número de elementos | Tamaño de la página (bytes) |
|------------------|---------------------|-----------------------------|
| China2008 | 30 | 212 207 |
| CRL | 21 | 80 333 |
| FIFA | 33 | 176 105 |
| LionKing | 16 | 393 672 |
| RBLAB | 8 | 72 103 |

6.2 Caudal FTP por enlace de satélite OC-3

El objetivo era medir el caudal de una conexión FTP por un enlace ATM de satélite. Para facilitar la comparación, se midió también el caudal FTP por un enlace a 155 Mbit/s sin retardo de satélite: se obtuvo un caudal de 118,32 Mbit/s con un tamaño de zócalo TCP de 64 kbytes (es decir, 87,5% del caudal teórico). Suponiendo un tamaño de fichero de unos 92,1 Mbytes, se midió el caudal FTP, modificando el tamaño del zócalo tampón TCP. La Fig. 40 muestra el caudal FTP utilizando un enlace de satélite simulado y uno real.

FIGURA 40

Caudal FTP por una red de satélite a 155 Mbit/s

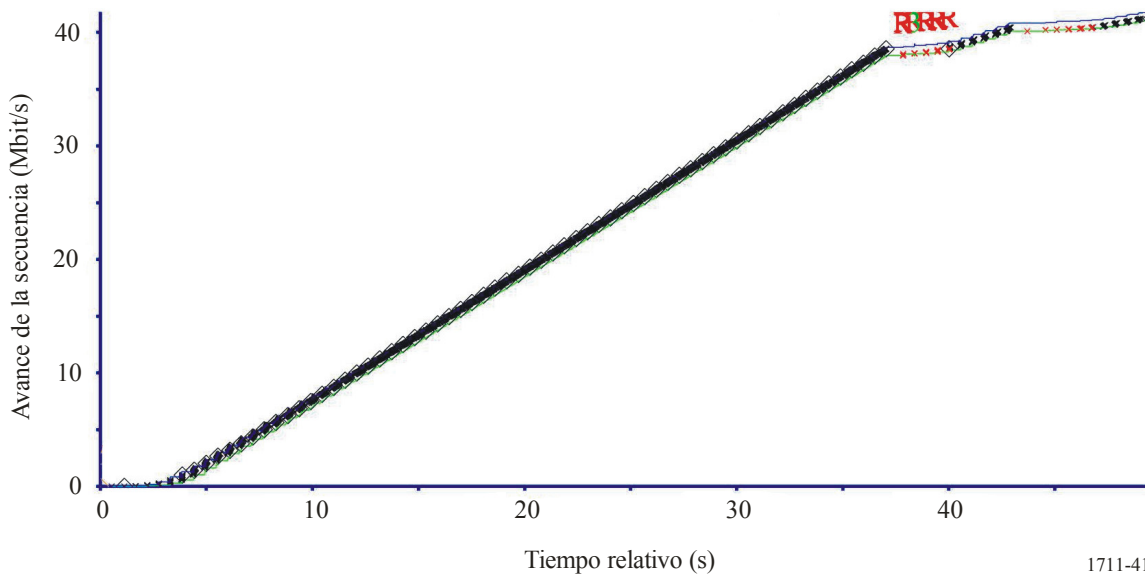


1711-40

En el caso del FTP, hay múltiples factores que afectan a las características del caudal, tales como la utilización de la CPU, la entrada/salida del disco y la atribución de la memoria interna para los excitadores de la red y del disco. Las Figs. 41 y 42 respectivamente muestran la secuencia temporal TCP y la ventana de congestión TCP para un tamaño del zócalo tampón TCP de 1 Mbyte. Durante los primeros 38 s, la transferencia de ficheros fluía normalmente y posteriormente hubo algunas pérdidas de datos que exigieron retransmisiones (pues el TCP considera las pérdidas de datos como

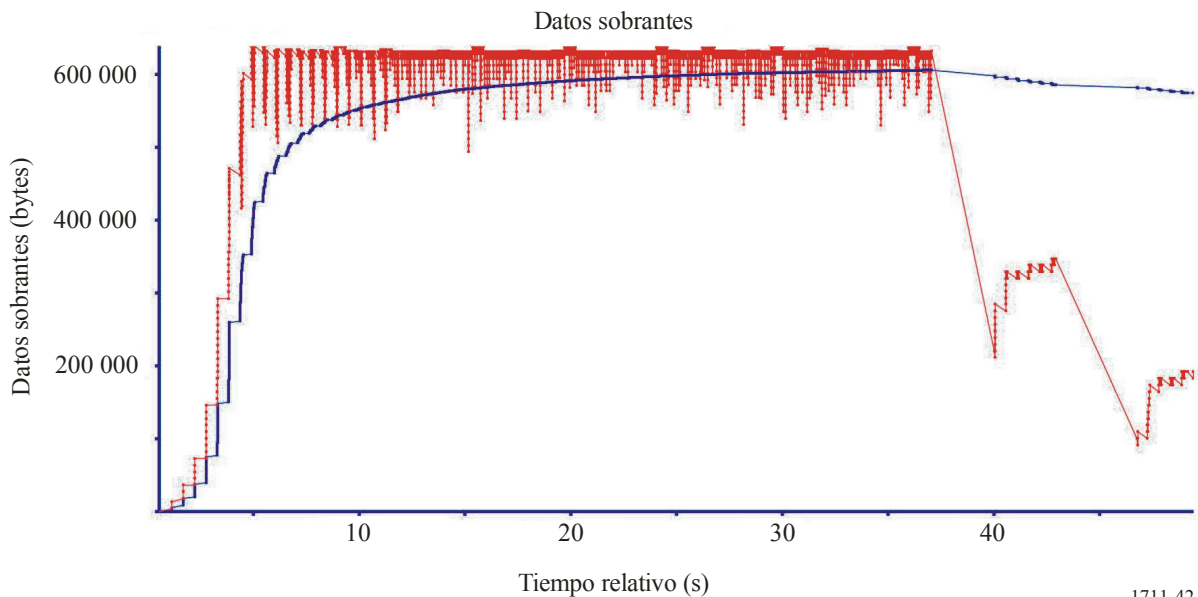
si fueran debidas a congestión de la red). En la Fig. 42, el mecanismo de congestión TCP reduce el tamaño de la ventana a la mitad. La Fig. 41 muestra otro arranque lento después de 38 s. Como resultado de ello, el caudal general se degrada seriamente. Por tanto, para el funcionamiento normal del FTP con grandes zócalos tampón TCP, deben configurarse otros parámetros y recursos del sistema tales como la atribución de memoria para la entrada/salida del disco y la interrupción del excitador de la red.

FIGURA 41
Gráfico de la secuencia temporal TCP
 (Tamaño del tampón TCP = 1 Mbyte)



1711-41

FIGURA 42
Gráfico de la ventana de congestión TCP
 (Tamaño del tampón TCP = 1 Mbyte)



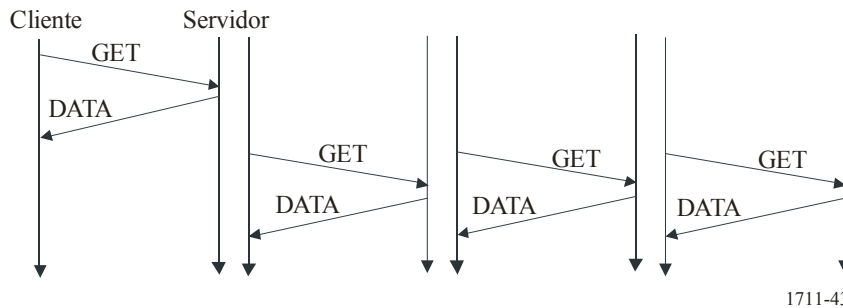
1711-42

6.3 Caudal HTTP por un enlace de satélite OC-3

6.3.1 HTTP 1.0 con conexiones no persistentes

En el HTTP 1.0, para descargar una página entera de la red, se requiere una conexión TCP por separado que recupera cada uno de los objetos HTTP contenidos en la página. La Fig. 43 muestra las interacciones entre los HTTP 1.0 cliente y servidor cuando una página incluye tres objetos. La página HTML de base se transfiere en primer lugar a través de una conexión TCP. Después, la conexión TCP se cierra y se establecen simultáneamente tres nuevas conexiones TCP para la descarga en paralelo de los objetos vinculados. Esta operación puede ser ineficaz pues las conexiones TCP simultáneas múltiples son una carga para la red.

FIGURA 43
HTTP 1.0 – Conexiones no persistentes

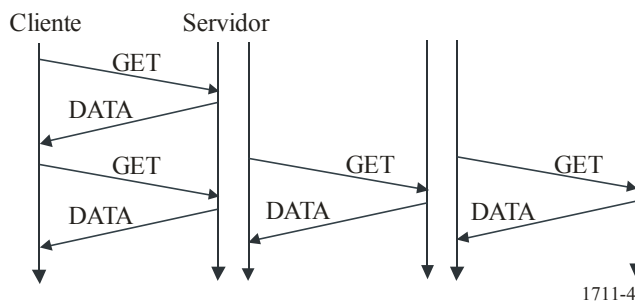


1711-43

6.3.2 HTTP 1.0 con opción «viva»

Algunos navegadores y servidores que utilizan el HTTP 1.0 incorporan la opción «viva» para superar la ineficacia descrita. Este método utiliza una conexión TCP para cursar múltiples peticiones HTTP. No obstante, los navegadores que implementan esta opción pueden también establecer múltiples conexiones TCP. La Fig. 44 muestra el funcionamiento de una conexión HTTP con la opción «viva». El documento de base y uno de los tres objetos se transfieren por la primera conexión TCP. Los otros dos objetos se transfieren a continuación a través de dos nuevas conexiones TCP.

FIGURA 44
HTTP 1.0 – Opción «viva»

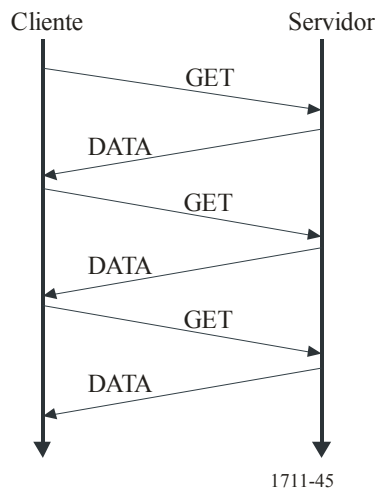


1711-44

6.3.3 HTTP 1.1 sin envío por conducto

La extensión «viva» que es un tipo de conexión persistente, se definió oficialmente en el HTTP 1.1. Las conexiones persistentes permiten efectuar múltiples peticiones. Las respuestas pueden incluirse en una única conexión TCP y no exigen múltiples conexiones TCP. El comportamiento del HTTP con conexiones persistentes se mejora porque rodea las múltiples fases de arranque lento que se producirían en caso contrario. La Fig. 45 muestra el mecanismo del HTTP 1.1 con conexión persistente. Los diferentes objetos se transfieren en serie. En el caso de un documento HTML de base y tres objetos, sólo se tarda cuatro RTT sin envío por conducto.

FIGURA 45
HTTP 1.1 sin envío por conducto

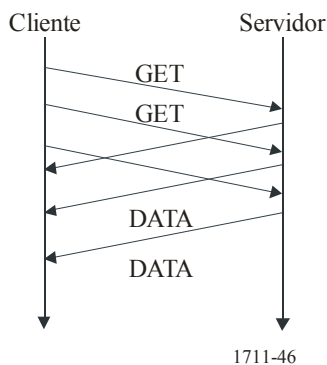


6.3.4 HTTP 1.1 con envío por conducto

HTTP 1.1 con envío por conducto permite enviar múltiples peticiones sin esperar una respuesta. El envío por conducto puede utilizarse para evitar múltiples retardos de ida y vuelta y mejorar el comportamiento, porque elimina el tiempo de reposo entre recuperaciones consecutivas de objetos.

La Fig. 46 muestra las interacciones entre el servidor y el cliente utilizando el HTTP 1.1 con envío por conducto. Por una única conexión TCP se transfieren un documento de base y tres objetos.

FIGURA 46
HTTP 1.1 con envío por conducto



6.3.5 Resultados del prueba

El objetivo principal era medir el comportamiento de la recuperación de páginas de la Red por una red de satélites que utiliza diversas versiones HTTP. El Cuadro 23 resume los resultados de la transferencia HTTP por una red de satélite para cinco páginas de referencia. Cuando se utilizaba el navegador Webbot, se establecía únicamente una conexión TCP (el HTTP 1.1 sólo necesita una conexión TCP). Cuando se utilizaba el navegador Netscape, el número de conexiones TCP establecidas se corresponde con el número de elementos vinculados a la página. En el caso del HTTP 1.0, cada conexión TCP es independiente de las otras. Es decir, cada conexión TCP aplica el arranque lento y el mecanismo de prevención de la congestión. Cuando se utilizaba el HTTP 1.0, se generaban más paquetes para transferir la página y los elementos correspondientes. El tiempo total de respuesta era menor que con el HTTP 1.1 sin la opción de envío por conducto. Esto significa que, en redes con retardo prolongado, si no hay congestión de la red, las conexiones simultáneas TCP múltiples pueden ser más eficaces que una sola (especialmente cuando el tamaño de los elementos es pequeño). No obstante, hay múltiples aspectos negativos (por ejemplo, la sobrecarga del servidor, la congestión de la red debida al mayor número de paquetes) en la utilización de múltiples conexiones coincidentes.

CUADRO 23

Características de la transferencia HTTP

| Página de la red | Navegador de red | Número de conexiones TCP | Número de paquetes | Tiempo total de respuesta (s) | Caudal medio (bit/s) |
|---|---------------------|--------------------------|--------------------|-------------------------------|----------------------|
| China2008 (30 objetos, 212 207 bytes) | Netscape 4.77 | 41 | 655 | 14,764 | 14 373 |
| | Webbot sin conducto | 1 | 306 | 21,158 | 10 030 |
| | Webbot con conducto | 1 | 318 | 4,363 | 48 638 |
| CRL (21 objetos, 80 333 bytes) | Netscape 4.77 | 22 | 307 | 8,642 | 9 296 |
| | Webbot sin conducto | 1 | 133 | 13,547 | 5 930 |
| | Webbot con conducto | 1 | 137 | 3,247 | 24 741 |
| FIFA (33 objetos, 176 105 bytes) | Netscape 4.77 | 34 | 551 | 13,054 | 13 491 |
| | Webbot sin conducto | 1 | 282 | 21,682 | 8 122 |
| | Webbot con conducto | 1 | 285 | 4,328 | 40 690 |
| LionKing (16 objetos, 393 672 bytes) | Netscape 4.77 | 14 | 660 | 8,277 | 47 562 |
| | Webbot sin conducto | 1 | 514 | 12,529 | 31 421 |
| | Webbot con conducto | 1 | 564 | 4,882 | 80 637 |
| RBLAB (8 objetos, 72 103 bytes) | Netscape 4.77 | 8 | 166 | 4,365 | 16 518 |
| | Webbot sin conducto | 1 | 104 | 6,540 | 11 025 |
| | Webbot con conducto | 1 | 119 | 3,822 | 18 865 |

Cuando se efectúa la petición de una página de la Red, el navegador emite una instrucción HTTP GET para el documento HTML de base. Un RTT más tarde, se recibirá el documento de base. A continuación, el navegador emite nuevas instrucciones GET para cada elemento vinculado al documento de base. Con la opción de envío por conducto del HTTP 1.1, estas instrucciones GET pueden generarse tan pronto como se reciba la referencia en el navegador, sin esperar a que concluya la transferencia actual de datos procedentes del servidor. En el caso HTTP 1.0, se establecen conexiones TCP por separado para la transferencia de cada elemento.

La Fig. 47 muestra la secuencia de petición de recuperación de elemento y de transferencia para la página RBLAB (siete elementos). El elemento 1 de las Figs. 47 b) y 47 c) representa el tiempo que dura toda la transferencia de la página de base y de los objetos asociados. Los otros tiempos representan los de transferencia de cada objeto. El elemento 2 es el primer documento procedente del servidor a petición del navegador. La duración de su transferencia es la misma, independientemente de la versión HTTP o las opciones. No obstante, los elementos indicados a continuación tienen distintos tiempos de arranque de la transferencia y duraciones, dependiendo de la versión HTTP y de las opciones. En el caso del HTTP 1.0 (véase la Fig. 47 a)), cuando se reciben los documentos de base, el navegador solicita múltiples GET para los objetos vinculados a la página de base. Por ello, se establece una serie de conexiones TCP mediante una toma de contacto triple con una petición de conexión diferente para cada elemento. Cuando la página RBLAB se carga por el HTTP 1.1 con la opción de conducto, la transferencia de los objetos siguientes se inicia tan pronto como se recibe el elemento de base. Sin la opción de conducto, la transferencia de otros objetos no puede iniciarse hasta que concluya la transferencia de los objetos anteriores. El HTTP 1.1 establece únicamente una conexión TCP, por lo que da lugar únicamente a un arranque lento.

Cuando se activa la opción de envío por conducto, se transfieren diversos elementos en la misma conexión que se presenta como una única transferencia en bloque. Muchos experimentos demuestran que las transferencias de datos en bloque tienen un buen rendimiento en las LFN, tales como las redes por satélite GSO. Así pues, parece que el HTTP 1.1 con la opción de conducto ofrece el rendimiento óptimo.

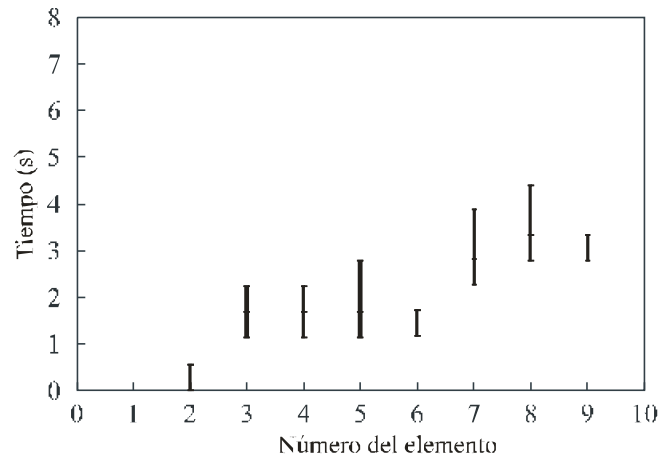
6.4 Resumen

El caudal FTP máximo era de unos 3 Mbit/s con un tamaño de zócalo TCP de 1 Mbytes. Con un tamaño de zócalo TCP de más de 1 Mbytes, el caudal se degrada. En el caso de transferencia de memoria a memoria por un canal de satélite, el caudal depende principalmente del tamaño de la ventana TCP. Aumentando el tamaño de la memoria tampón TCP para mejorar el caudal TCP se puede degradar el comportamiento FTP afectando a la entrada/salida del disco o a las atribuciones a la memoria del sistema.

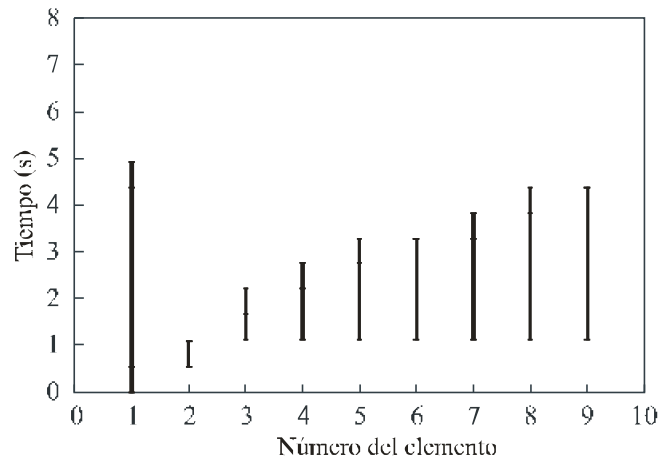
Como resultado de diversas medidas del caudal HTTP, se vio que el HTTP 1.1 con la opción de envío por conducto ofrecía las características óptimas.

FIGURA 47

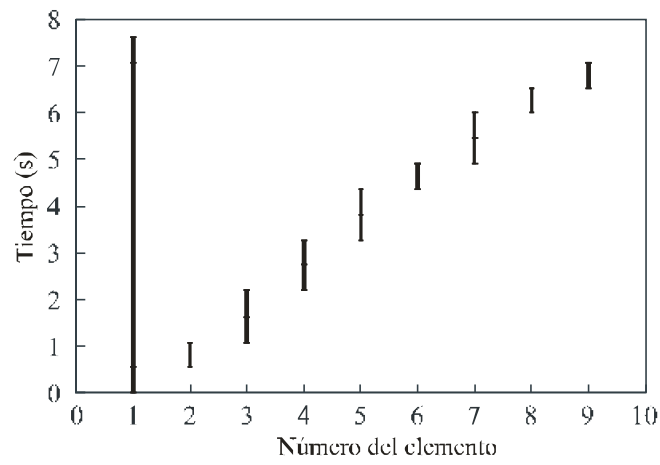
Página RBLAB y gráfico de su secuencia de transferencia de elementos



a) HTTP 1.0 sin opción (viva)



b) HTTP 1.1 con conducto (webbot)



c) HTTP 1.1 sin conducto (webbot)

7 Conclusiones

Los diversos resultados de pruebas y mediciones presentados en este anexo proporcionan orientaciones para el diseño de las mejoras de comportamiento TCP dependiendo de la configuración de la red de satélites.

Los siguientes resultados revisten especial importancia al diseñar una red de satélites:

- El caudal TCP no resulta afectado siempre que la BER del enlace por satélite sea mejor que 10^{-7} (véase el § 2).
 - Las técnicas de división pueden mejorar el caudal del tráfico basado en TCP en los enlaces por satélite (véase los § 2, 3 y 5).
 - Utilizando únicamente ocultación no se obtiene una mejora eficaz del comportamiento en el caso de direcciones web basadas en imágenes en movimiento o basadas en texto y debe en cualquier caso combinarse con la simulación (véase el § 3).
 - La utilización de grandes ventanas TCP en enlaces por satélite mejora el caudal hasta un 90% aproximadamente del máximo valor teórico, pero grandes ventanas TCP crean tráfico de ráfagas que a su vez puede dar lugar a pérdidas de paquetes en encaminadores intermedios debido a la saturación de la memoria tampón (véase el § 4).
 - La implementación de un mecanismo de control de tráfico en la fuente TCP puede dar lugar a un caudal de aproximadamente el 95% del caudal que se lograría sin retardo de satélite (véase el § 4).
 - El aumento del tamaño de la memoria tampón TCP mejora el caudal TCP pero a su vez puede degradar el comportamiento de la capa de aplicación afectando el sistema de entrada/salida del disco o las asignaciones en la memoria del sistema (véase el § 6).
 - En las redes que utilizan enlaces por satélite, HTTP 1.1 con opción de envío por conducto proporciona el mejor comportamiento en cuanto a caudal (véase el § 6).
-