

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1711

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

(Cuestión UIT-R 263/4)

(2005)

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 hace una presentación general de estas técnicas, las describe brevemente e indica las áreas donde mejoran el comportamiento del TCP por redes de satélites. También se indican los resultados de las pruebas y las mediciones llevadas a cabo para hacerse una idea más precisa de la eficacia de alguna de estas técnicas.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que recientemente se están utilizando los sistemas fijos por satélite 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 de 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 Anexo 1),

recomienda

- 1 que se consideren los modelos de referencia indicados en el Anexo 1 de 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 utilicen el Anexo 2 como orientación al implementar conexiones TCP en redes que incluyan enlaces de satélite.

NOTA 1 – El Anexo 3 contiene un conjunto de ensayos y mediciones efectuados para evaluar la eficacia de algunos de los métodos descritos en el Anexo 2 y ofrece informaciones valiosas para los diseñadores de sistemas de satélite.

ÍNDICE

Página

Anexo 1 – Modelos de referencia de sistemas de satélite.....	4
1 Alcance.....	4
2 Modelos de referencia	4
2.1 Enlaces punto a punto.....	6
2.2 Redes VSAT	7
2.2.1 Topología en estrella.....	7
2.2.2 Topología en malla.....	7
2.3 Acceso en banda ancha.....	8
3 Limitaciones del TCP en enlaces por satélite.....	8
3.1 Producto anchura de banda-retardo BDP	8
3.2 Arranque lento y prevención de la congestión	9
3.3 Retransmisión rápida y recuperación rápida.....	10
3.4 Efecto de los errores binarios en el caudal TCP	11
Anexo 2 – Metodologías de mejora del TCP.....	12
1 Alcance.....	12
2 Variaciones del TCP básico.....	12
3 Metodologías de división de segmentos.....	19
3.1 Metodología de división de dos segmentos	19
3.2 Metodología de división en tres segmentos.....	21
3.3 Análisis	22
4 Modelos de mejora de la calidad	22
4.1 Simulación TCP.....	23
4.2 Mecanismos PEP	23
4.3 Repercusiones de la utilización del PEP.....	23
4.3.1 Seguridad extremo a extremo	23
4.3.2 Fiabilidad de extremo a extremo.....	23
Anexo 3 – Ensayos y calidad medida de las mejoras del TCP	23
1 Alcance.....	23
2 Calidad del TCP con mejora de la división.....	24
2.1 Calidad de la conexión TCP única ensayada sin ninguna mejora	24
2.1.1 Pruebas de calidad de la conexión TCP única	24
2.1.2 TCP sin mejora de la calidad	24
2.1.3 Calidad de una conexión TCP única sin mejora de la calidad.....	24

	<i>Página</i>
2.2	División en dos segmentos 24
2.2.1	Configuración de las redes de satélite..... 24
2.2.2	Resultados de las pruebas 27
2.2.3	Conclusiones 34
2.3	División en tres segmentos 34
2.3.1	Configuración de las redes de satélite..... 34
2.3.2	Procedimientos de prueba 35
2.3.3	Resultados de las pruebas 35
2.3.4	Conclusiones 40
3	Características del TCP en una red ATM por satélite 41
3.1	Configuración de la red 41
3.2	Características del TCP en una red ATM únicamente por satélite 43
3.3	Comportamientos TCP en redes heterogéneas que incluyen enlaces de satélite 44
3.3.1	Simulación del tamaño del tampón 45
3.3.2	Características del TCP con control del tráfico en el emisor TCP..... 47
3.4	Conclusiones..... 49
4	Características del TCP en las redes de acceso por satélite..... 49
4.1	Arquitectura de la red y configuración 49
4.1.1	Arquitectura de la red..... 49
4.1.2	Configuración..... 50
4.2	Resultados de las mediciones de calidad 52
4.2.1	Disponibilidad 53
4.2.2	Caudal 57
4.2.3	Tráfico 59
5	Mediciones del protocolo de aplicación (FTP y HTTP) 61
5.1	Configuración de la red ATM por satélite 61
5.2	Caudal FTP por enlace de satélite OC-3..... 62
5.3	Caudal HTTP por un enlace de satélite OC-3 64
5.3.1	HTTP 1.0 con conexiones no persistentes 64
5.3.2	HTTP 1.0 con opción «viva» 65
5.3.3	HTTP 1.1 sin envío por conducto 65
5.3.4	HTTP 1.1 con envío por conducto 66
5.3.5	Resultados del ensayo 66
5.4	Conclusiones..... 69

Anexo 1

Modelos de referencia de sistemas de satélite

1 Alcance

Este Anexo presenta modelos de referencia de redes que incluyen un enlace de satélite, para cursar paquetes IP, y a ello le sigue una descripción de las limitaciones del TCP en los enlaces de satélite.

2 Modelos de referencia

Lista de abreviaturas

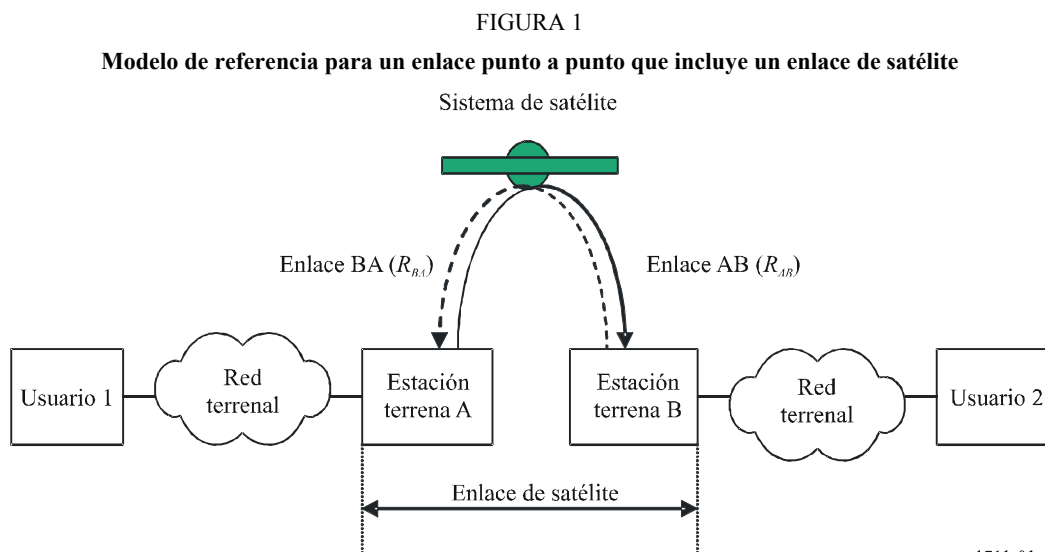
AAL	Capa de adaptación ATM (<i>ATM adaptation layer</i>)
ACK	Acuse de recibo (<i>acknowledgement</i>)
AMDT	Acceso múltiple por división en el tiempo
ATM	Modo de transferencia asíncrono (<i>asynchronous transfer mode</i>)
ATOP	Amplificador del tubo de ondas progresivas
BDP	Producto retardo/anchura de 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>)
EIRP (PIRE)	Potencia isotropa radiada equivalente
FEC	Corrección de errores directa
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
GSO	Órbita del satélite geoestacionario
GW	Pasarela (<i>gateway</i>)
HEO	Órbita muy elíptica
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 (<i>input/output</i>)
IP	Protocolo Internet
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
LEO	Órbita terrena baja
LFN	Red lenta de banda ancha (<i>long fat network</i>)
MEO	Órbita media de la Tierra
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	Tamaño del segmento máximo (<i>maximum segment size</i>)
MTU	Unidad de transmisión máxima (<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>)
PAD	Bytes de relleno (<i>padding bytes</i>)
PAWS	Protección contra secuencias desbordadas (<i>protect against wrapped sequence(s)</i>)
PC	Computador 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 directo
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
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>)
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
WAN	Red de área extensa (<i>wide area network</i>)

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 de satélite y de las redes terrenales asociadas entre dos usuarios finales. El enlace de 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).



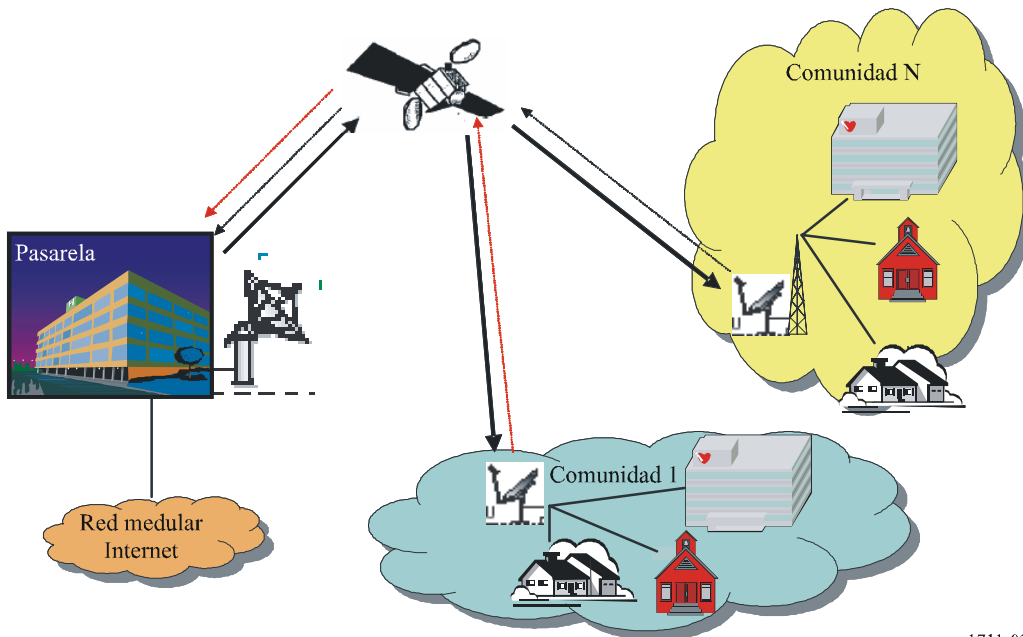
NOTA 1 – En este modelo de referencia se considera únicamente un salto de satélite. En esta Recomendación se describen las técnicas que segmentan la conexión TCP para mejorar la calidad del TCP en enlaces de satélite con un solo salto. No obstante, una conexión de extremo a extremo puede incluir varios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

FIGURA 2
Topología en estrella

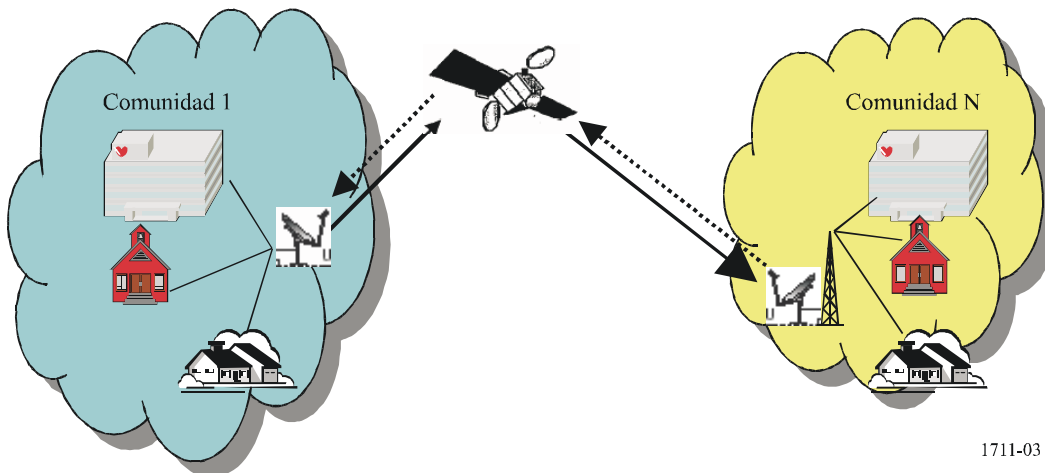


1711-02

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



1711-03

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).

3 Limitaciones del TCP en enlaces por satélite

El protocolo TCP no puede distinguir entre la degradación de la calidad causada por errores del enlace y la congestión. Supone que toda pérdida en la red es debida a la congestión únicamente y el que envía la señal responde reduciendo su velocidad de transferencia de paquetes.

El protocolo TCP de base (TCP Reno) especifica un arranque lento, prevención de la congestión, retransmisión rápida y recuperación rápida para el control de la congestión. El protocolo TCP utiliza un mecanismo de control del flujo de la ventana mediante el que la ventana de transmisión permite al TCP de recepción controlar el volumen de datos que se le envía en un determinado momento. El receptor anuncia un tamaño de ventana al emisor. La ventana mide, en bytes, el volumen de datos sin acuse de recibo que el emisor puede tener en tránsito hacia el receptor.

3.1 Producto anchura de banda-retardo BDP

El producto BDP define el volumen de datos que una conexión TCP tendrá «en vuelo» (datos que se han transmitido pero de los que todavía no hay acuse de recibo) en todo instante para utilizar plenamente la capacidad disponible del canal. El retardo es el RTT y la anchura de banda es la capacidad del enlace en cuello de botella del trayecto.

Para los enlaces con un gran BDP, tales como los de las redes del satélite geostacionario, los emisores y receptores TCP con ventanas de congestión/recepción limitadas no serán capaces de aprovechar la anchura de banda disponible. La ventana TCP máxima normalizada de 65 535 bytes no es adecuada para que una única conexión TCP pueda utilizar toda la anchura de banda disponible en algunos canales de satélite. En una red sin pérdidas, el caudal TCP está limitado por la fórmula (1):

$$\text{Caudal máximo} = \frac{\text{Tamaño de la ventana}}{\text{RTT}} \quad (1)$$

Por tanto, al utilizar el tamaño máximo de ventana TCP de 64 kbytes y enlaces de satélite con RTT variable, el caudal máximo es el siguiente:

CUADRO 1

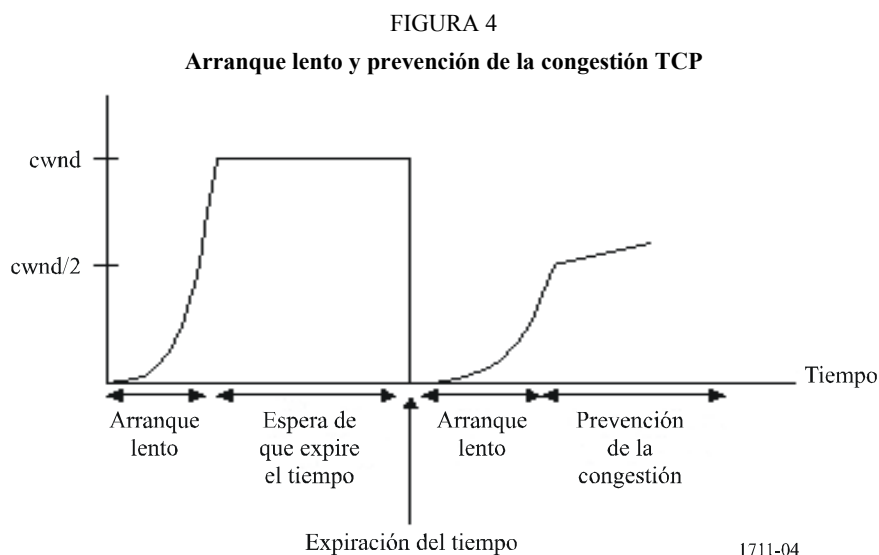
Caudal máximo conforme a los valores de RTT

Tipo de red de satélite	RTT (ms)	Caudal máximo (kbytes/s)
LEO	~20	~3 200
MEO	~200	~320
HEO	~600	~110
OSG	~520	~120

NOTA 1 – El RTT mencionado no tiene en cuenta ningún retardo tampón, sino que se calcula sobre la base del retardo de propagación.

3.2 Arranque lento y prevención de la congestión

El emisor TCP mantiene una ventana de congestión para medir la capacidad de la red. El número de paquetes sin acuse de recibo en la red se limita a este valor (o a la ventana avisada por el receptor, el que sea inferior de los dos). Al inicio de una conexión TCP, se fija la ventana de congestión en un segmento TCP. Se aumenta en un segmento en la recepción de cada nuevo acuse de recibo, hasta que se llegue a su valor máximo de 64 kbytes. El emisor mantiene un periodo a la espera de retransmisión para el último paquete sin acuse de recibo. La congestión se detecta por la expiración de dicho tiempo de espera de retransmisión. Cuando el temporizador expira, el emisor salva el valor de la mitad de la ventana de congestión (llamado umbral de arranque lento) y lo fija a un segmento. El emisor retransmite entonces segmentos, empezando por el segmento perdido. La ventana de congestión se incrementa en un segmento al recibir cada nuevo acuse de recibo, hasta que se llegue al umbral de arranque lento. Ésta es la fase de arranque lento. Tras ella, la ventana de congestión se incrementa en un segmento cada RTT. Esto se traduce en un aumento lineal de la ventana de congestión cada RTT y a ello se le llama fase de prevención de la congestión. La Fig. 4 muestra las fases de arranque lento y de prevención de la congestión en una conexión TCP típica (en la Figura, cwnd significa ventana de congestión).



El tiempo que precisa el mecanismo de arranque lento para llegar a una velocidad binaria B viene dado por la fórmula (2):

$$\text{Duración del arranque lento} = \text{RTT} \left(1 + \log_2 \frac{B \cdot \text{RTT}}{l} \right) \quad (2)$$

donde l es la longitud media del paquete expresada en bits.

El Cuadro 2 muestra la duración de la fase de arranque lento para varias órbitas de satélite y valores distintos de velocidades binarias B , cuando $l = 1$ kbit.

CUADRO 2

Duración del arranque lento para varias órbitas de satélite

Tipo de satélite	(RTT) (ms)	Duración del arranque lento (s)		
		$B = 1$ Mbit/s	$B = 10$ Mbit/s	$B = 155$ Mbit/s
LEO	~20	0,05	0,11	0,19
MEO	~200	1,14	1,80	2,59
HEO	~600	4,36	6,35	8,73
OSG	~520	3,67	5,40	7,45

Si se implementa el mecanismo de acuse de recibo retardado, el tiempo necesario para que el arranque lento alcance la velocidad binaria B viene dado por la fórmula (3):

$$\text{Duración del arranque lento} = \text{RTT} \left(1 + \log_{1,5} \frac{B \cdot \text{RTT}}{l} \right) \quad (3)$$

Ello implica que la duración del arranque lento se hace aún mayor en comparación con la del caso anterior. Así pues, los acuses de recibo retardados hacen también que se desperdicie capacidad durante la fase de arranque lento.

En la fase de prevención de la congestión, el aumento de la velocidad de datos es función del producto anchura de banda-retardo. De hecho, durante cada RTT, la velocidad de datos se aumenta en $1/(B \cdot \text{RTT})$. Así pues, si una conexión TCP está en la fase de prevención de la congestión y resulta disponible alguna anchura de banda adicional, esta conexión no la utilizará durante largo tiempo. Este tiempo será más prolongado en presencia de pérdidas de transmisión. Por tanto, el mecanismo de prevención de la congestión de las redes de satélite con un RTT elevado actúa peor que en una red terrenal.

3.3 Retransmisión rápida y recuperación rápida

Actualmente, las implementaciones TCP utilizan un temporizador de resolución gruesa (típicamente, 500 ms) para la expiración del tiempo de la retransmisión. Como resultado de ello, durante la congestión, la conexión TCP pierde tiempo a la espera de la expiración. En la Fig. 1, la línea horizontal (al nivel $cwnd$) muestra el tiempo perdido a la espera de que se produzca la expiración temporal. Durante este tiempo, el TCP ni envía nuevos paquetes ni retransmite los paquetes perdidos. Además, una vez llegada la expiración, la ventana de congestión se fija a un segmento y la conexión emplea diversos tiempos de ida y vuelta para utilizar eficazmente la red. El TCP Reno implementa los algoritmos de retransmisión y recuperación rápidas para hacer que la conexión pueda recuperarse rápidamente de pérdidas de segmentos aisladas.

Si la red pierde un segmento, los segmentos siguientes que llegan al receptor van desordenados. Para cada uno de ellos, el receptor TCP envía inmediatamente un acuse de recibo al emisor, indicando el número de secuencia del segmento que falta. Este acuse de recibo se denomina acuse de recibo duplicado. Cuando el emisor recibe tres acuses de recibo duplicados, llega a la conclusión de que el segmento indicado por los acuses de recibo se ha perdido y retransmite inmediatamente el segmento perdido. El emisor reduce entonces la ventana de congestión en una mitad más tres segmentos y salva también la mitad del valor original de la ventana de congestión en el umbral de arranque lento. Para cada acuse de recibo duplicado siguiente, el emisor aumenta la ventana de

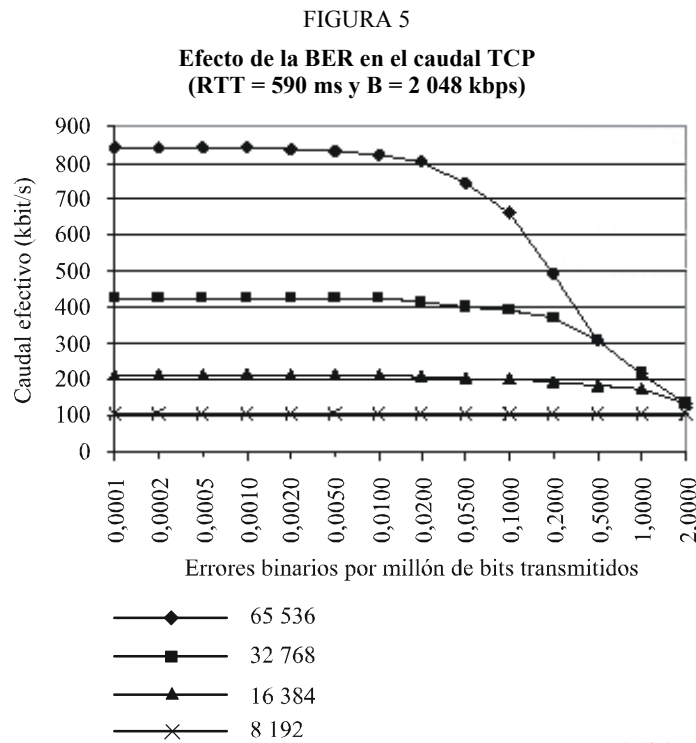
congestión en un segmento y trata de enviar un nuevo segmento. Efectivamente, el emisor espera la mitad de un tiempo de ida y vuelta antes de enviar un segmento por cada acuse de recibo duplicado siguiente que recibe. Como resultado de ello, el emisor mantiene el enlace de la red y la mitad de la capacidad en el instante de la retransmisión rápida.

Aproximadamente un tiempo de ida y vuelta después de haber retransmitido el segmento que falta, se recibe su acuse de recibo (suponiendo que el segmento retransmitido no se haya perdido). En ese instante, en lugar de fijar la ventana de congestión en un segmento y realizar un arranque lento, el TCP fija directamente la ventana de congestión al umbral de arranque lento. Éste es el algoritmo de recuperación rápida.

Los mecanismos de retransmisión y recuperación rápidas resultan también afectados por un RTT largo como los que se encuentran en los enlaces de satélite. La retransmisión múltiple de acuses de recibo duplicados se traduce en un desperdicio de anchura de banda que es un recurso limitado en las redes de satélite.

3.4 Efecto de los errores binarios en el caudal TCP

El TCP actúa mal en presencia de errores del enlace y es más sensible a dichos errores para tamaños de ventana más grandes (véase la Fig. 5). A fin de lograr un caudal mayor utilizando el TCP, el enlace no debe experimentar ninguna pérdida, por lo que debe tener una proporción de bits erróneos (BER) reducida.



Anexo 2

Metodologías de mejora del TCP

1 Alcance

Pueden implementarse diversas mejoras en el TCP básico para reducir la degradación de las conexiones TCP en redes tales como las del modelo del Anexo 1. En este Anexo se describen éstas y se enumeran sus ventajas e inconvenientes respectivos para la utilización en redes de satélite.

2 Variaciones del TCP básico

Pueden emplearse diversas variaciones del TCP o de las mejoras de éste para reducir las degradaciones específicas de los enlaces de satélite. El Grupo de Tareas sobre Ingeniería de Internet (IETF) propuso una serie de mejoras documentadas en peticiones de comentarios RFC. En el Cuadro 3 se enumeran las mejoras del TCP, sus números de RFC correspondientes y resúmenes que describen el contenido de los documentos RFC. El Cuadro 3 indica también las degradaciones causadas por el enlace del satélite (por ejemplo, la latencia, el gran BDP o la BER mayor) en las que puede ayudar la mejora.

CUADRO 3
Mejoras del TCP

Mejoras del TCP	Número de la RFC ⁽¹⁾	Degradaciones del TCP en enlaces por satélite			Resumen
		Latencia	Gran BDP	Errores del enlace	
Ventana inicial grande	2414 2581	Sí	Sí	No	<p>RFC 2414 «Increasing TCP initial window» (1998) Especifica un aumento en la ventana inicial permitida para el TCP desde un segmento hasta aproximadamente 4 kbits. También examina las ventajas e inconvenientes de dicha modificación.</p> <p>RFC 2581 «TCP congestion control» (1999) Define los cuatro algoritmos de control de congestión interrelaciones: arranque lento, prevención de la congestión, retransmisión rápida y recuperación rápida. Especifica además la forma en que el TCP debe iniciar la transmisión después de un periodo de reposo relativamente prolongado y examina los diversos métodos de generación del acuse de recibo.</p>
Cómputo de bytes	2414	Sí	No	No	<p>RFC 2414 «Increasing TCP's initial window» (1998) El mecanismo de cómputo de bytes incrementa la ventana de congestión basándose en el número de bytes transmitidos que han tenido acuse de recibo mediante una señal ACK de entrada, y no mediante el número de ACK que se reciben. Para trayectos de retardo prolongado en particular, se ha visto que este esquema reduce el tiempo que se tarda en alcanzar el tamaño óptimo de ventana de congestión.</p>

CUADRO 3 (Continuación)

Mejoras del TCP	Número de la RFC ⁽¹⁾	Degradaciones del TCP en enlaces por satélite			Resumen
		Latencia	Gran BDP	Errores del enlace	
Escala de ventana	1323	Sí	Sí	No	RFC 1323 «TCP extensions for high performance» (1992) Presenta un conjunto de extensiones TCP para mejorar la calidad en trayectos con un gran producto anchura de banda-retardo y ofrece un funcionamiento fiable en trayectos de muy gran velocidad. Define nuevas opciones TCP para ventanas a escala e indicaciones de tiempo que están concebidas para facilitar el interfuncionamiento compatible con el TCP que no implementa las extensiones. Las indicaciones de tiempo se utilizan para dos mecanismos distintos: RTTM y PAWS.
Segmentos TCP de avance	2760	Sí	Sí	No	RFC 2760 «Ongoing TCP research related to satellites» (2000) La RBP es una técnica utilizada en ausencia del ACK de entrada en la que el emisor de datos lanza temporalmente segmentos TCP a una determinada velocidad para reiniciar el reloj ACK. Al recibir el primer ACK, se interrumpe el avance y se reanuda el cómputo de reloj TCP ACK normal. La tasa de avance puede conocerse a partir de las estimaciones recientes del tráfico (al reiniciar una conexión en reposo o a partir de las conexiones previas recientes), o puede conocerse por medios externos (tal vez en una red de satélite punto a punto o punto a multipunto en la que puede suponerse que la anchura de banda es grande). Además, los datos de avance durante el primer RTT de una transferencia pueden permitir al TCP utilizar efectivamente enlaces de gran producto anchura banda-retardo, incluso para transferencias breves. No obstante, a fin de avanzar los segmentos durante el primer RTT, un TCP tendrá que utilizar una ventana inicial de congestión no normalizada y un nuevo mecanismo para hacer avanzar los segmentos de salida en vez de reenviarlos hacia atrás. El avance puede también utilizarse para reducir las ráfagas, en general.

CUADRO 3 (Continuación)

Mejoras del TCP	Número de la RFC ⁽¹⁾	Degradaciones del TCP en enlaces por satélite			Resumen
		Latencia	Gran BDP	Errores del enlace	
TCP Vegas	N/A	Sí	Sí	No	El TCP Vegas utiliza un arranque lento modificado y un nuevo mecanismo de retransmisión. El algoritmo modificado de arranque lento trata de hallar el tamaño adecuado de la ventana de congestión sin que se produzca ninguna pérdida de segmentos.
DACK	1122	Sí	No	No	RFC 1122 «Requirements for Internet hosts – Communication layers» (1989) Los acuses de recibo retardados se utilizan en el receptor TCP para poder efectuar el acuse de recibo de dos segmentos recibidos al mismo tiempo, reduciendo con ello el tráfico de acuses de recibo. No obstante, un retardo demasiado prolongado puede dar lugar a una expiración del tiempo y a la retransmisión en el lado del emisor TCP. El receptor no debe retardar el acuse de recibo más de 0,5 s.
SACK	2018 2883	Sí	Sí	Sí	RFC 2018 «TCP selective acknowledgement options» (1996) El TCP puede dar un mal rendimiento cuando se pierden múltiples paquetes de una ventana de datos. Con la información limitada disponible de los acuses de recibo acumulados, un emisor TCP sólo puede enterarse de una pérdida única de paquetes en cada periodo de ida y vuelta. Un emisor agresivo podría optar por retransmitir paquetes prontamente, pero dichos elementos retransmitidos pueden haber ya sido recibidos satisfactoriamente. Un mecanismo SACK, combinado con una política selectiva de repetición de transmisión, puede contribuir a superar estas limitaciones. El TCP de recepción reenvía un SACK al emisor, informándole de que se han recibido los datos. El emisor puede entonces retransmitir únicamente los segmentos de datos perdidos. RFC 2883 «An extension to the selective acknowledgement (SACK) option for TCP» (2000)

CUADRO 3 (Continuación)

Mejoras del TCP	Número de la RFC ⁽¹⁾	Degradaciones del TCP en enlaces por satélite			Resumen
		Latencia	Gran BDP	Errores del enlace	
SACK (<i>cont.</i>)		Sí	Sí	Sí	Amplía la RFC 2018 especificando la utilización de la opción SACK para acusar recibo de paquetes duplicados. Cuando se reciben paquetes duplicados, el primer bloque del campo de la opción SACK puede utilizarse para informar sobre los números de secuencia de los paquetes que dieron lugar al acuse de recibo. Esta ampliación de la opción SACK permite al emisor TCP inferir el orden de los paquetes recibidos en el receptor, lo que permite al emisor inferir cuándo ha retransmitido innecesariamente un paquete. Un emisor TCP puede entonces utilizar esta información para lograr un funcionamiento más fiable en un entorno de paquetes reordenados, pérdidas de ACK, réplica de paquetes y/o expiraciones tempranas de la retransmisión.
TCP New Reno	2582	Sí	Sí	Sí	RFC 2582 «The New Reno modifications to TCP's fast recovery algorithm» (1999) La RFC 2581 introduce el concepto de acuses de recibo parciales (ACK que abarcan nuevos datos, pero no todos los datos pendientes cuando se detectó la pérdida) en ausencia de SACK. La RFC 2582 describe un algoritmo específico para responder a acuses de recibo parciales, conocido como New Reno.
ECN	2481	Sí	Sí	En parte	RFC 2481 «A proposal to add Explicit Congestion Notification (ECN) to IP» (1999) Describe una propuesta de adición de ECN al IP estableciendo en los encaminadores un bit de congestión experimentada. También describe las modificaciones que serán necesarias en el TCP para que sea capaz de realizar la ECN. Los enlaces de satélite puede contribuir a distinguir la causa de una pérdida de paquetes: errores en el enlace o congestión en la red.

CUADRO 3 (Continuación)

Mejoras del TCP	Número de la RFC ⁽¹⁾	Degradaciones del TCP en enlaces por satélite			Resumen
		Latencia	Gran BDP	Errores del enlace	
Compresión de encabezamiento	2507	No	No	Sí	RFC 2507 «IP header compression» (1999) Describe la forma en que se comprimen múltiples encabezamientos IP y encabezamientos TCP y UDP por salto, en enlaces punto a punto. Los métodos pueden aplicarse a los encabezamientos de base IPv6 y de extensión, encabezamientos IPv4, encabezamientos TCP y UDP y encabezamientos IPv6 e IPv4 encapsulados. Los encabezamientos de los paquetes UDP o TCP típicos pueden comprimirse hasta 4-7 bytes, incluyendo la suma de comprobación UDP o TCP de 2 bytes. Con esto se elimina en gran medida la repercusión negativa de grandes encabezamientos IP y se puede realizar una utilización eficaz de la anchura de banda en enlaces de velocidad reducida y media. Los algoritmos de compresión están diseñados específicamente para un buen funcionamiento en enlaces con tasas de pérdidas de paquetes no despreciables.
Descubrimiento de trayecto MTU	1191	Sí	Sí	No	RFC 1191 «Path MTU discovery» (1990) Describe una técnica para descubrir dinámicamente la MTU de un trayecto Internet arbitrario. El descubrimiento de trayecto MTU permite al TCP utilizar el tamaño máximo posible de paquete, sin incurrir en los costos de fragmentación y ensamblado. El incremento de la ventana de congestión TCP se basa en los segmentos, más que en los bytes, y por tanto, los segmentos más grandes permiten a los emisores TCP incrementar más rápidamente la ventana de congestión, en términos de bytes, más que con segmentos más pequeños.
	2488				RFC 2488 «Enhancing TCP over satellite channels using standard mechanisms» (1999)

CUADRO 3 (Fin)

Mejoras del TCP	Número de la RFC ⁽¹⁾	Degradaciones del TCP en enlaces por satélite			Resumen
		Latencia	Gran BDP	Errores del enlace	
Descubrimiento de trayecto MTU (cont.)		Sí	Sí	No	El descubrimiento de trayecto MTU puede causar un retardo antes de que el TCP pueda iniciar el envío de datos. Los retardos en los satélites pueden agravar este problema. No obstante, en la práctica, el descubrimiento de trayecto MTU no consume un gran lapso de tiempo, debido al amplio apoyo de valores MTU comunes. Además, los valores MTU ocultos pueden llegar a eliminar el tiempo de descubrimiento en muchos casos.
T/TCP	1644	Sí	No pertinente	No pertinente	RFC 1644 «T/TCP – TCP extensions for transactions. Functional specifications» (1994) Especifica el T/TCP, extensión experimental del TCP para la eficacia del servicio orientado a la transacción (petición/respuesta). Esta extensión retrocompatible puede llenar el hueco entre el actual TCP orientado a la conexión y el UDP basado en datagramas.
FEC	2488	No pertinente	No pertinente	Sí	RFC 2488 «Enhancing TCP over satellite channels using standard mechanisms» (1999) El TCP ofrece una entrega fiable de los datos por cualquier trayecto de red, incluyendo los trayectos de red que contienen canales de satélite. Aunque el TCP funciona por canales de satélite, la FEC permite indirectamente al TCP utilizar de forma más eficaz la capacidad disponible del canal, corrigiendo errores del enlace antes de la capa TCP.

⁽¹⁾ RFC significa petición de comentarios (*request for comments*) y se trata de documentos publicados por el Grupo de Tareas sobre Ingeniería de Internet (IETF).

3 Metodologías de división de segmentos

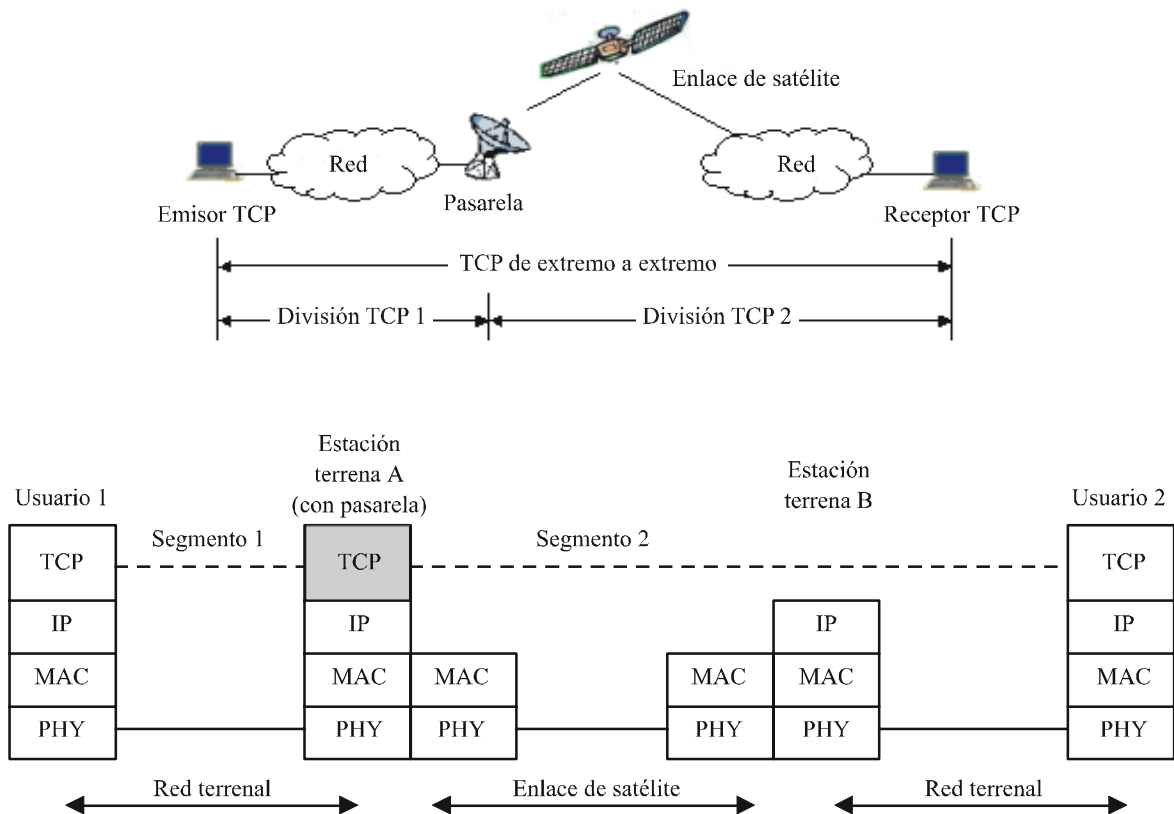
La división de segmentos TCP es un esquema mediante el que una conexión de red de extremo a extremo se divide en múltiples conexiones o segmentos TCP. Típicamente, los segmentos se dividen entre componentes terrenales y de satélite. Además, la conexión TCP por el segmento de satélite puede modificarse a fin de superar las degradaciones del enlace de satélite.

El esquema de división de segmentos generalmente se implementa en una pasarela instalada antes y/o después del módem de satélite (dependiendo del tipo de división). Aunque no se mantenga una conexión TCP de extremo a extremo, los usuarios finales pueden aún comunicarse entre sí sin estar al tanto de la función de pasarela, pues ésta emula una conexión TCP única.

3.1 Metodología de división de dos segmentos

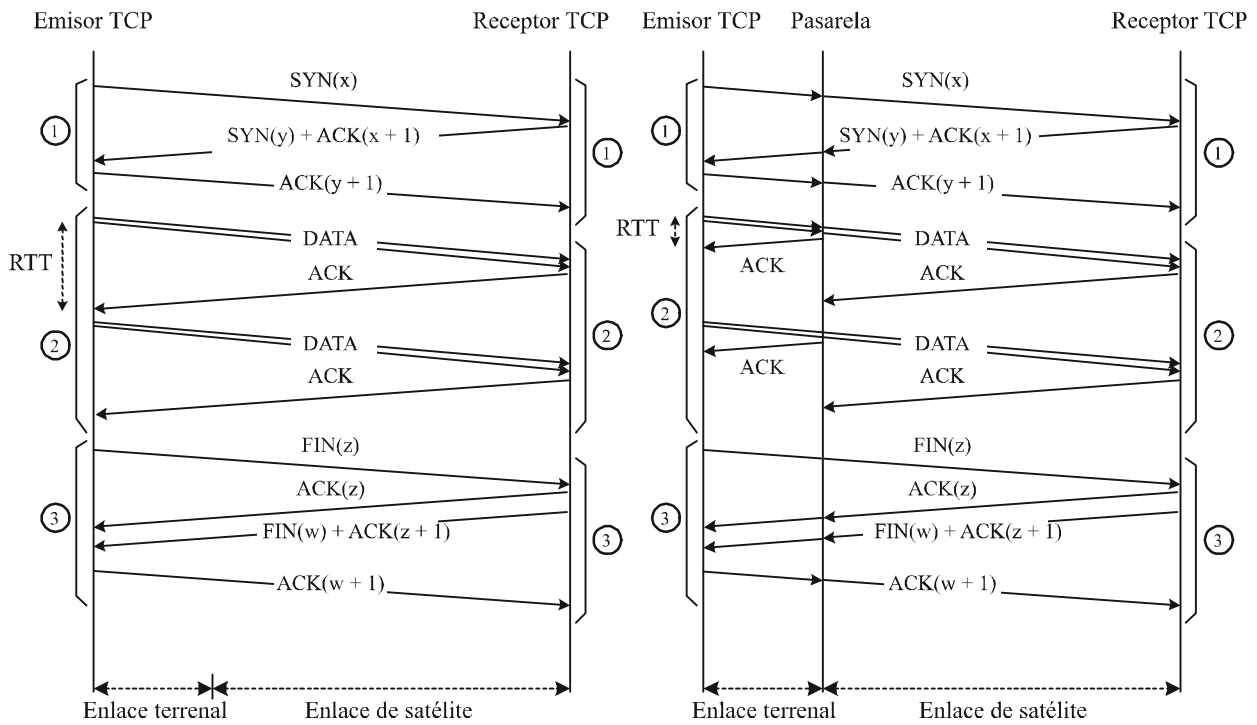
La técnica de división de dos segmentos divide las conexiones TCP de extremo a extremo en dos segmentos. La topología de red, así como la pila de protocolos asociada a este método se representan en la Fig. 6. La Fig. 7 representa la comparación de la secuencia TCP entre la TCP normal y la técnica de división de dos segmentos.

FIGURA 6
División en dos segmentos



En ambos segmentos, se utiliza un TCP normal para las comunicaciones entre el emisor/receptor TCP y la pasarela. Cuando la pasarela de la estación terrena A recibe un paquete de datos del Usuario 1 por el segmento 1 y lo transmite al Usuario 2 por el segmento 2, devuelve un acuse de recibo al Usuario 1, independientemente de si la pasarela recibe un acuse de recibo real del Usuario 2. El objetivo de ello es solicitar una transmisión de datos del Usuario 1, lo que mejora el caudal de la conexión TCP de extremo a extremo. En este método, los caudales de las conexiones TCP se mejoran únicamente en un sentido (para este ejemplo, del Usuario 1 al Usuario 2). Una ventaja importante de este método es que sólo se requiere la pasarela en la estación terrena del lado de transmisión (es decir, la estación terrena A). Este método es especialmente adecuado para redes de satélite con topologías en estrella (véase la Fig. 2) porque la mejora del caudal TCP se necesita únicamente en un sentido (central a VSAT). Además, la implementación de las funciones de pasarela para múltiples estaciones distantes no es económicamente factible.

FIGURA 7
Comparación del TCP y la técnica de división en dos segmentos



a) Secuencia de comunicación del TCP normal

b) Secuencia de comunicación de la división en dos segmentos

- ① Fase de establecimiento de la conexión
- ② Fase de transferencia de datos
- ③ Fase de liberación de la conexión

3.2 Metodología de división en tres segmentos

En la técnica de división en tres segmentos se dividen las conexiones TCP de extremo a extremo en tres segmentos. La Fig. 8 muestra la topología de la red, así como la pila de protocolos para la técnica de división en tres segmentos, en la cual los segmentos terrenales (segmento 1 y 3) emplean un TCP normal, mientras que el segmento de satélite (segmento 2) implementa un protocolo optimizado. La Fig. 9 muestra la secuencia TCP de la división en tres segmentos. Los acuses de recibo se generan en la pasarela, en lugar de esperar los del usuario final. En este caso, la pasarela actúa como mandatario.

En este método, los caudales de las conexiones TCP se mejoran en ambos sentidos. Este método es adecuado para las redes punto a punto, tales como las de conexión de un ISP a la red medular IP (véase la Fig. 1).

FIGURA 8
División en tres segmentos

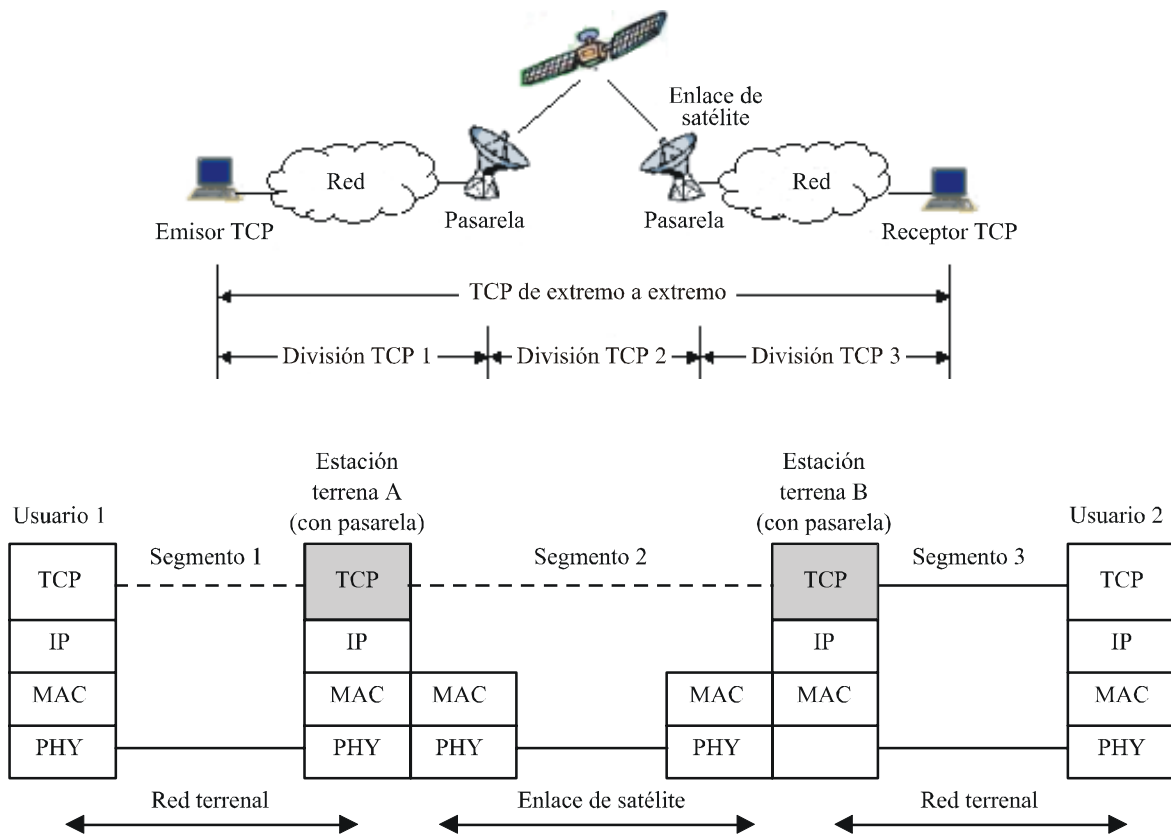
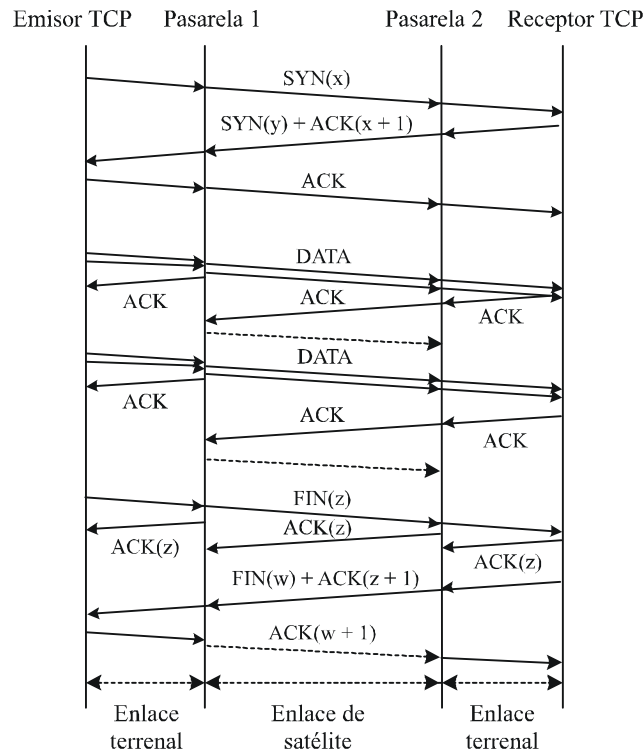


FIGURA 9

Técnica de división en tres segmentos



Secuencia de comunicación con división en tres segmentos

1711-09

3.3 Análisis

La adopción de los métodos de división de segmentos procede cuando los parámetros R_{AB} y R_{BA} de la Fig. 1 exceden de 256 kbit/s. Cuando se activa la función de pasarela, la agregación de los caudales TCP¹ rebasará el 70% de la velocidad de información de un enlace de satélite (R_{AB} y R_{BA} de la Fig. 1) en ambos sentidos, en las condiciones de una BER de 10^{-8} y un tiempo de ida y vuelta de 700 ms. El número máximo de conexiones TCP mejoradas depende de la configuración de los circuitos de la pasarela (por ejemplo, velocidad de la CPU, RAM disponible).

4 Modelos de mejora de la calidad

Los PEP representan una solución *de facto* para los TCP por enlaces de satélite (véase la RFC 3135 «Performance enhancing proxies intended to mitigate link-related degradations» (2001) del IETF). Hay diversos tipos de PEP que no pueden implementarse en ninguna capa de protocolo. Generalmente, los PEP se implementan en las capas de transporte o de aplicación. Algunos PEP funcionan en la capa del enlace de datos, pero rebasan el alcance de esta Recomendación. La mayoría de los PEP de la capa de transporte están diseñados para interactuar con el TCP y para reducir las interrupciones que se producen en los TCP por enlaces de satélite. Dichos PEP son transparentes para protocolos de aplicación de extremo a extremo.

¹ La agregación de los caudales TCP se define como la suma de los caudales instantáneos de las conexiones TCP de extremo a extremo de la red.

Las implementaciones PEP pueden ser simétricas o asimétricas y en ocasiones se clasifican dependiendo de su grado de transparencia. En un extremo, las implementaciones PEP son completamente transparentes a los sistemas finales, puntos finales de transporte y/o aplicaciones, y no requieren ninguna modificación de los sistemas finales. En el caso de falta de transparencia, el PEP puede exigir modificaciones a uno o ambos usuarios finales.

Hay dos estrategias principales en el diseño de los PEP: simulación TCP y división TCP (véase el § 3). En ambos casos, el objetivo es apantallar segmentos de red de satélite de gran latencia o con muchas pérdidas respecto al resto de la red, permaneciendo transparentes a las aplicaciones.

4.1 Simulación TCP

El principio de la simulación TCP es un encaminador (pasarela) próximo a la fuente que devuelve acuses de recibo para segmentos TCP a fin de crear en la fuente la ilusión de un trayecto de retardo breve, que acelera la transmisión de datos del emisor TCP. La pasarela suprime entonces el tren real de acuse de recibo procedente del satélite anfitrión y envía todo dato perdido.

4.2 Mecanismos PEP

Los mecanismos PEP incluyen la separación de acuses de recibo, la regeneración de acuses de recibo, los acuses de recibo locales, las retransmisiones locales, los túneles para control del encaminamiento de paquetes, la compresión de encabezamiento, la compresión de carga útil y la multiplexación basada en la prioridad.

4.3 Repercusiones de la utilización del PEP

4.3.1 Seguridad extremo a extremo

El PEP no es capaz de trabajar con ninguna transmisión cifrada, tal como el IPSEC, pues ha de leer los encabezamientos de paquetes IP y, en algunas implementaciones, generar paquetes IP en nombre de un sistema final. En general, pueden utilizarse mecanismos de seguridad en la capa de transporte o sobre ella (por ejemplo, TLC o SSL) con el PEP.

4.3.2 Fiabilidad de extremo a extremo

En arquitecturas que implican la utilización de PEP, las aplicaciones no pueden apoyarse en acuses de recibo de nivel inferior (por ejemplo, TCP) para garantizar una entrega fiable de extremo a extremo. El TCP PEP generalmente no interfiere con los acuses de recibo de capa de aplicación.

Anexo 3

Ensayos y calidad medida de las mejoras del TCP

1 Alcance

El Anexo 3 presenta los resultados de ensayos y mediciones independientes efectuados para experimentar algunos de los métodos descritos en el Anexo 2, y ofrece información valiosa para los diseñadores de sistemas de satélite.

2 Calidad del TCP con mejora de la división

INTELSAT y KDDI han efectuado mediciones de la calidad del TCP utilizando técnicas de división de segmentos (división en dos segmentos y división en tres segmentos) para verificar la eficacia de dichas técnicas. En este punto se ofrecen los resultados de dichas mediciones.

El § 2.1 presenta los resultados de las pruebas de calidad de una conexión TCP única sin ninguna pasarela. El § 2.2 contiene los resultados de los ensayos de la técnica de división en dos segmentos. El § 2.3 ofrece los resultados de las pruebas de la técnica de división en tres segmentos.

2.1 Calidad de la conexión TCP única ensayada sin ninguna mejora

2.1.1 Pruebas de calidad de la conexión TCP única

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

2.1.2 TCP sin mejora de la calidad

El primer grupo de pruebas era para las conexiones únicas TCP sin mejora de la calidad. El tamaño de la ventana del cliente se fijó en 8 kbytes para adaptarse a los valores por defecto de Windows 95, Windows 98, Windows NT y otros múltiples sistemas operativos comunes. El retardo del enlace terrenal RTT se fijó en 200 ms y el del enlace combinado satélite/terrenal en 700 ms.

2.1.3 Calidad de una conexión TCP única sin mejora de la calidad

El caudal máximo sin mejora de la calidad es de 320 kbit/s para las conexiones terrenales y de 91 kbit/s para el enlace de satélite (véase la Fig. 10). Estos resultados demuestran que sin mejora de la calidad, el índice del caudal máximo de una conexión TCP única será aproximadamente igual al tamaño de la ventana,

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

aun cuando aumente la velocidad del enlace.

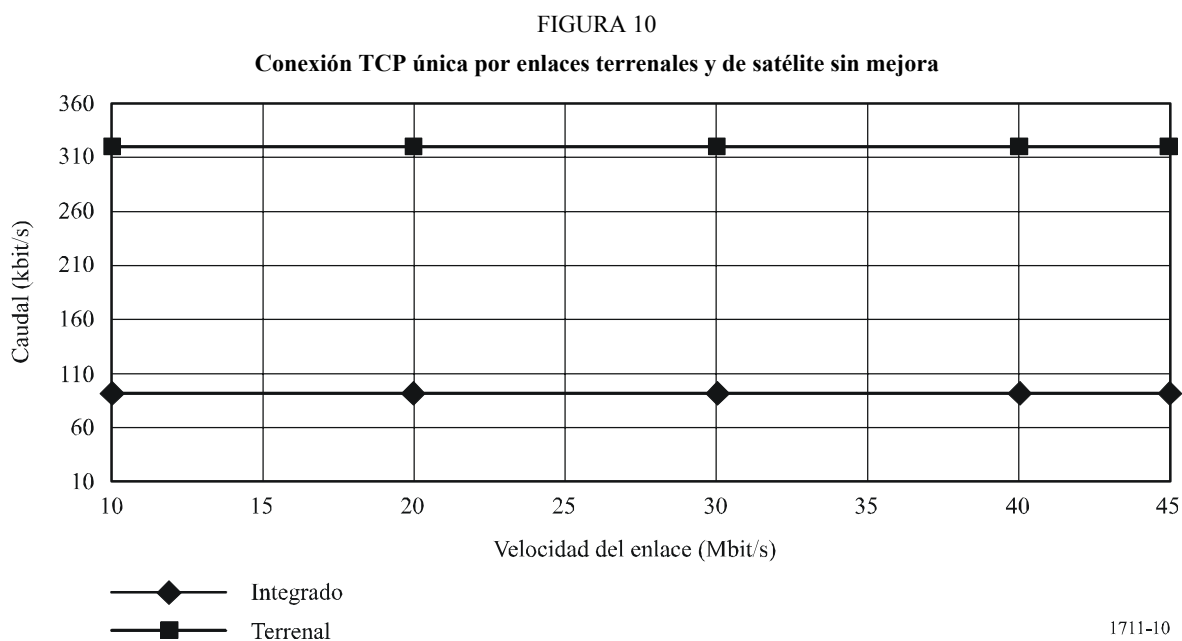
2.2 División en dos segmentos

2.2.1 Configuración de las redes de satélite

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

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

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



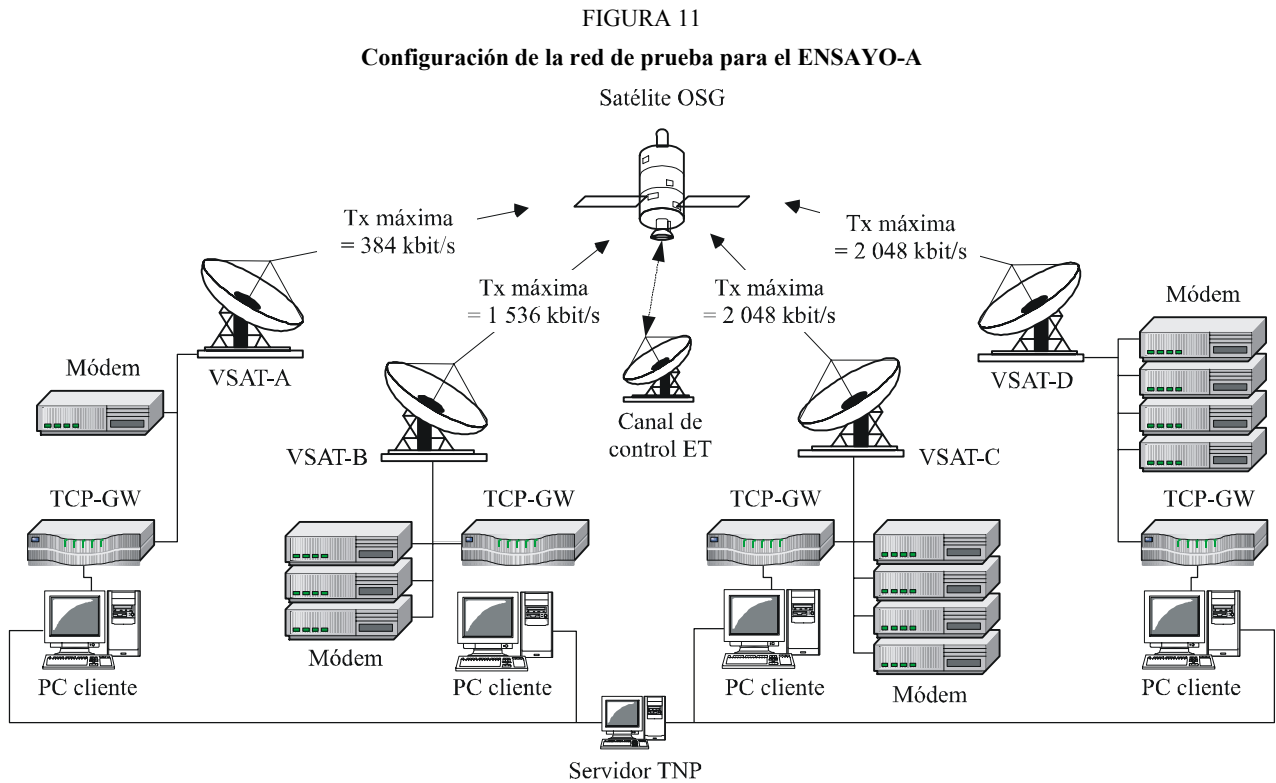
2.2.1.1 ENSAYO-A: Medición en el terreno, utilizando un sistema VSAT real con enlace por satélite

La medición del ENSAYO-A se efectuó utilizando una red IP de satélite con acceso múltiple por asignación según demanda (DAMA), en una topología en malla que empleaba una tecnología SCPC de velocidad variable. El ensayo 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 ensayo 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 ENSAYO-A se representa en la Fig. 11. La red de satélite DAMA consta de una estación terrena para el control del canal y de cuatro VSAT. Cada VSAT va equipada 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.

El sistema operativo FreeBSD 4.5 va instalado en todos los computadores personales de cliente que se conectan individualmente a un servidor NTP a fin de sincronizar las temporizaciones entre ellos. Cada VSAT va equipada con un soporte lógico Iperf² para generar paquetes IP y medir el caudal.

² Iperf es una aplicación para generar tráfico y medir el caudal de paquetes IP. La versión 1.1.1 de Iperf es un soporte lógico libre que puede telecargarse en <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf1.1.1/release.html>.



ET: Estación terrena

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

1711-11

CUADRO 4

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	Mmoria (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	

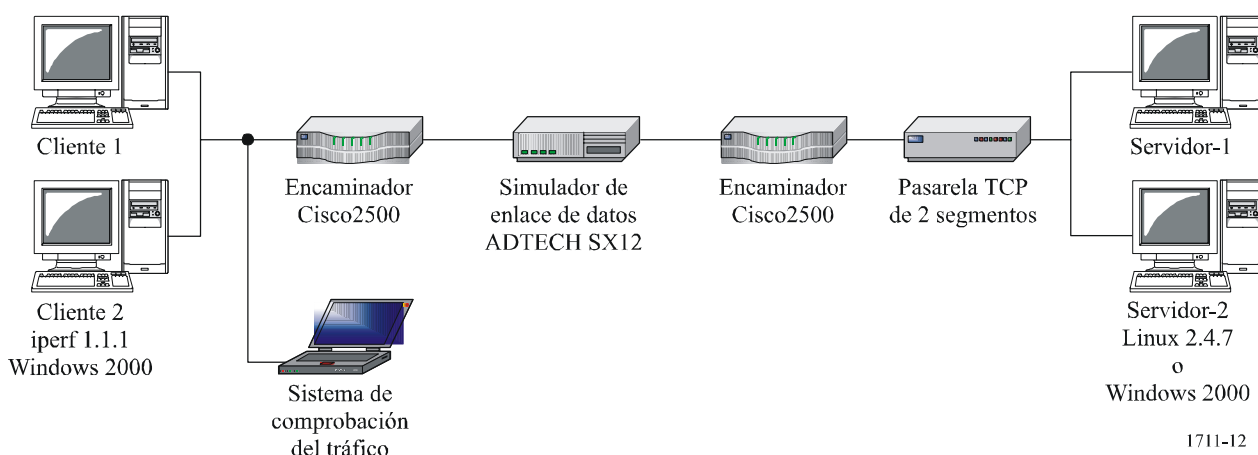
2.2.1.2 ENSAYO-B: Medición utilizando un simulador de enlace de satélite

La medición del ENSAYO-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. 12 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.

FIGURA 12

Configuración de la red de prueba para el ENSAYO-B



1711-12

2.2.2 Resultados de las pruebas

2.2.2.1 ENSAYO-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 computador personal. Algunas 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 5

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 6

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 7

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 simple

CUADRO 8

**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 8 muestra el promedio a lo largo de cuatro pases.

CUADRO 9

**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 9 muestra el promedio a lo largo de cuatro pases.

CUADRO 10

**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 11

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 12

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
				1 918	1 902
	Total				

2.2.2.1.4 Resultados de la combinación de sesiones UDP y TCP

CUADRO 13

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	1102
				687	841

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

2.2.2.2 ENSAYO-B

Las Figs. 13 a 17 muestran los resultados del ENSAYO-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. 13 y 14, 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. 16

FIGURA 13
Resultado de una sesión TCP ($BER = 10^{-8}$)

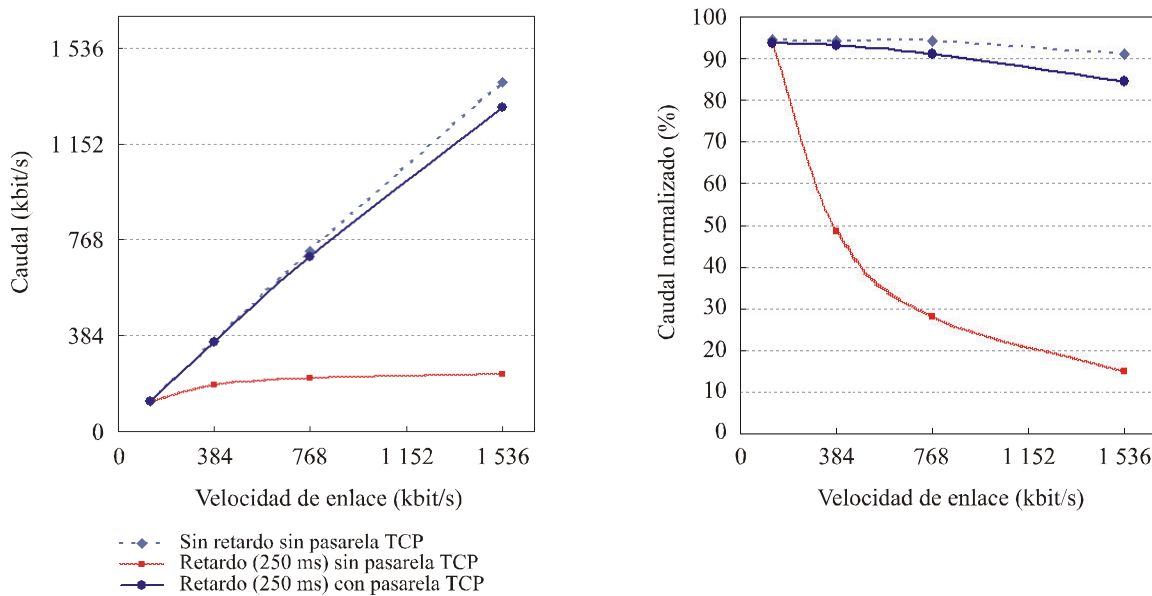
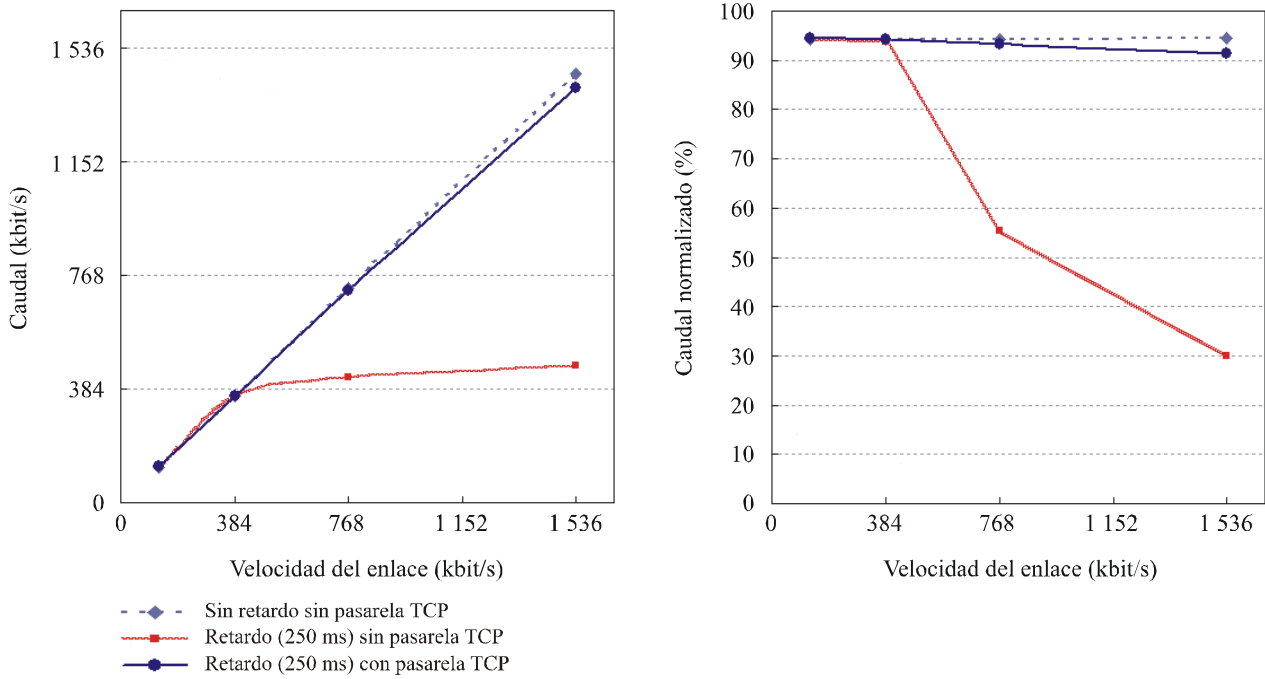


FIGURA 14

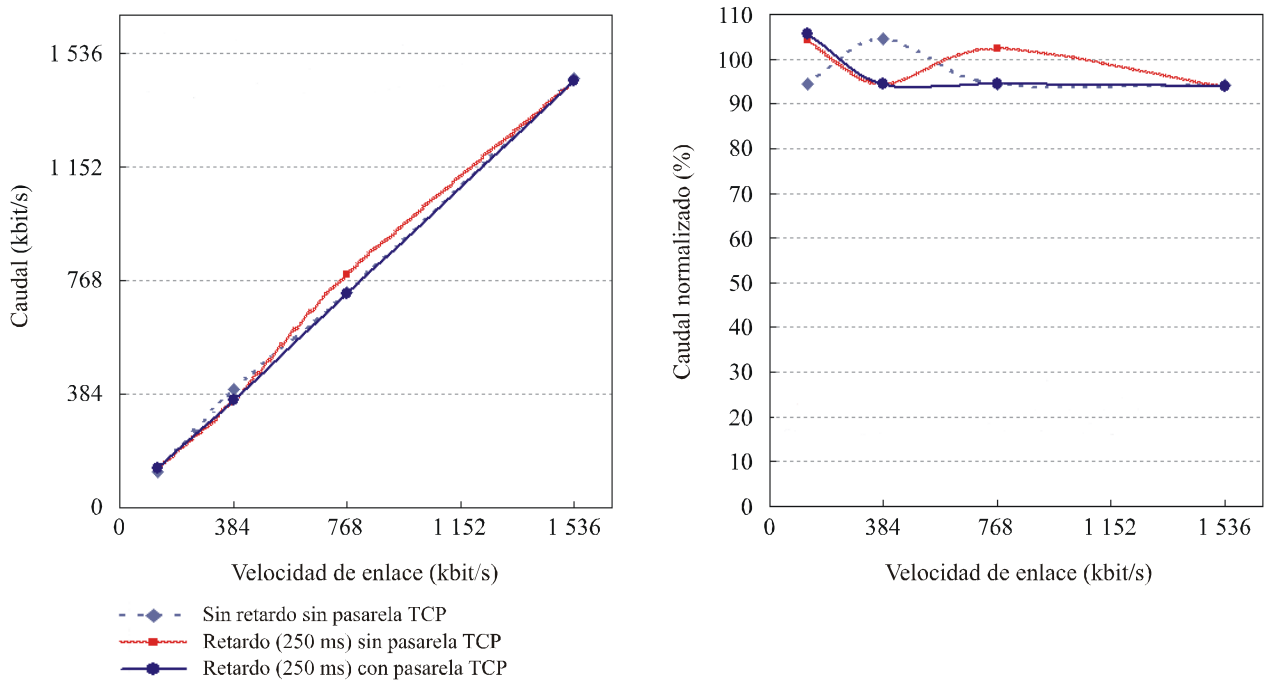
Resultados de dos sesiones TCP (BER = 10⁻⁸)



1711-14

FIGURA 15

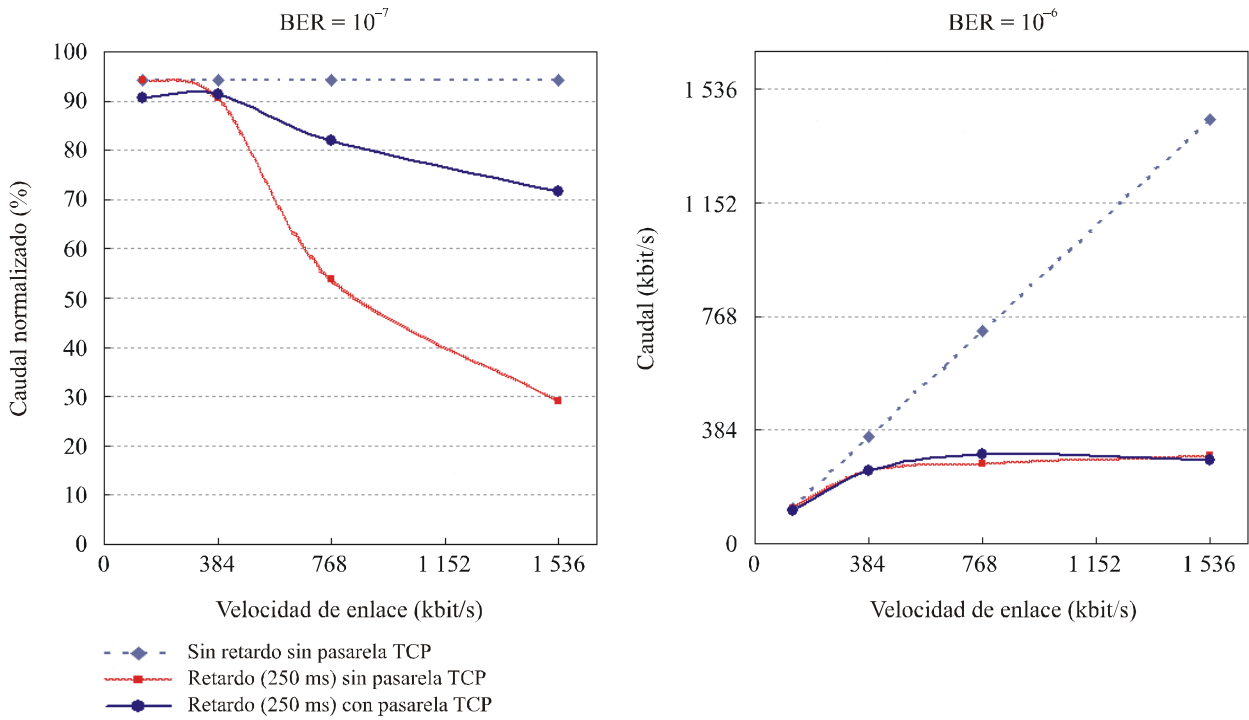
Resultados de ocho sesiones TCP (BER = 10⁻⁸)



1711-15

FIGURA 16

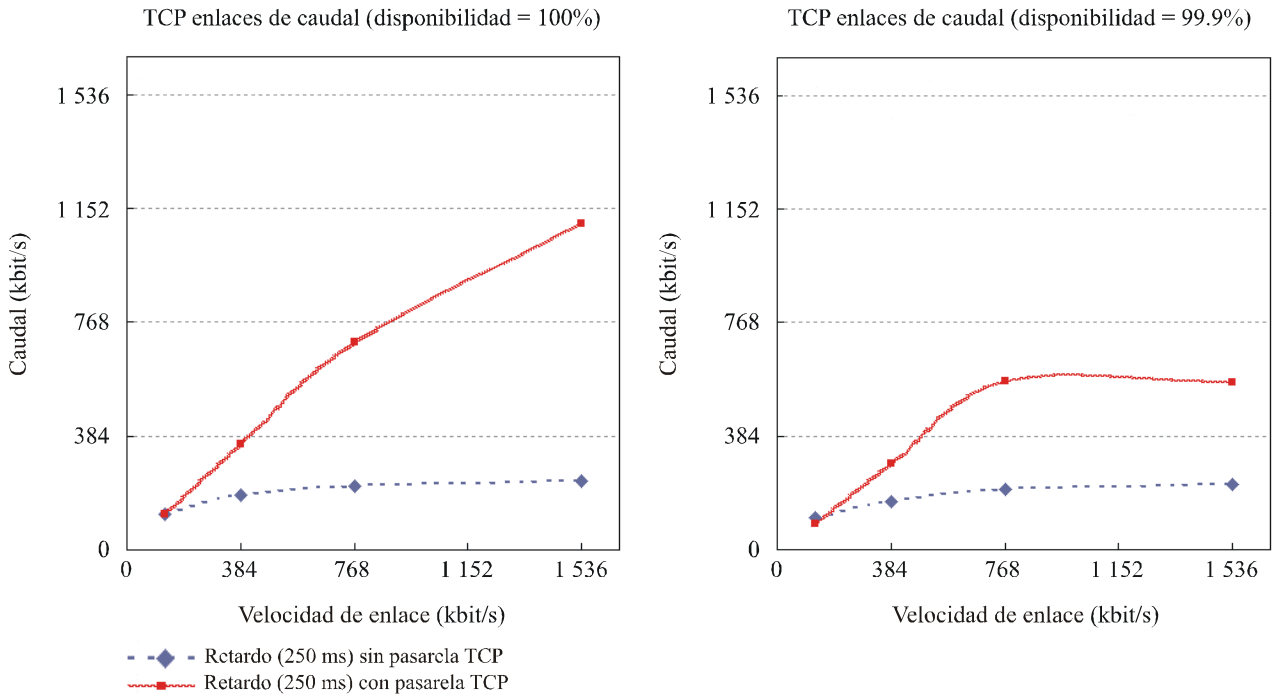
Resultados de dos sesiones TCP (BER = 10^{-7} , 10^{-6})



1711-16

FIGURA 17

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



1711-17

2.2.3 Conclusiones

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 satélite. Además, se comprobó que la técnica de división en dos segmentos es adecuada para las redes de satélite asimétricas y simétricas.

Las técnicas de división en segmentos permiten lograr un esquema optimizado de equilibrio de cargas entre conexiones en un segmento de 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

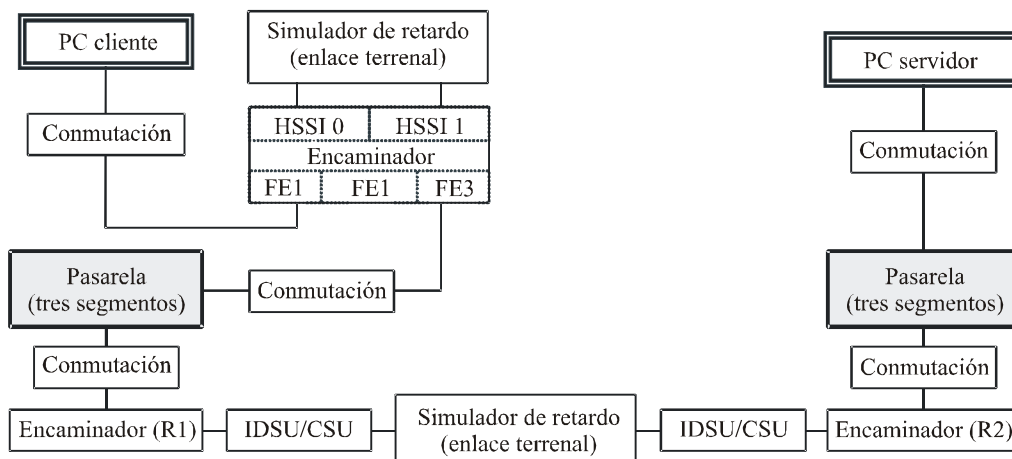
2.3.1 Configuración de las redes de satélite

La red de prueba se representa en la Fig. 18. La red contiene dos simuladores de enlace para simular los efectos de las condiciones del enlace de 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 18

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 ensayos 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 de satélite. Además de simular las condiciones del satélite, en los ensayos 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 ensayo:

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

Estos ensayos 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.

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

Estos ensayos 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. Los ensayos 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. Por razones de simplicidad, se añadieron retardos y errores binarios en un único punto, situando las pasarelas de protocolos a ambos lados del simulador del enlace.

Ensayo 3: Conexiones TCP múltiples con pérdidas terrenal de paquetes

Los ensayos 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 estos ensayos, 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

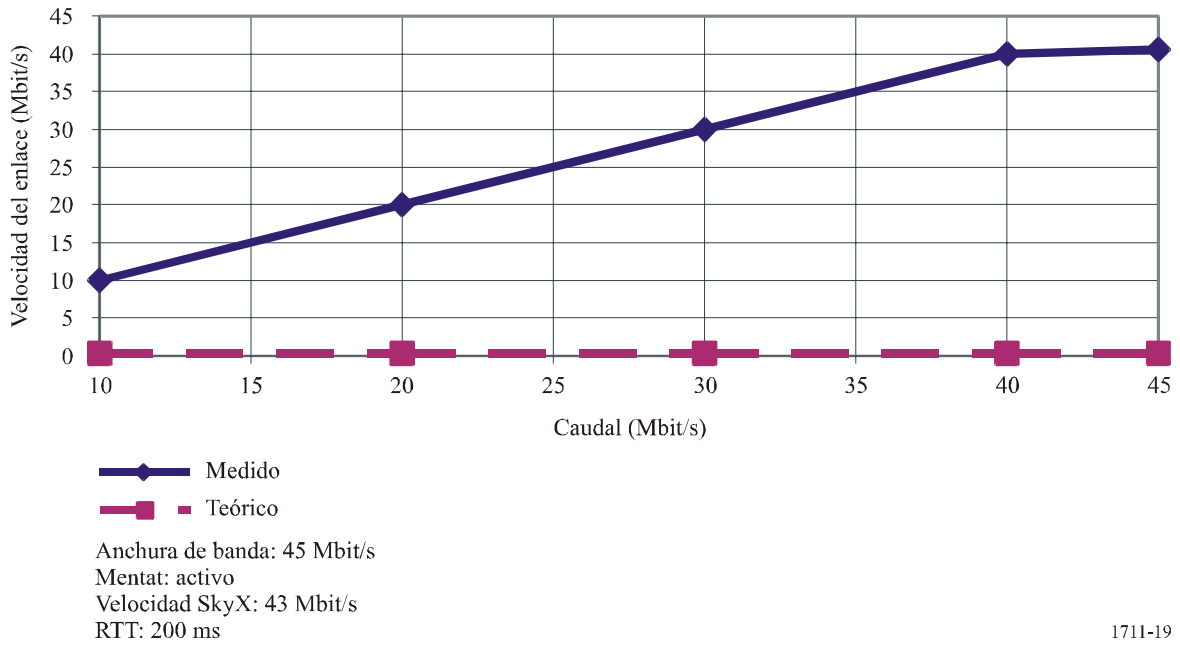
2.3.3.1 TCP con mejora de la pasarela de protocolo

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. 19 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 19

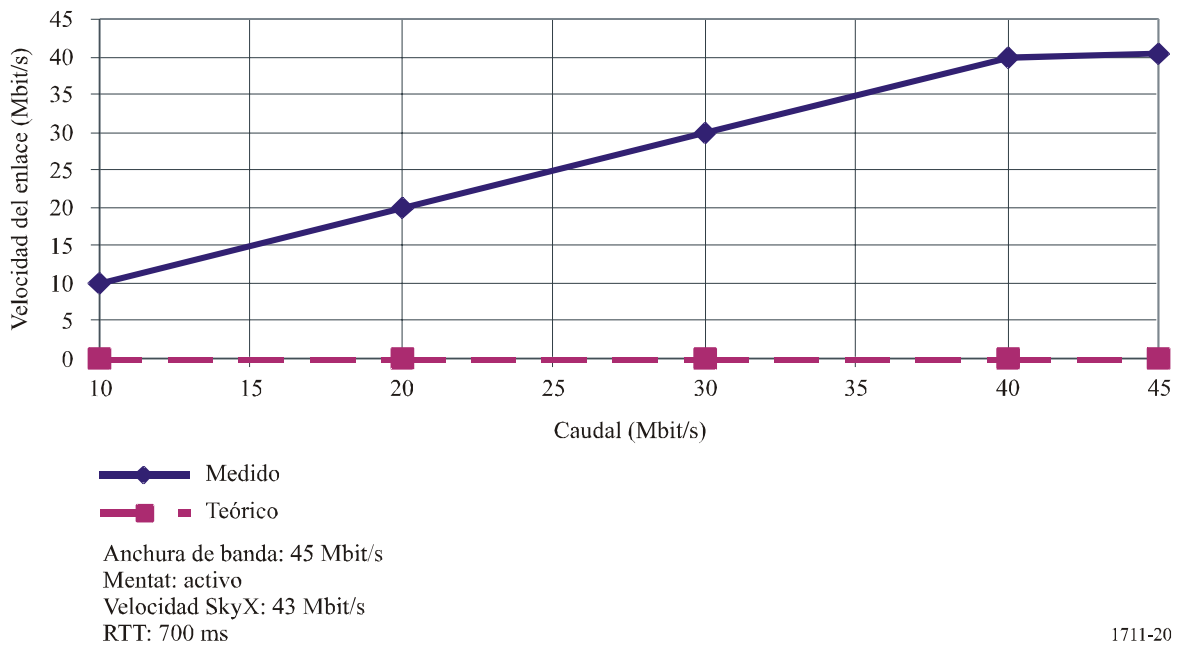
Conexión TCP simple por enlace terrenal con mejora de la pasarela de protocolo



1711-19

FIGURA 20

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



1711-20

2.3.3.2 Pruebas de la calidad de la conexión TCP múltiple

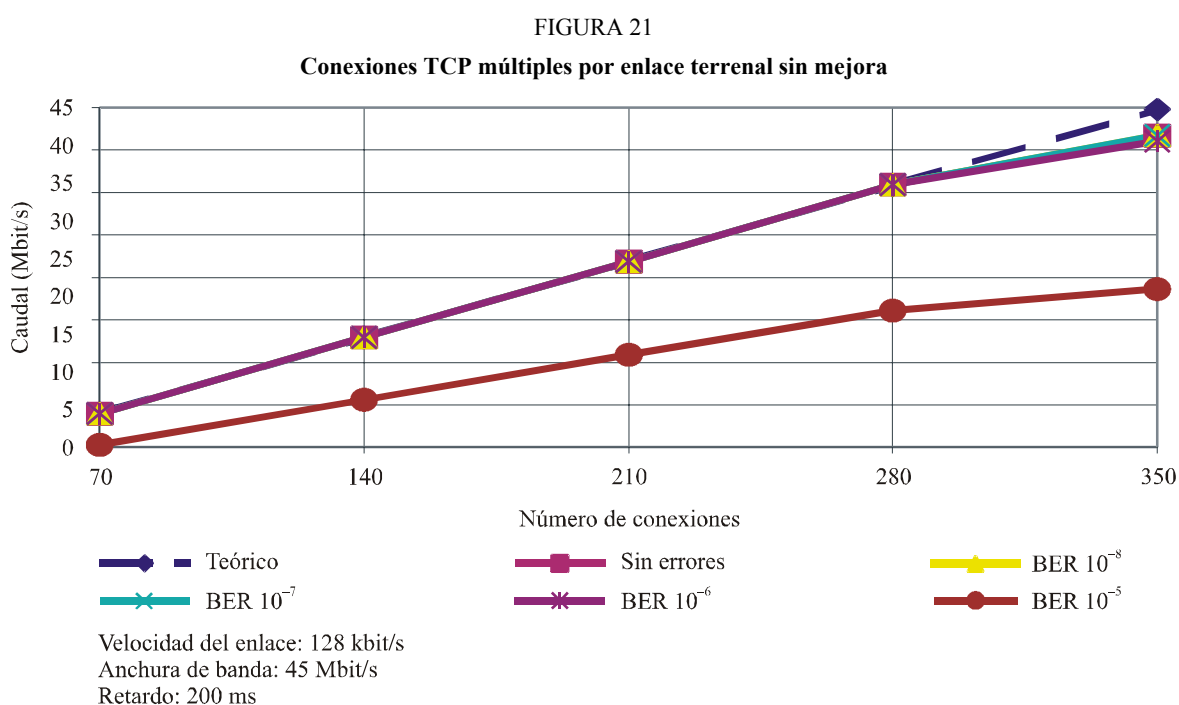
Más que una conexión TCP única grande, el ISP que da servicio a usuarios residenciales conectados a Internet da soporte a grandes números de pequeñas conexiones en subredes. Las velocidades de la conexión TCP suelen generalmente estar limitadas por la velocidad de la conexión del usuario al ISP. El siguiente 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.

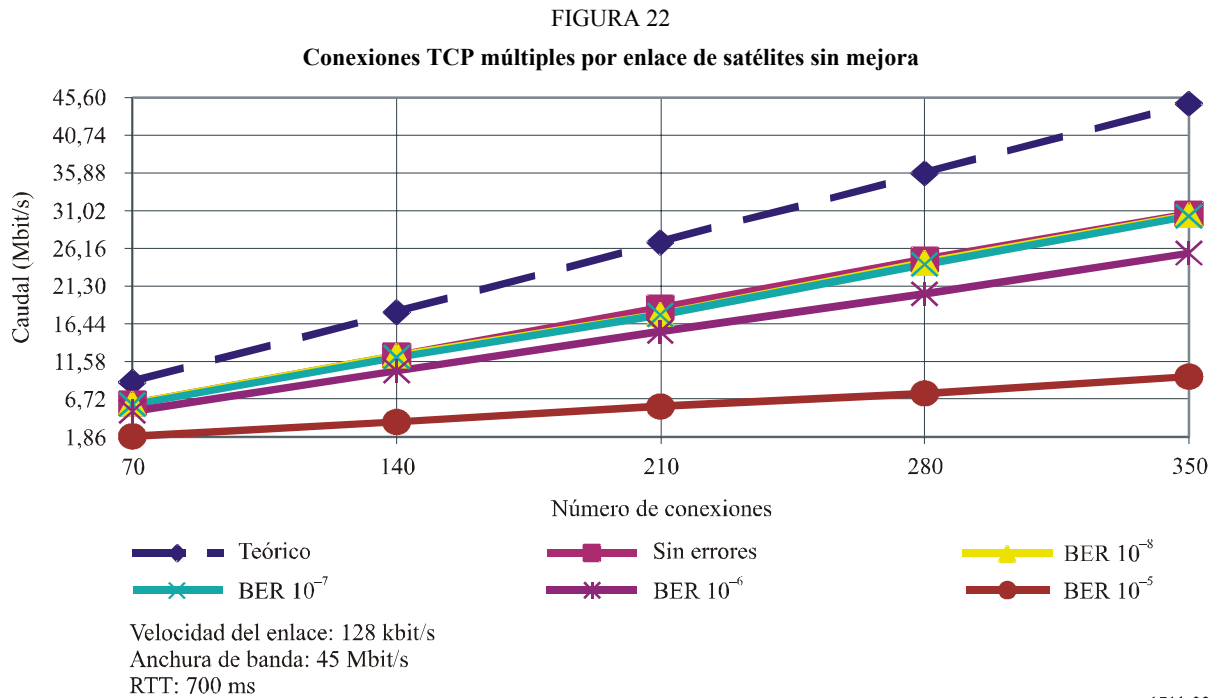
2.3.3.3 Conexiones TCP múltiples sin mejora

Las Figs. 21 y 22 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. 21 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. 22 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.





1711-22

2.3.3.4 Conexiones TCP múltiples con mejora de la pasarela de protocolo

Las Figs. 23 y 24 ilustran los efectos de la adición a la red de la pasarela de protocolos. La Fig. 23 muestra el caudal acumulado para un retardo de 200 ms, mientras que la Fig. 24 muestra los resultados para un retardo de 700 ms.

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.

FIGURA 23

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

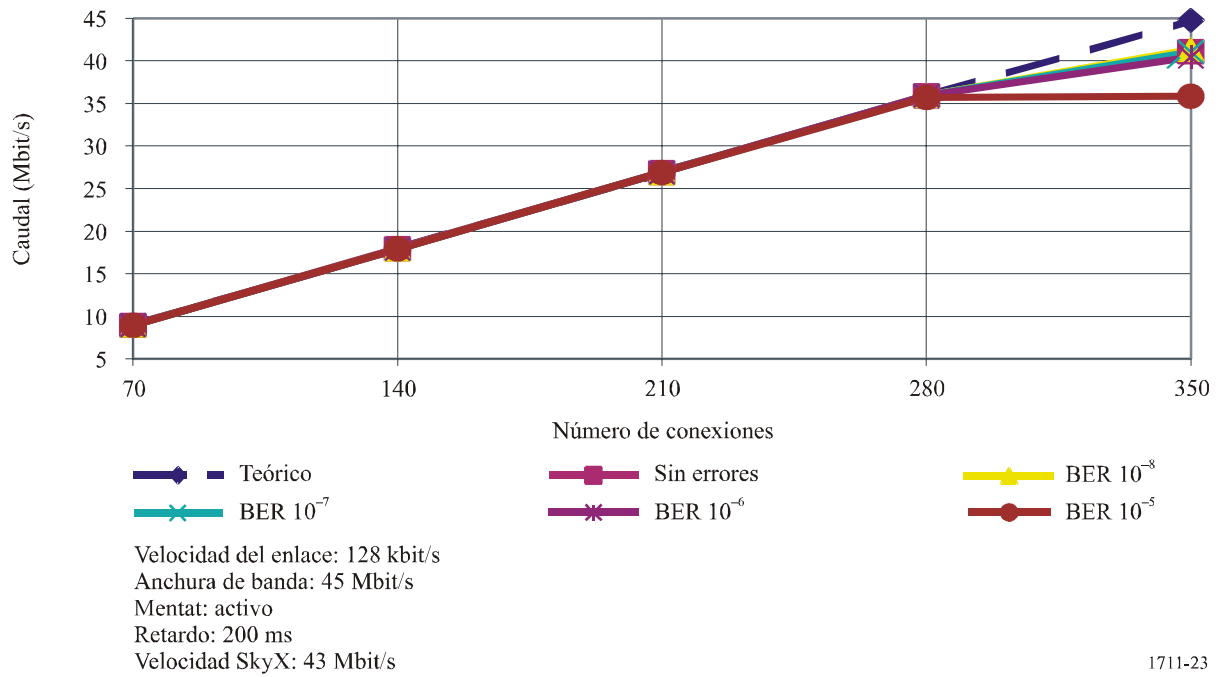
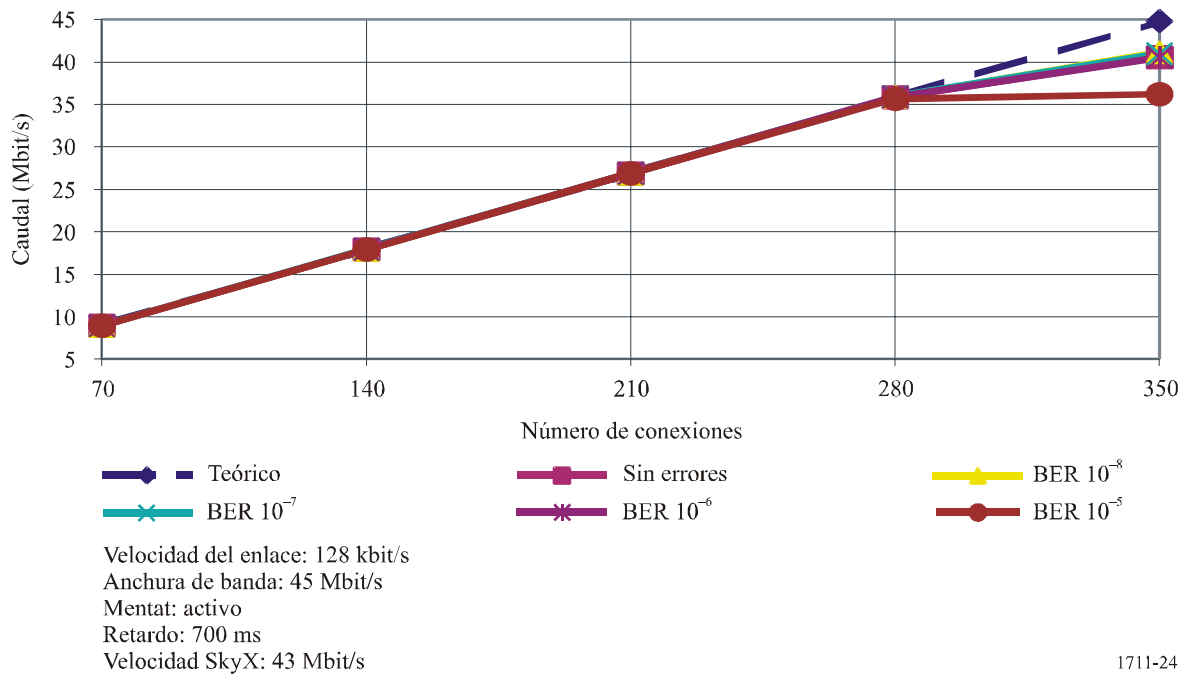


FIGURA 24

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

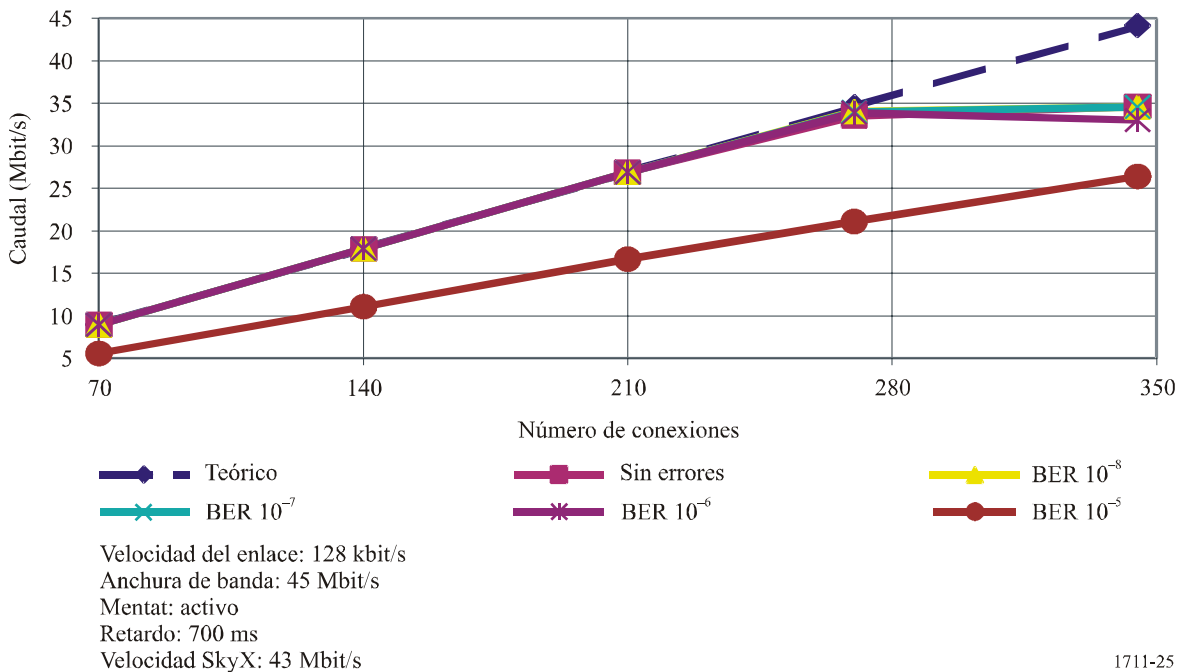


2.3.3.5 Conexiones TCP múltiples con pérdidas terrenales de datos

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. 25, 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. 25 con las Figs. 22 y 24 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 25
Conexiones TCP múltiples por enlaces combinados satélite-terrenal con mejora de la pasarela de protocolos



1711-25

2.3.4 Conclusiones

El resultado de este ensayo 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. Los ensayos muestran también que el caudal TCP no resulta afectado, siempre que la BER del enlace sea mejor de 10⁻⁷.

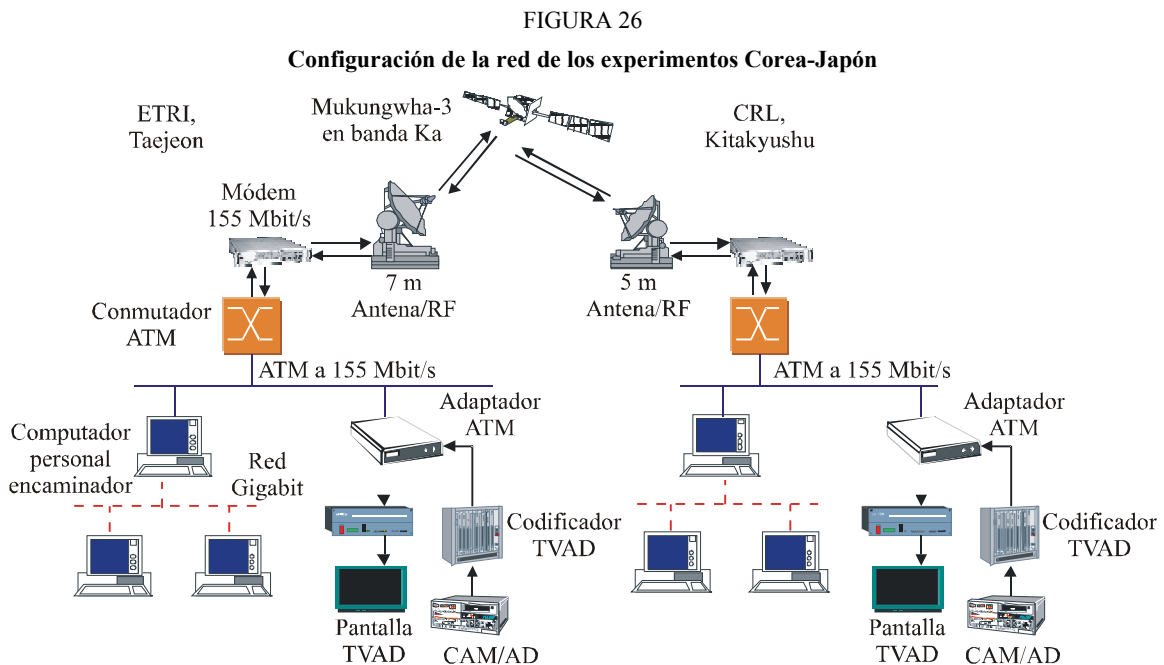
3 Características del TCP en una red ATM por satélite

El § 3.1 describe el entorno y las configuraciones de una red experimental. El § 3.2 presenta los resultados del caudal TCP cuando se mide éste en una red de satélite basada en ATM. El § 3.3 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 § 3.4 resume las conclusiones a las que se llega mediante este experimento.

3.1 Configuración de la red

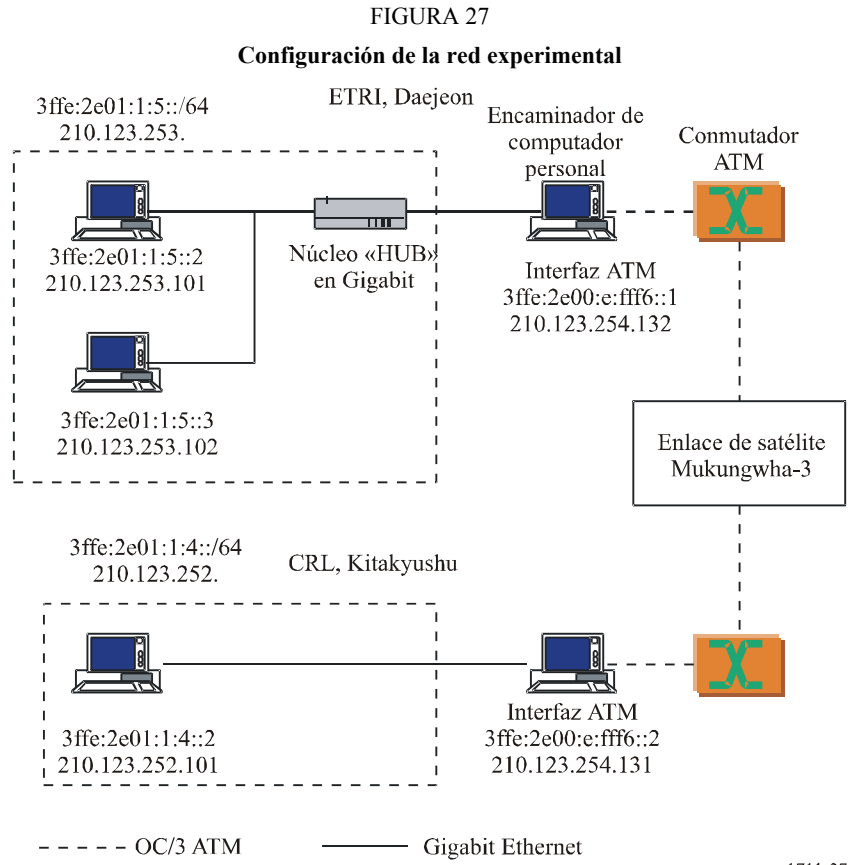
La Fig. 26 muestra las configuraciones de la red de gran velocidad ATM por satélite Corea-Japón. En este experimento conjunto, se instalaron dos estaciones en Tierra, con antenas de 7 m en ETRI, Corea y de 5 m en CRL, Japón. Las especificaciones principales del enlace ATM por satélite en 155 Mbit/s Corea-Japón 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 TOP: 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.



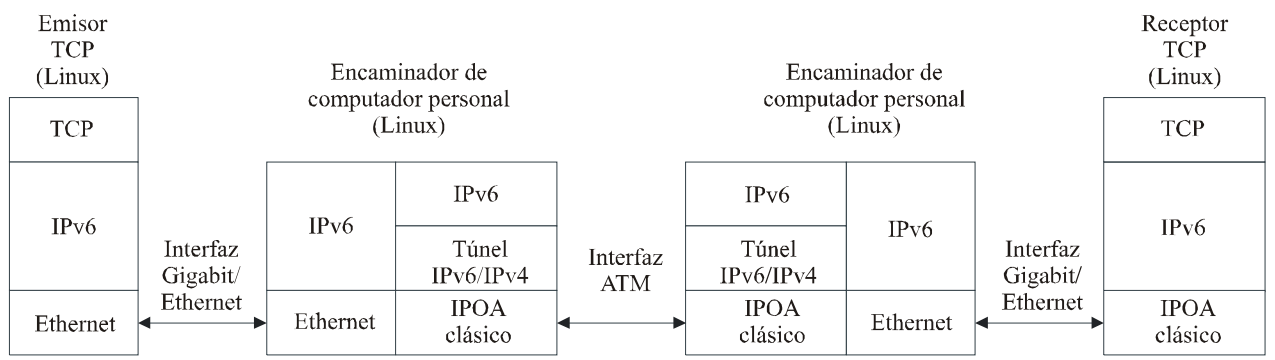
Toda la red puede dividirse en dos redes -la subred en gigabits y la red medular ATM OC-3 que incluye el enlace por satélite OSG. Los encaminadores basados en un computador personal cuentan ambos con interfaces de red en gigabits y ATM que interconectan dos redes. La red experimental se configuró con 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. 27 y 28 muestran las configuraciones detalladas y las pilas de protocolos de la red experimental.



1711-27

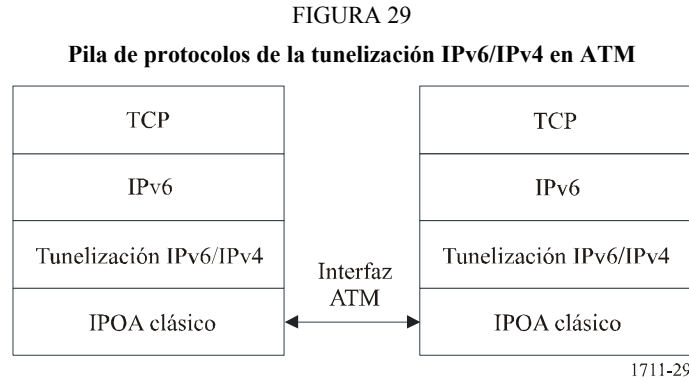
FIGURA 28
Pilas de protocolos de la red experimental interconectada a través de un encaminador de computador personal



1711-28

3.2 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. 29 muestra la pila de protocolos de la tunelización IPv6/IPv4 por la red de satélite 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:

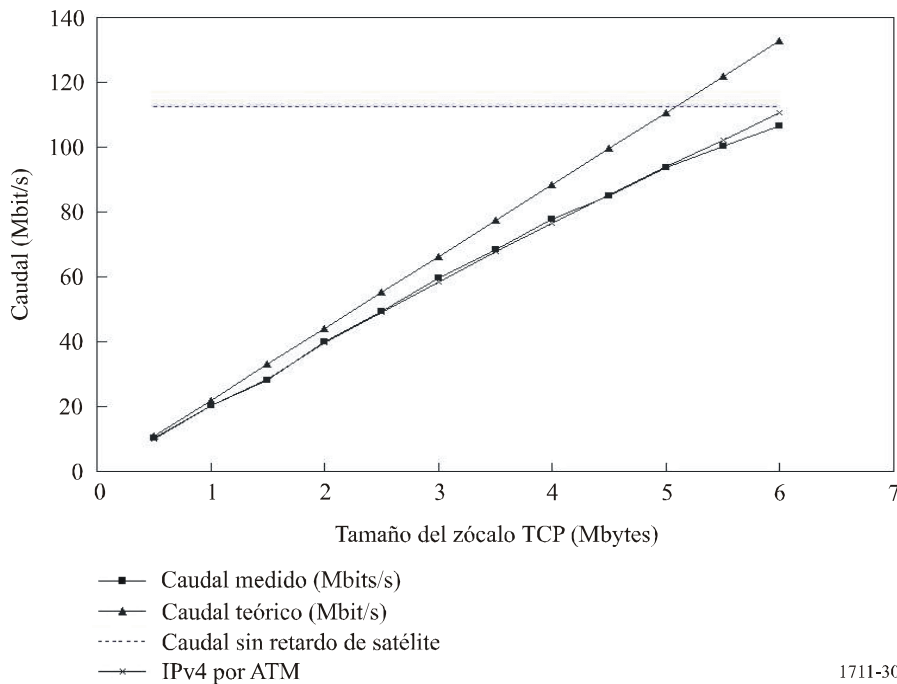
$$\eta = \frac{9\ 100}{(8 + 20 + 40 + 20 + 9\ 100 + 20 + 8)} = \frac{9\ 100}{9\ 224} = 0,986$$

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. 30 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 30

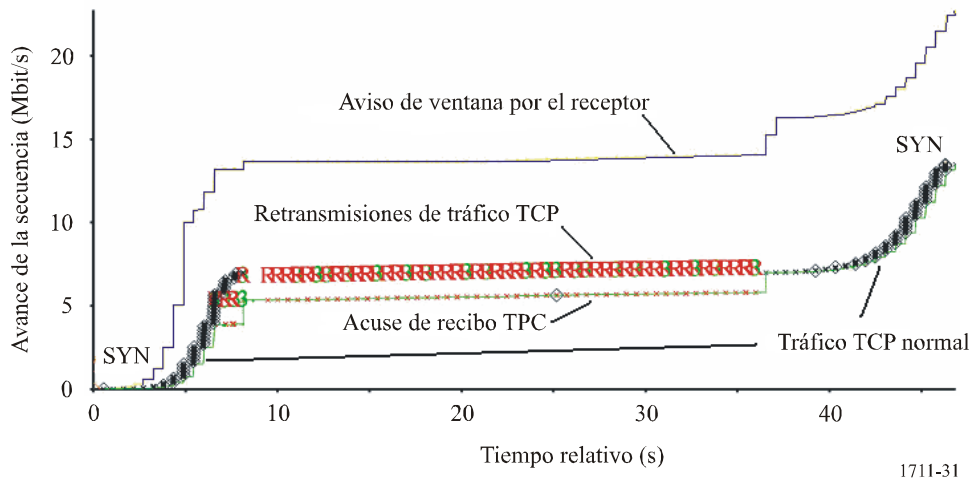
Caudal TCP de la red ATM por satélite con diversos tamaños de ventana TCP

1711-30

3.3 Comportamientos TCP en redes heterogéneas que incluyen enlaces de 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 etapa tampón para evitar las pérdidas de paquetes. Los encaminadores actuales no tienen etapas 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. 31 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 etapa 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.

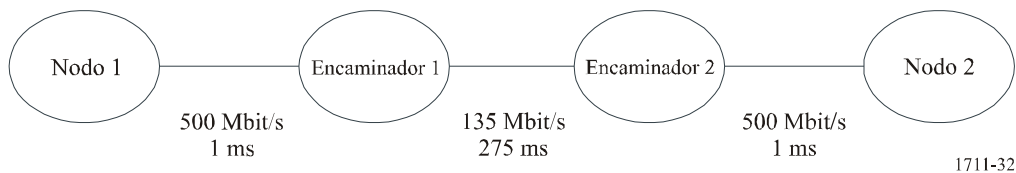
FIGURA 31
Gráfico de la secuencia TCP en la fuente del tráfico TCP



3.3.1 Simulación del tamaño del tampón

El tamaño del tampón del encaminador intermedio puede evaluarse mediante cálculos y simulación. La Fig. 32 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 32
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 tamaño máximo de la venta TCP durante el arranque lento, el número 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 tamaño máximo 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 envía el doble de ACK que recibe a lo largo de un intervalo RTT. El tampón de la cola requerido del nodo intermedio es la mitad del tamaño máximo de la ventana TCP porque al principio del RTT el encaminador recibe una velocidad doble de la que envía con lo que vacía la cola en la siguiente mitad del RTT. Cuando la anchura de banda máxima disponible del TCP en la red de gigabits y en la red ATM son de 500 Mbit/s y 135 Mbit/s respectivamente, el tamaño requerido teórico del tampón de la red experimental es de unos 3 187 paquetes. Las Figs. 33 y 34 son el resultado de la simulación utilizando un simulador de red-2. La Fig. 33 muestra la secuencia TCP, el ACK y el número de paquetes en la cola intermedia. La Fig. 34 muestra el caudal TCP durante los primeros 10 s del emisor y del receptor. El caudal máximo se obtiene cuando el tamaño del tampón TCP es de unos 6 374 paquetes y en ese momento, el máximo de la cola del encaminador intermedio era de 2 279 paquetes.

FIGURA 33

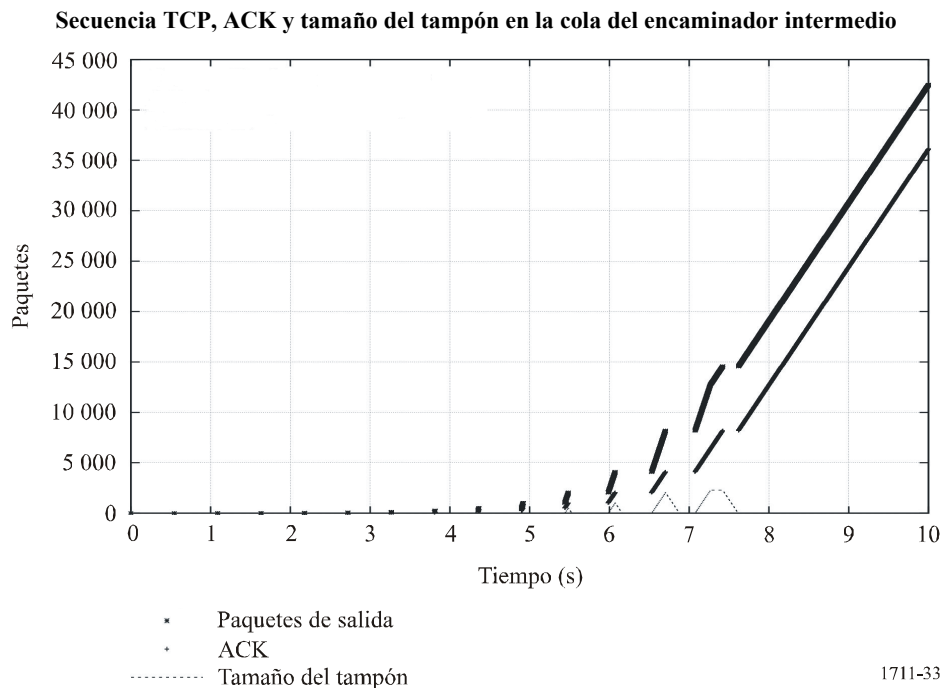
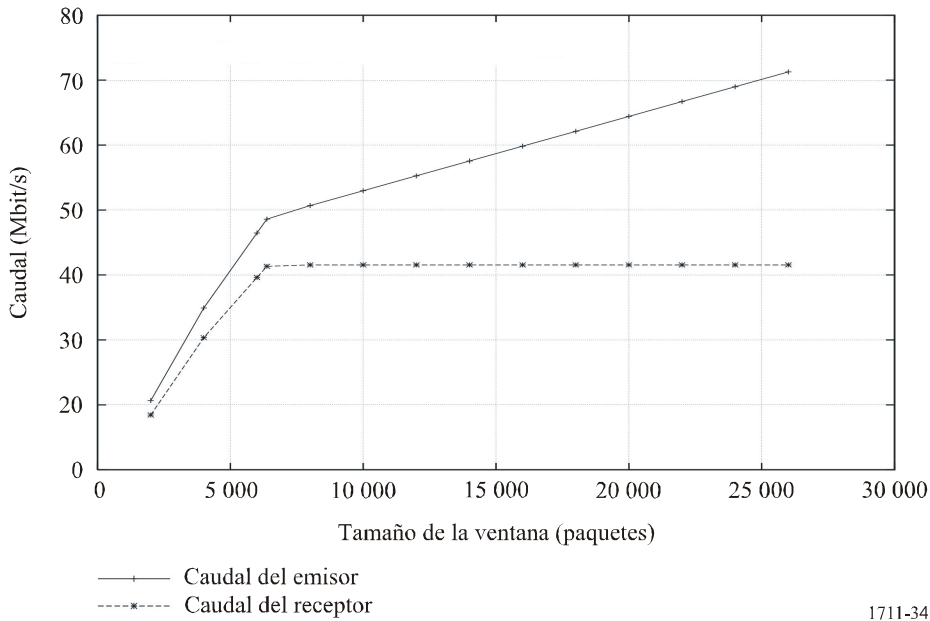


FIGURA 34

Caudales TCP con diversos tamaños de tampón



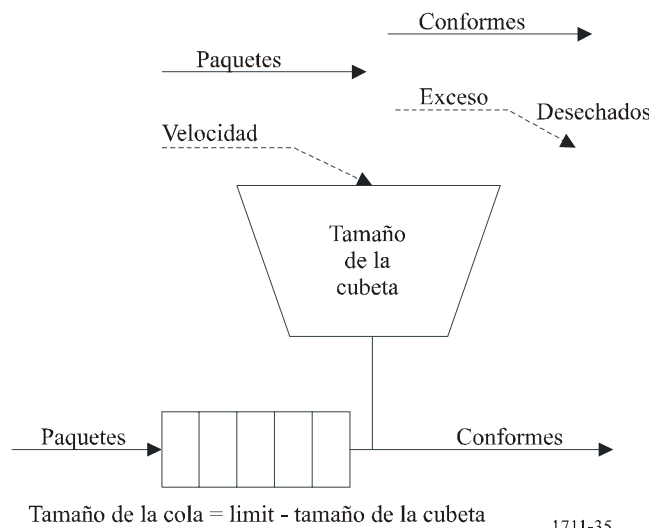
1711-34

3.3.2 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. 35 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 35

Parámetros básicos para la disciplina de cola TBF

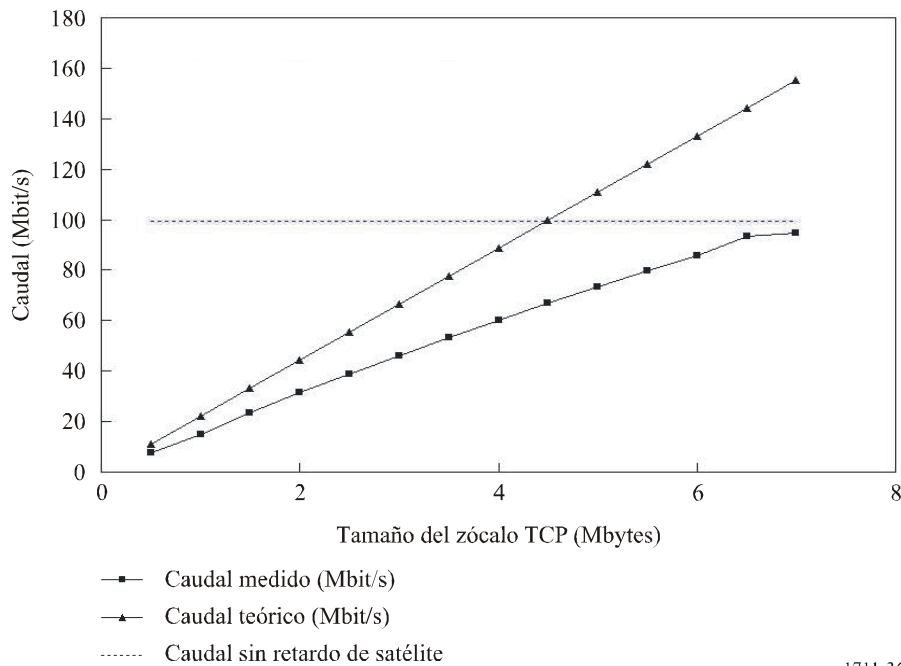


1711-35

La Fig. 36 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. 37 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 36

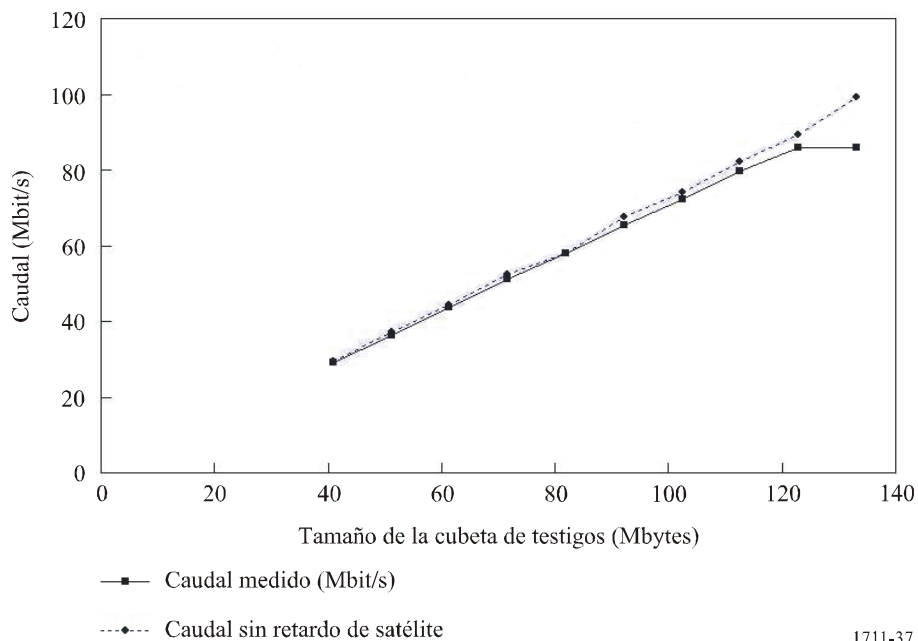
Caudales TCP con diversos tamaños de zócalo TCP cuando se utiliza el TBF en el emisor TCP



1711-36

FIGURA 37

Caudales TCP con diversos tamaños de cubeta de testigos



1711-37

3.4 Conclusiones

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 etapa 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.

4 Características del TCP en las redes de acceso por satélite

Este punto presenta los resultados de los ensayos efectuados por Star One, una compañía brasileña de satélites. El § 4.1 describe la arquitectura de la red utilizada en los ensayos. El § 4.2 ilustra las mediciones de la calidad del sistema utilizando una división de tres segmentos e incluye los resultados de éstas.

Los acuses de recibo locales Hub y VSAT mejoran 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 este ensayo reduce la tara del sistema e incrementa la eficacia.

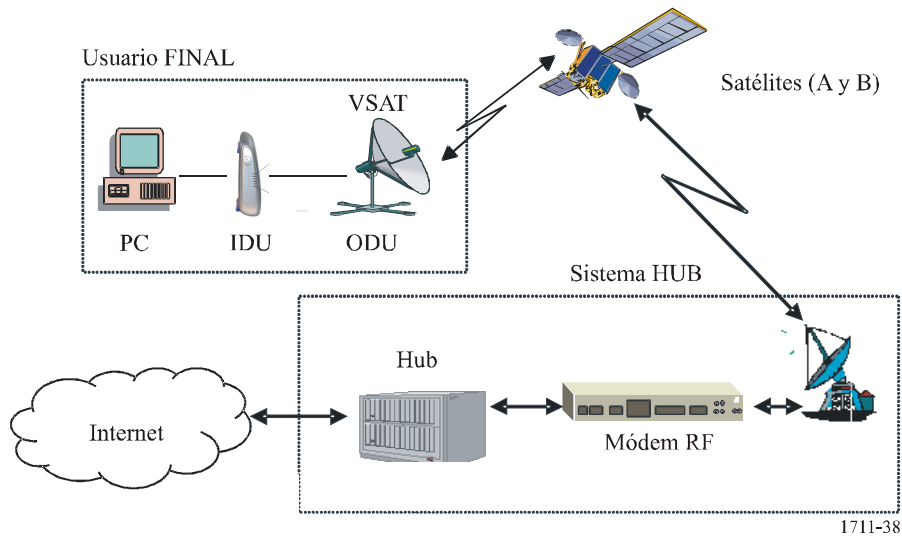
4.1 Arquitectura de la red y configuración

4.1.1 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. 38 muestra la arquitectura del sistema utilizado para obtener los datos de calidad.

FIGURA 38

Arquitectura de la red



4.1.2 Configuración

4.1.2.1 VSAT y características del satélite

Hay dos satélites geostacionarios 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 unas 1 200 VSAT.

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

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

Las características de las VSAT se indican en el Cuadro 14. Las diversas relaciones E_b/N_0 necesarias en el enlace de salida se indican en el Cuadro 15.

CUADRO 14

Características de la 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 15

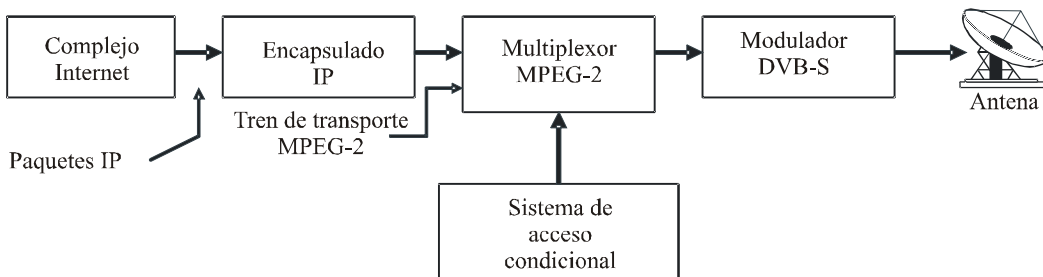
Características del enlace de salida

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

4.1.2.2 Protocolos

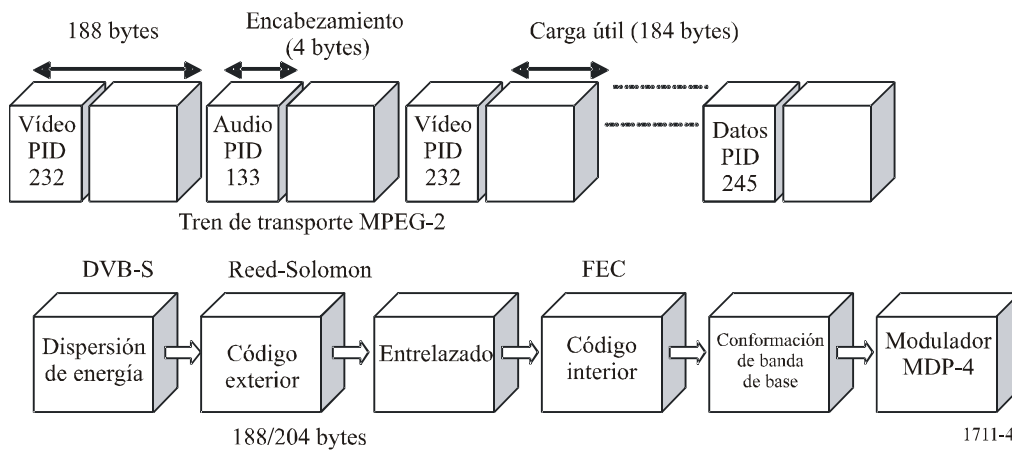
El protocolo utilizado en el enlace ascendente desde la unidad Hub a la VSAT (salida) es un tren de transporte MPEG-2 por DVB-S. Los paquetes IP se encapsulan, multiplexan y modulan en la unidad Hub, como se describe en las Figs. 39 y 40.

FIGURA 39
MPEG por DVB-S



1711-39

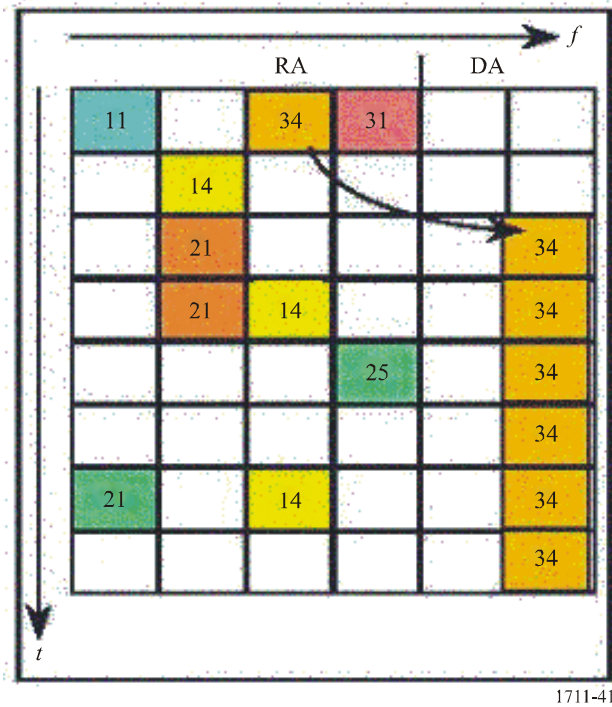
FIGURA 40
Tren de transporte MPEG



1711-40

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. 41.

FIGURA 41
Canales inversos



4.2 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.

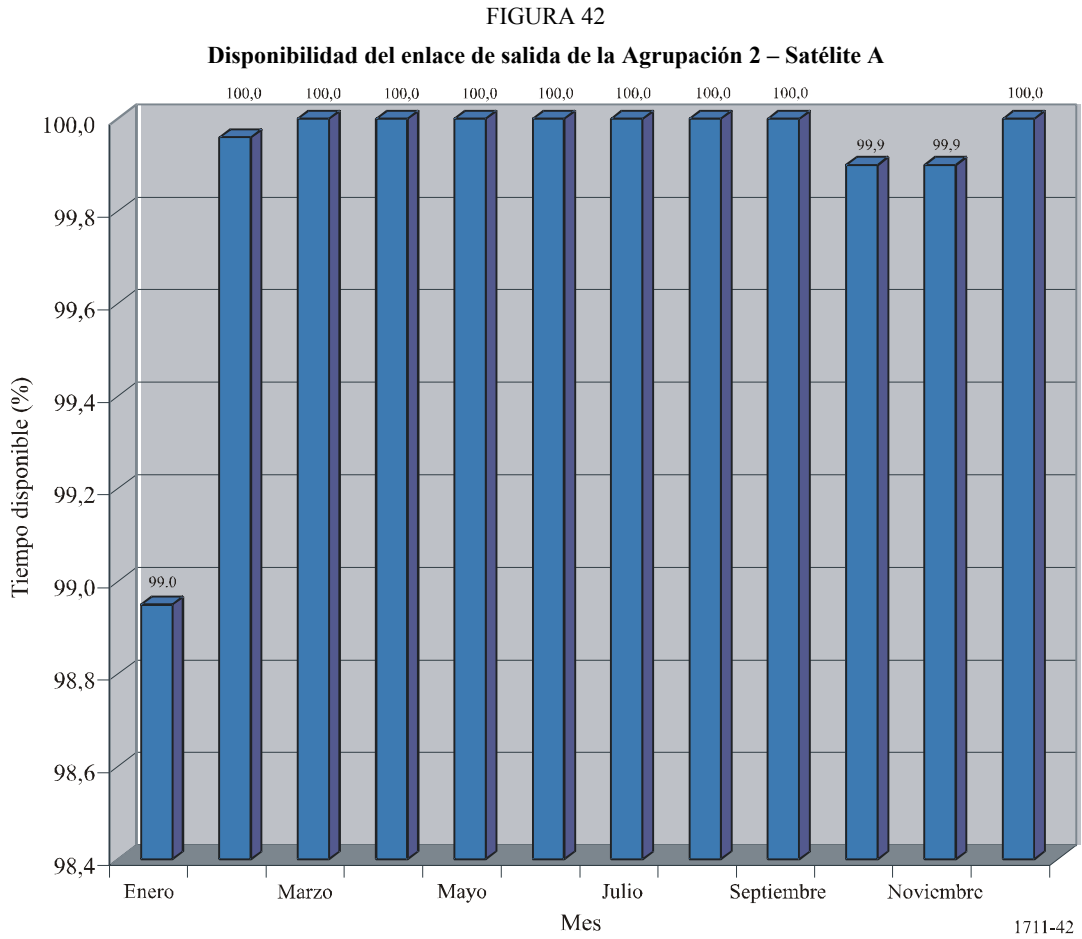
4.2.1 Disponibilidad

El Cuadro 16 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.

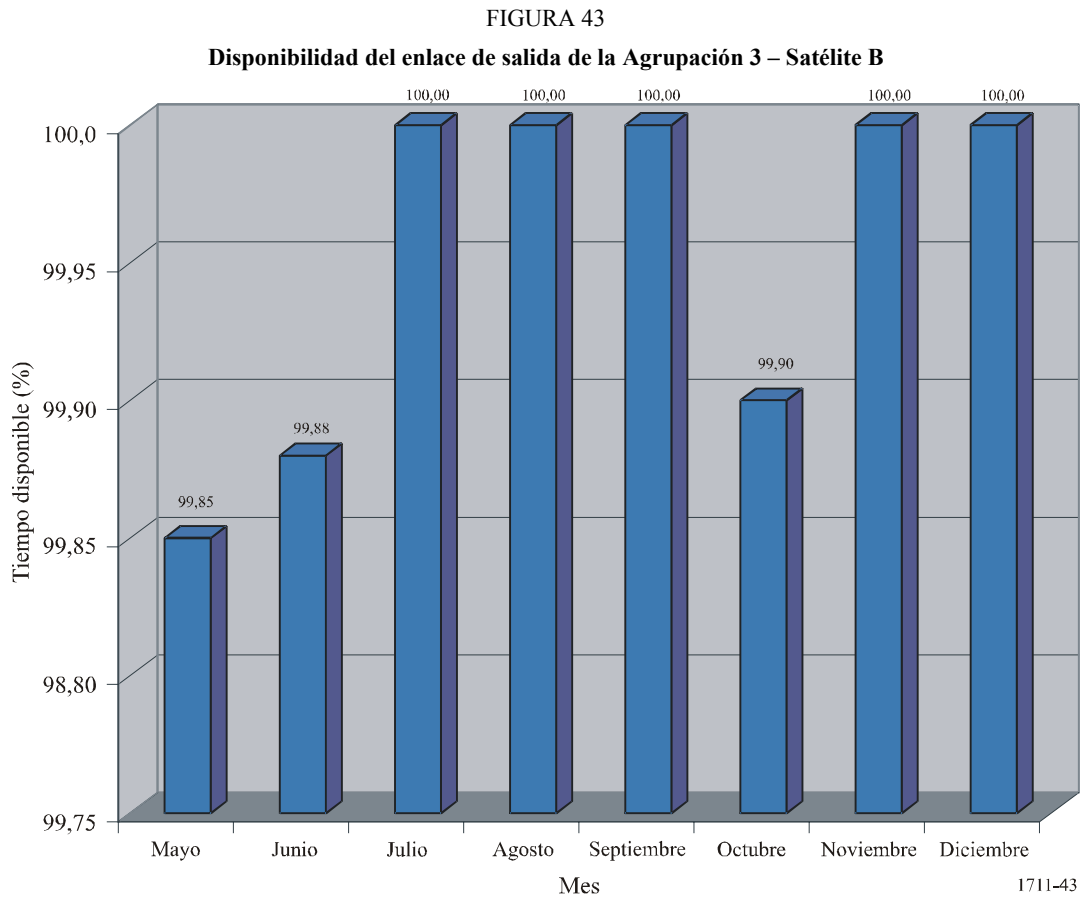
CUADRO 16
Disponibilidad del sistema de salida

Mes	Agrupaciones			Sistema			
	Agrupación 1	Agrupación 2	Agrupación 3	Disponibilidad (lluvia, centelleo, etc.)	Indisponibilidad (lluvia, centelleo, etc.)	Indisponibilidad (lluvia, centelleo, etc.)/ hora (de un mes a otro)	Disponibilidad (lluvia, centelleo, etc.)/ hora (de un mes a otro)
Enero	100,0	99,0	N/A	98,6	1,4	10,416	733,584
Febrero	100,0	100,0	N/A	98,9	1,1	7,392	664,608
Marzo	99,9	100,0	N/A	99,8	0,2	1,488	742,512
Abril	100,0	100,0	N/A	100,0	0,0	0,000	744,000
Mayo	100,0	100,0	99,9	100,0	0,0	0,000	720,000
Junio	100,0	100,0	99,9	100,0	0,0	0,000	744,000
Julio	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	0,000	720,000
Agosto	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	0,000	744,000
Septiembre	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	0,000	720,000
Octubre	99,9	99,9	99,9	100,0	0,0	0,000	744,000
Noviembre	100,0	99,9	100,0	99,9	0,1	0,720	719,280
Diciembre	100,0	100,0	100,0	99,9	0,1	0,744	743,256
Media anual	100,0	99,9	100,0	99,8	0,2	1,730	728,270

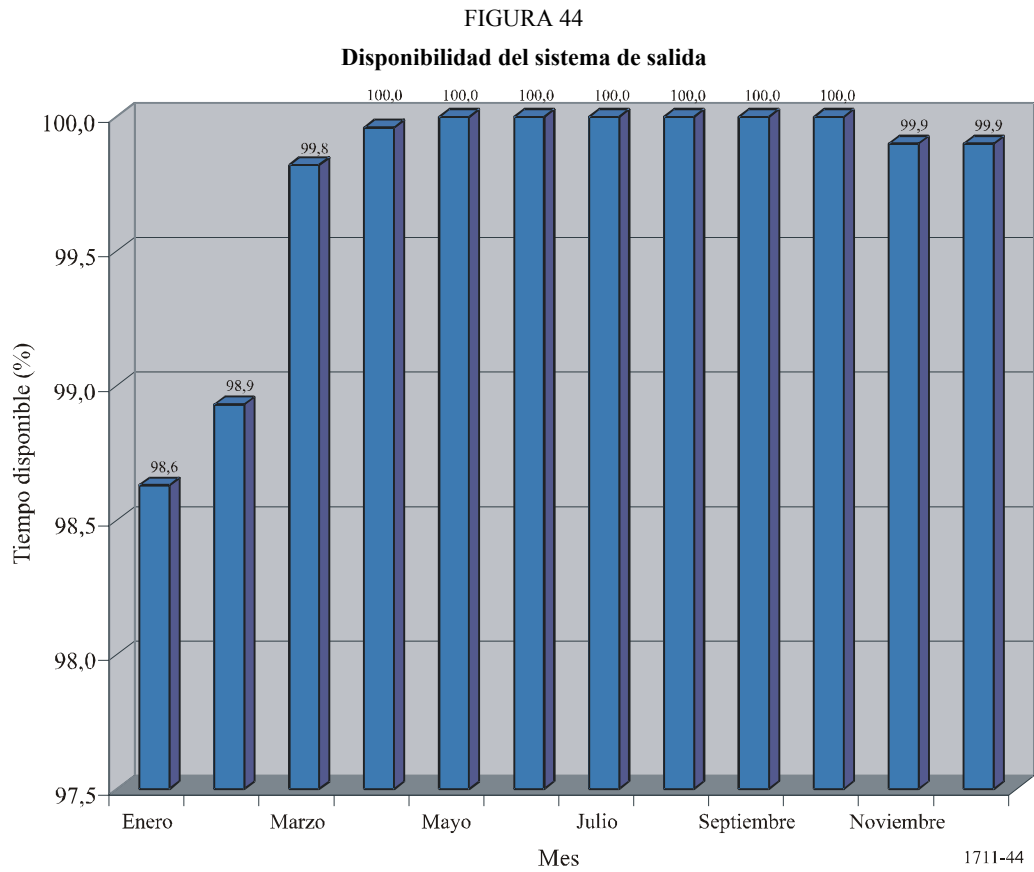
La Fig. 42 muestra la disponibilidad de la Agrupación 2 que utiliza 3 200 VSAT y el satélite A, debida a las condiciones atmosféricas en cada mes del año 2003.



La Fig. 43 muestra la disponibilidad debida a la lluvia y a otras condiciones atmosféricas de la Agrupación 3 que utiliza 3 600 VSAT y el satélite B, desde mayo hasta diciembre de 2003.



La Fig. 44 muestra la disponibilidad debida a la lluvia y a otras condiciones atmosféricas del sistema de salida (8 000 VSAT) que utiliza los satélites A y B, en cada mes de 2003.



4.2.2 Caudal

El Cuadro 17 muestra los caudales de la Agrupación 2 y sus respectivos HSP. Se tomaron unas 200 mediciones/día durante cada día de febrero de 2004. El caudal máximo es de 319,11 kbit/s.

CUADRO 17
Caudal medio de la Agrupación 2

Fecha de referencia	Valor medio (kbit/s)			
	Agrupación 2	HSP 1	HSP 2	HSP 3
02/01/04	314,14	314,96	313,13	314,32
02/02/04	307,66	314,31	303,18	305,49
02/03/04	306,35	312,83	303,72	302,51
02/04/04	306,85	313,92	303,61	303,02
02/05/04	304,75	308,57	303,19	302,48
02/06/04	303,58	306,76	305,28	298,70
02/07/04	310,87	311,00	309,50	312,10
02/08/04	314,78	316,82	311,92	315,60
02/09/04	303,58	305,23	304,28	301,23
02/10/04	302,13	304,34	301,11	300,93
02/11/04	302,33	304,77	299,06	303,16
02/12/04	313,03	312,16	316,88	310,04
02/13/04	306,89	304,71	312,99	302,97
02/14/04	311,65	311,76	316,49	306,69
02/15/04	319,11	317,44	321,36	318,52
02/16/04	305,80	307,72	309,28	300,40
02/17/04	313,06	313,62	316,66	308,90
02/18/04	306,48	305,78	310,73	302,93
02/19/04	312,25	304,46	308,19	324,09
02/20/04	303,92	304,96	305,54	301,26
02/21/04	311,64	313,07	311,59	310,25
02/22/04	314,45	316,07	312,51	314,77
02/23/04	311,23	312,86	310,76	310,08
02/24/04	312,89	313,44	313,04	312,19
02/25/04	306,45	307,98	304,75	306,63
02/26/04	303,26	304,03	301,08	304,68
02/27/04	304,36	306,54	304,20	302,35
02/28/04	312,95	314,71	313,99	310,15
02/29/04	313,78	314,66	313,43	313,26

El Cuadro 18 muestra los caudales de la Agrupación 3 y sus respectivos HSP. Se tomaron unas 200 mediciones/día durante cada día de febrero de 2004. El caudal máximo era de 262,35 kbit/s.

CUADRO 18
Caudal de la Agrupación 3

Fecha de referencia	Valor medio (kbit/s)				
	Agrupación 3	HSP 1	HSP 2	HSP 3	HSP 4
02/01/04	255,55	250,85	256,56	263,72	263,72
02/02/04	253,18	244,96	252,73	267,17	267,17
02/03/04	248,84	242,61	248,14	261,28	261,28
02/04/04	247,09	241,08	245,35	255,85	255,85
02/05/04	250,08	245,11	247,89	263,84	263,84
02/06/04	247,32	240,75	244,80	259,46	259,46
02/07/04	249,72	243,19	247,17	267,40	267,40
02/08/04	249,80	242,75	249,98	266,99	266,99
02/09/04	253,24	244,22	248,74	274,18	274,18
02/10/04	247,89	237,55	245,33	267,71	267,71
02/11/04	253,98	247,96	252,15	266,42	266,42
02/12/04	254,68	246,75	253,03	272,60	272,60
02/13/04	254,59	248,29	252,55	266,69	266,69
02/14/04	262,35	256,94	259,45	282,42	282,42
02/15/04	256,41	250,58	256,43	270,07	270,07
02/16/04	256,46	248,50	256,95	265,66	265,66
02/17/04	256,73	247,34	256,32	270,59	270,59
02/18/04	252,14	244,07	249,90	266,22	266,22
02/19/04	253,13	246,87	253,71	264,87	264,87
02/20/04	250,83	243,26	244,38	270,81	270,81
02/21/04	256,81	256,27	252,30	264,39	264,39
02/22/04	254,83	253,47	254,08	263,59	263,59
02/23/04	258,27	251,77	256,24	275,64	275,64
02/24/04	259,50	256,27	254,82	276,89	276,89
02/25/04	252,52	246,91	247,29	267,84	267,84
02/26/04	246,89	246,56	245,30	250,36	250,36
02/27/04	243,98	240,79	241,94	249,46	249,46
02/28/04	254,07	246,89	249,99	270,75	270,75
02/29/04	257,48	252,96	256,60	272,69	272,69

4.2.3 Tráfico

El Cuadro 19 muestra el tráfico total de entrada de la Agrupación 2 medido durante cada día de febrero de 2004.

CUADRO 19
Tráfico de la Agrupación 2

Fecha de referencia	Tráfico total/día (Gbyte)			
	Agrupación 2	HSP 1	HSP 2	HSP 3
02/01/04	4,158	3,787	4,198	4,488
02/02/04	7,566	7,052	8,095	7,552
02/03/04	7,346	7,568	7,059	7,412
02/04/04	7,241	7,302	6,575	7,844
02/05/04	7,160	6,925	7,050	7,505
02/06/04	7,483	7,031	7,978	7,440
02/07/04	4,582	4,001	4,269	5,476
02/08/04	3,648	3,303	3,801	3,840
02/09/04	7,243	7,187	7,635	6,906
02/10/04	7,418	6,823	7,754	7,676
02/11/04	6,979	7,322	6,619	6,996
02/12/04	7,650	7,267	7,972	7,712
02/13/04	7,050	6,759	6,995	7,396
02/14/04	4,660	4,348	4,131	5,500
02/15/04	3,729	3,339	3,849	3,998
02/16/04	7,438	6,639	7,681	7,993
02/17/04	7,295	6,600	7,337	7,947
02/18/04	6,911	6,977	6,817	6,939
02/19/04	7,137	6,618	7,192	7,600
02/20/04	7,158	6,240	7,570	7,666
02/21/04	4,698	4,521	5,250	4,324
02/22/04	3,558	3,146	3,899	3,629
02/23/04	4,873	4,442	5,420	4,758
02/24/04	4,212	3,920	4,059	4,658
02/25/04	6,351	5,895	7,072	6,086
02/26/04	7,020	6,205	7,200	7,654
02/27/04	7,452	7,069	7,971	7,317
02/28/04	4,309	3,999	4,045	4,882
02/29/04	3,961	3,638	4,733	3,513

El Cuadro 20 muestra el tráfico total de entrada de la Agrupación 3, medido cada día de febrero de 2004.

CUADRO 20
Tráfico de la Agrupación 3

Fecha de referencia	Tráfico total/día (Gbyte)				
	Agrupación 3	HSP 1	HSP 2	HSP 3	HSP 4
02/01/04	3,106	3,822	2,920	3,677	2,004
02/02/04	6,159	7,339	5,982	7,229	4,084
02/03/04	5,411	6,684	4,441	7,009	3,510
02/04/04	6,334	7,370	6,105	7,530	4,330
02/05/04	5,926	7,060	6,002	6,903	3,739
02/06/04	3,738	3,769	4,280	4,239	2,663
02/07/04	2,642	3,374	2,677	2,633	1,885
02/08/04	4,649	5,895	4,378	5,769	2,555
02/09/04	6,317	7,440	5,840	7,537	4,452
02/10/04	5,403	6,229	5,175	6,431	3,777
02/11/04	6,042	6,971	5,171	7,459	4,566
02/12/04	5,797	6,449	5,532	6,927	4,279
02/13/04	3,757	3,637	4,035	4,730	2,624
02/14/04	3,052	2,790	2,984	4,229	2,208
02/15/04	5,865	6,723	5,203	7,058	4,477
02/16/04	5,052	6,445	3,839	5,812	4,113
02/17/04	5,983	6,939	5,309	7,486	4,199
02/18/04	5,730	6,297	4,864	7,332	4,428
02/19/04	5,996	7,087	5,427	7,231	4,238
02/20/04	3,948	3,699	3,919	4,534	3,640
02/21/04	2,792	3,269	2,391	2,935	2,574
02/22/04	4,155	4,041	4,269	4,330	3,978
02/23/04	3,146	3,163	3,172	3,530	2,721
02/24/04	5,264	5,228	5,360	6,264	4,204
02/25/04	6,081	6,896	5,658	6,630	5,142
02/26/04	6,202	6,964	6,342	7,218	4,282
02/27/04	3,707	3,528	4,133	4,308	2,860
02/28/04	3,167	3,193	2,918	3,857	2,702

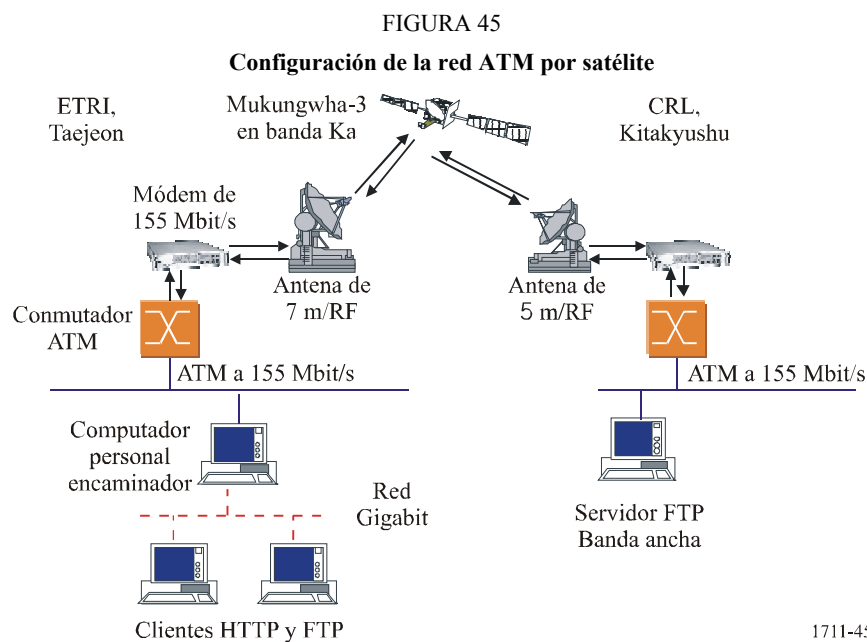
5 Mediciones del protocolo de aplicación (FTP y HTTP)

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 § 5.1 describe la configuración de la red para el experimento. En el § 5.2 se presentan los resultados experimentales de los ensayos efectuados con FTP. El § 5.3 presenta brevemente el HTTP y muestra los resultados experimentales de los ensayos efectuados con dicho HTTP. En el § 5.4 se resumen las conclusiones.

5.1 Configuración de la red ATM por satélite

La Fig. 45 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 § 3.2.



1711-45

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 NCFPT 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 NCFPT 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 21.

CUADRO 21

Detalles de las páginas

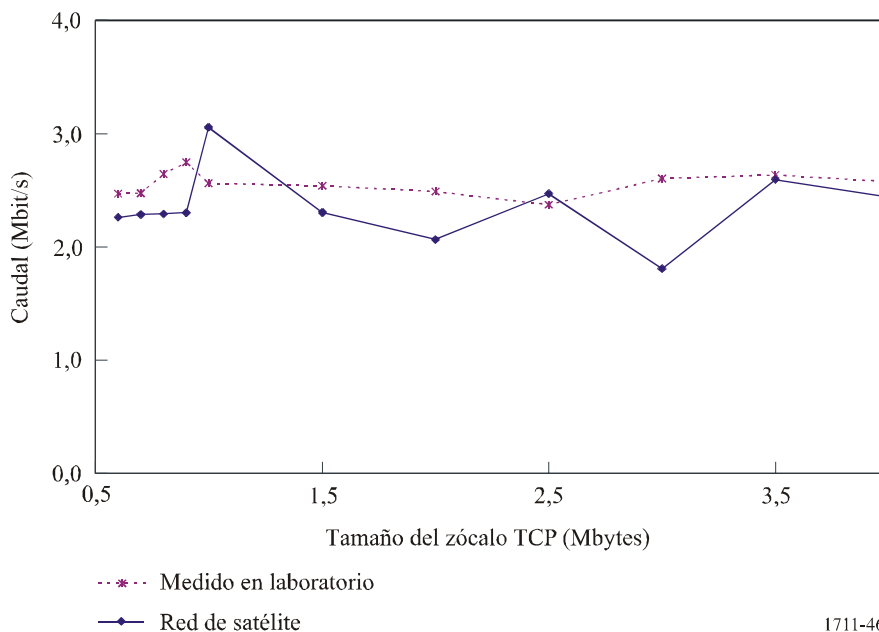
Página de la red	Número de elementos	Tamaño de la página (bytes)
China2008	30	212 207
CRL	21	80 333
FIFA	33	176 105
LionKing	16	393 672
RBLAB	8	72 103

5.2 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. 46 muestra el caudal FTP utilizando un enlace de satélite simulado y uno real.

FIGURA 46

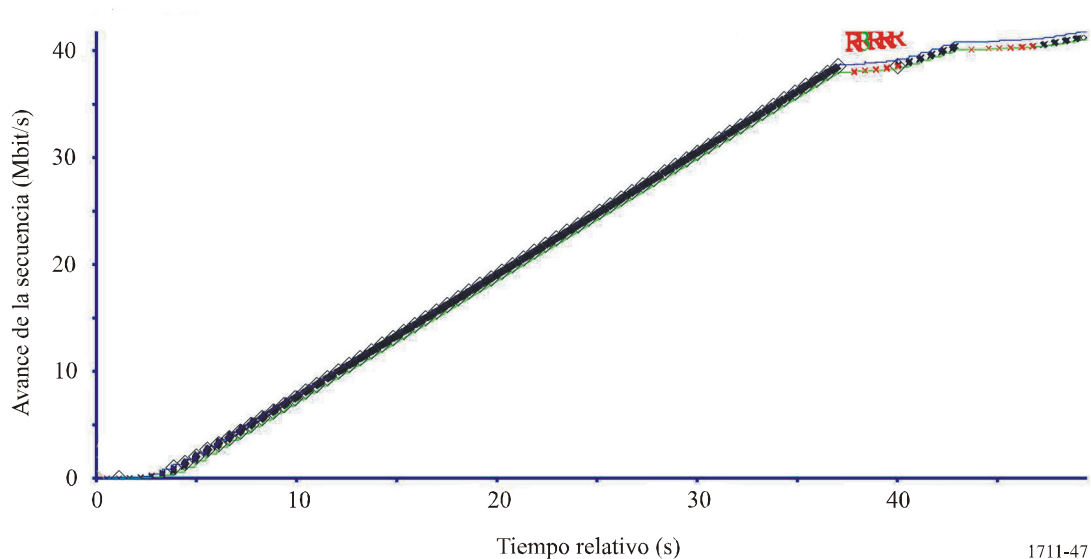
Caudal FTP por una red de satélite a 155 Mbit/s



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. 47 y 48 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. 48, el mecanismo de congestión TCP reduce el tamaño de la ventana a la mitad. La Fig. 47 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 47

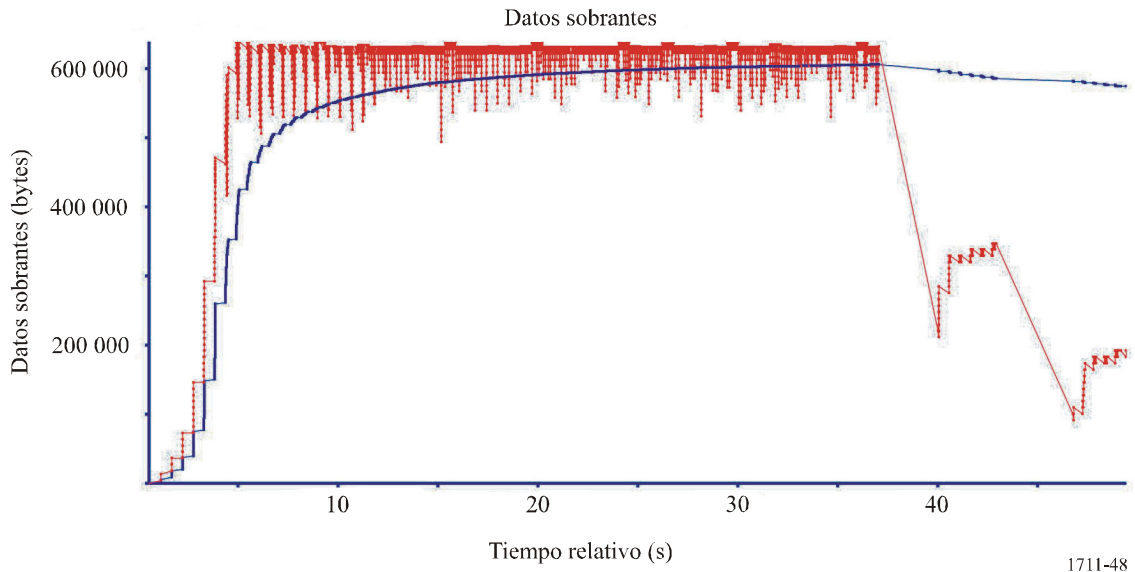
Gráfico de la secuencia temporal TCP
(Tamaño del tampón TCP = 1 Mbyte)



1711-47

FIGURA 48

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



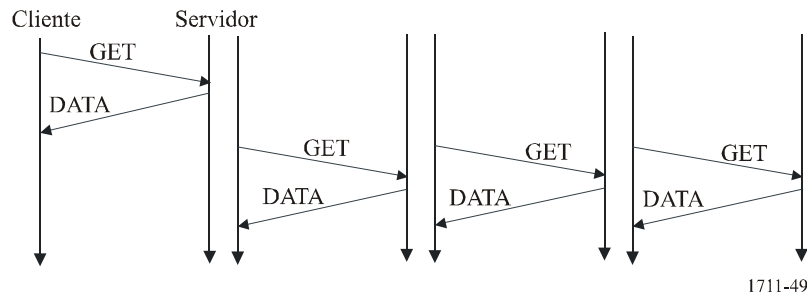
5.3 Caudal HTTP por un enlace de satélite OC-3

5.3.1 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. 49 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 49

HTTP 1.0 – Conexiones no persistentes

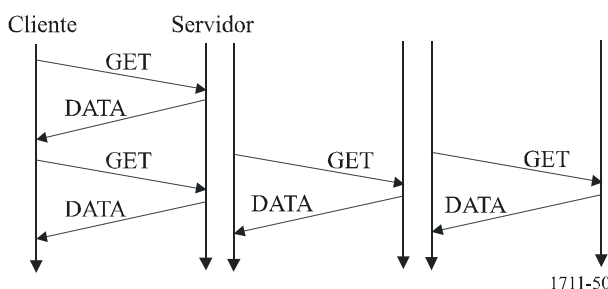


5.3.2 HTTP 1.0 con opción «viva»

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. 50 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 50

HTTP 1.0 – Opción «viva»

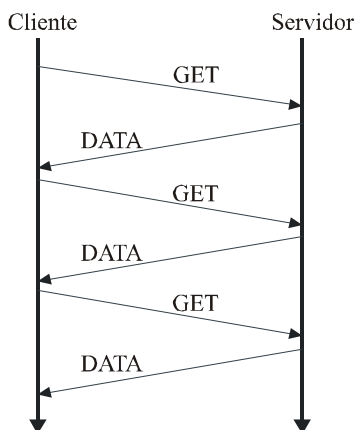


5.3.3 HTTP 1.1 sin envío por conducto

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. 51 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 51

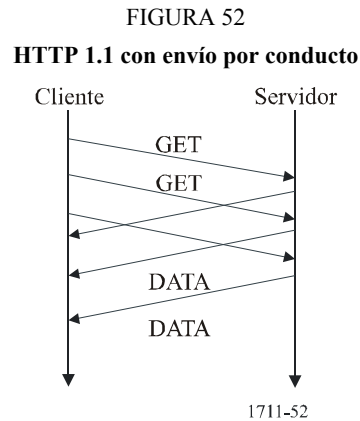
HTTP 1.1 sin envío por conducto



5.3.4 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. 52 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.



5.3.5 Resultados del ensayo

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 22 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 22

Características de la transferencia HTTP

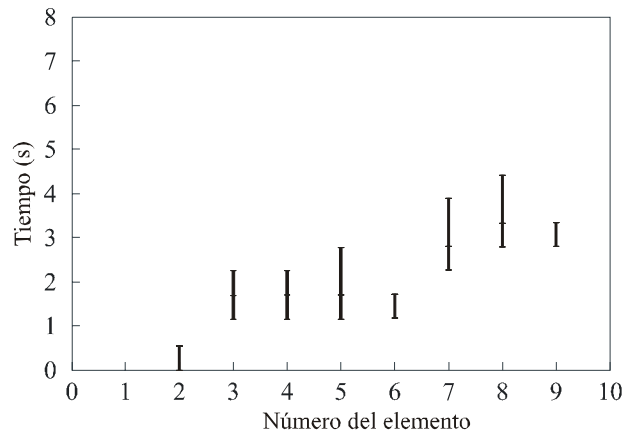
Página de la Red	Navegador de Red	Número de conexiones TCP	Número de paquetes	Tiempo total de respuesta (s)	Caudal medio (bit/s)
China2008 (30 objetos, 212 207 bytes)	Netscape 4.77	41	655	14,764	14 373
	Webbot sin conducto	1	306	21,158	10 030
	Webbot con conducto	1	318	4,363	48 638
CRL (21 objetos, 80 333 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.

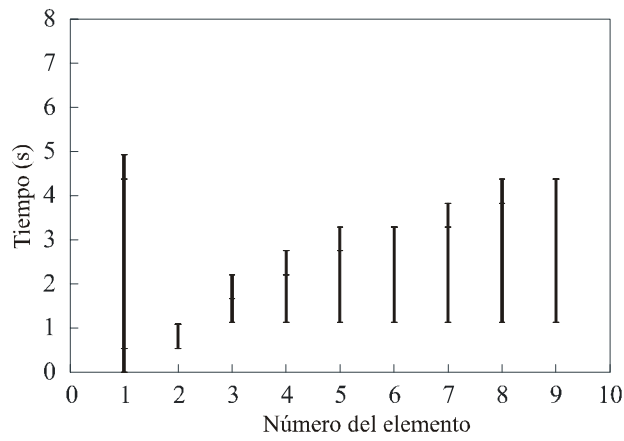
La Fig. 53 muestra la secuencia de petición de recuperación de elemento y de transferencia para la página RBLAB (siete elementos). El elemento 1 de las Figs. 53 b) y 53 c) representa el tiempo que dura toda la transferencia de la página de base y de los objetos asociados. Los otros tiempos representan 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. 53 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.

FIGURA 53

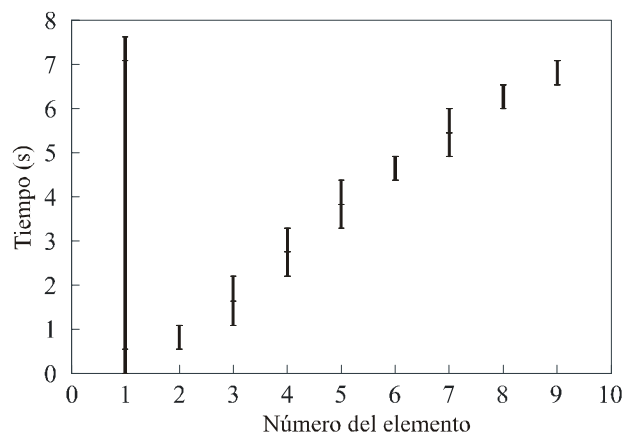
Página RBLAB y gráfico de su secuencia de transferencia de elementos



a) HTTP 1.0 sin opción (viva)



b) HTTP 1.1 con conducto (webbot)



c) HTTP 1.1 sin conducto (webbot)

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.

5.4 Conclusiones

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 del 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.
