
6 Adaptación dinámica de la tasa para el uso eficiente de TCP en redes Frame Relay

6.1 INTRODUCCIÓN

La congestión en las redes fijas es la principal causa en la pérdida de segmentos. El protocolo TCP ha ido evolucionando para poder reaccionar a las situaciones de congestión. Los esfuerzos se han centrado en dotar al protocolo de algoritmos de control y prevención de la congestión [Jac88, RFC2581]. No obstante, los algoritmos reaccionan tras la pérdida de un segmento, produciendo por tanto una reacción a la congestión a posteriori.

Algunas propuestas a nivel de transporte apuntan a la predicción de las situaciones de congestión, la más destacada es la implementación TCP Vegas [BrP95a, BrP95b, ADL95], que se basa en la evolución de algunos de los parámetros de TCP para predecirla.

Ahora bien, otro planteamiento para poder predecir la congestión en la red y actuar preventivamente, es que la red informe del estado de congestión en la misma. En este ámbito existen por ejemplo los protocolos de red ATM y Frame Relay que incluyen en la cabecera de las tramas una indicación de congestión. En [RFC2481] que está en fase experimental, se propone la incorporación de indicaciones de congestión en el protocolo de red IP (Internet Protocol). En todos los casos, la red notifica la congestión antes de descartar tramas, y será responsabilidad de las capas superiores el reaccionar ante esta indicación.

En este capítulo se presentan algunos de los resultados obtenidos del estudio del protocolo TCP para operar en redes Frame Relay, para solucionar los problemas de congestión, que surgieron a partir del trabajo realizado en un proyecto con la *European Space Agency* (ESA)¹. La tecnología de red con la que se disponía fue Frame Relay, y el protocolo de transporte escogido fue TCP debido a sus expectativas de penetración en las redes.

Las redes Frame Relay proporcionan información a los sistemas conectados a ellas, en tiempo real, sobre la carga o el estado de congestión en la red. Esto permite que los terminales puedan inyectar tráfico en la red por encima de la capacidad contratada (*Committed Information Rate* y *Burst Excess Rate*). De esta forma los usuarios tienen acceso al ancho de banda que no se utiliza, sin necesidad de pagar por él. Se evalúa un algoritmo de control de la tasa, que permite extender el protocolo TCP tradicional para sacar partido de las informaciones del estado de congestión que una red Frame Relay proporciona. Éste se basa en utilizar las notificaciones de Frame Relay: FECN (*Forward Explicit Congestion Notification*) y BECN (*Backward Explicit Congestion Notification*).

Concretamente, se ha evaluado el uso de los servicios de una red Frame Relay para la distribución de datos de telemetría de alta velocidad entre estaciones satélite receptoras de tierra y los emplazamientos remotos de proceso de datos [CCSDS92a, CCSDS92b, CAM93]. El objetivo del estudio es permitir la interconexión de estos centros a través de una red Frame Relay utilizando de forma eficiente los recursos contra la congestión que ésta ofrece.

La aplicación implica que deben transmitirse todos los datos, en secuencia y sin errores. Por lo tanto los datos deben transmitirse a través de una pila de protocolos que asegure la fiabilidad e integridad de los datos transmitidos. Con estas características podemos ver que el protocolo de transporte TCP es idóneo. El algoritmo de control de la tasa propuesto para el control de la congestión, por tanto, deberá interactuar con las funcionalidades y algoritmos del protocolo.

Para el análisis del algoritmo de control de la tasa se ha realizado un simulador que implementa el protocolo de transporte utilizado (TCP), la red Frame Relay y la aplicación de transmisión de datos. Por lo tanto la evaluación de este algoritmo se ha realizado mediante simulaciones.

6.2 ESCENARIO DE SIMULACIÓN Y MODELOS UTILIZADOS

Para realizar el simulador del sistema a evaluar se ha utilizado la herramienta de simulación SES/Workbench, que proporciona una gran variedad de características, incluyendo

¹ Parte de este trabajo ha sido el resultado de un estudio realizado por Sema Group sae para la ESA bajo contrato número: 10687/94/D/DK/(SC), con la colaboración de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

programación orientada a objeto, programación paralela y especificación de modelos de forma jerárquica. Los modelos y las hipótesis de trabajo se detallan a continuación.

6.2.1 MODELO DE LA APLICACIÓN

Los paquetes llegan a la capa de aplicación del proveedor de servicio y se transmiten a medida que se reciben, permitiéndose su almacenaje en memoria en caso necesario. La Figura 6.1 muestra el modelo. Se asume un modelo de cola infinita, de forma que no se pierden paquetes de aplicación. Los datos se transmiten a los diferentes usuarios de la red.

Buffer de Aplicación

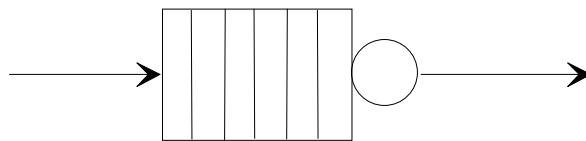


Figura 6.1 Modelo de la Aplicación

Se asume una generación de paquetes de Poisson, con dos modos de funcionamiento, teniendo así diferentes medias de tiempo entre llegadas consecutivas de paquetes. Éstos se denominan **Modo de Ráfaga** o *Burst Mode* y **Modo de No Ráfaga** o *Non Bursts Mode*.

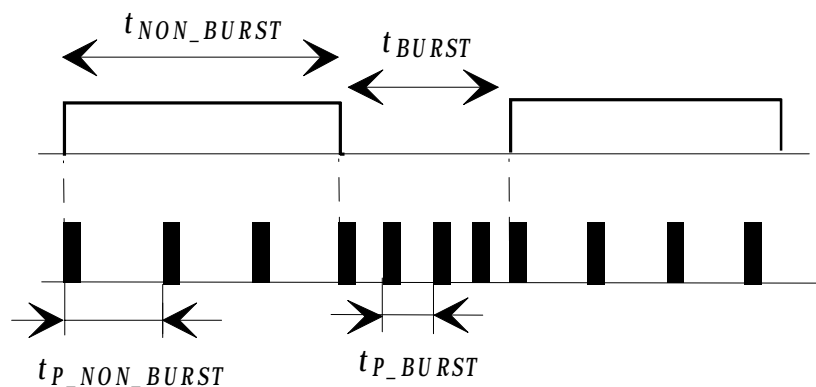


Figura 6.2 Generación de paquetes.

La Figura 6.2 muestra la generación de paquetes con los dos modos a ráfaga y normal. Los valores medios de los tiempos son los siguientes:

- Tiempo entre llegadas consecutivas de paquete en el periodo de no ráfaga: $t_{P_NON_BURST}$
- Tiempo entre llegadas consecutivas de paquete en el periodo de ráfaga: t_{P_BURST}
- Tiempo de duración del periodo de no ráfaga: t_{NON_BURST}
- Tiempo de duración del periodo de ráfaga: t_{BURST}

La longitud del paquete se asume distribuida uniformemente con los siguientes parámetros:

- Longitud mínima de paquete: 500 octetos
- Longitud máxima de paquete: 2000 octetos
- Longitud media de paquete: 1250 octetos

La relación entre los diferentes parámetros del modelo de generación de paquetes es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 & r_m : \text{Tasa de bit media} \\
 & r_{nb} : \text{Tasa de bit en periodo de no ráfaga} \\
 & r_b : \text{Tasa de bit en periodo de ráfaga} \\
 \\
 & l_m : \text{Longitud media de paquete} \\
 \\
 & r_m = \frac{r_{nb} * t_{NON_BURST} + r_b * t_{BURST}}{t_{NON_BURST} + t_{BURST}} \\
 & \quad \downarrow \\
 & t_{NON_BURST} = \frac{(r_b - r_m) * t_{BURST}}{(r_m - r_{nb})} \\
 \\
 & t_{P_BURST} * r_b = l_m \\
 & t_{P_NON_BURST} * r_{nb} = l_m
 \end{aligned}$$

6.2.2 MODELO DEL UNI (USER NETWORK INTERFACE)

El *User Network Interface* (UNI) es el punto de acceso de la pila de protocolos a la red. Éste se ha modelado como un módulo que acepta paquetes de las capas altas, y los encapsula en tramas Frame Relay para ser inyectadas a la red.

El UNI controla la tasa máxima en ráfaga que la red Frame Relay puede aceptar. Sus parámetros se definen mediante el CIR (*Committed Information Rate*), EIR (*Excess Information Rate*) y el AR (*Access Rate*). No obstante, para definir el modelo de forma más precisa, además se utilizan los siguientes parámetros:

- Intervalo Temporal de Medida (Tc).
- Tamaño contratado de la ráfaga (Bc): Cantidad máxima de datos en octetos, durante el periodo de tiempo Tc, que la red garantiza su transporte en condiciones normales.

- Tamaño en exceso de la ráfaga (Be): Cantidad máxima de datos en octetos, durante el periodo de tiempo Tc, que el usuario puede inyectar en la red excediendo el CIR.
- Datos de usuario (B): Cantidad de datos en octetos, durante el periodo Tc, que el usuario inyecta en la red.

La relación entre los parámetros definidos es la siguiente:

- $CIR = Bc / Tc$
- $EIR = AR = (Bc + Be) / Tc$.

De esta forma, la inyección de tráfico en la red se controla con estos parámetros. La tasa de ráfaga máxima que el usuario puede mandar por la red durante el periodo Tc es Bc + Be octetos. Además, si el tráfico en este periodo Tc es mayor que Bc, el bit de descarte DE se activará a 1 en las tramas que entran en la red. Esto significará que en caso de congestión estas tramas serán susceptibles a ser descartadas. Más adelante veremos la política de descarte escogida en caso de congestión en los nodos de la red.

La Figura 6.3 muestra el modelo utilizado para el UNI.

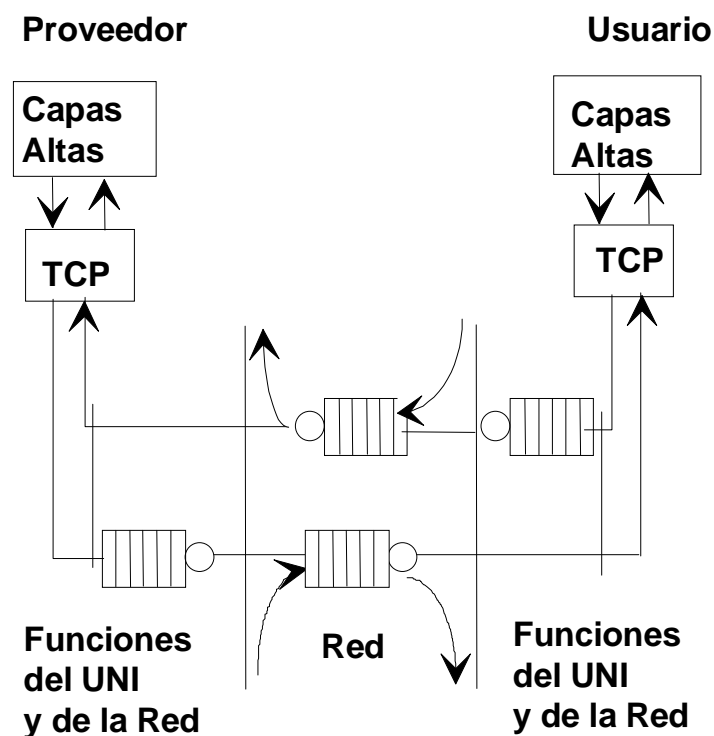


Figura 6.3 Arquitectura de capas, UNI y red Frame Relay

En el UNI, o punto de acceso a la red, la política de descarte de tramas o de marcaje con el bit DE es el siguiente:

- Si $B < B_c \Rightarrow$ la trama no se descarta ni se marca
- Si $B_c < B < B_c + B_e \Rightarrow$ se marca el bit DE
- $B > B_c + B_e \Rightarrow$
 - \Rightarrow se almacena la trama y se intenta mandar más tarde, ó
 - \Rightarrow se descarta

6.2.3 *MODELADO DE LA RED*

El modelo de red simula el comportamiento de la red física que transporta las unidades de datos Frame Relay. Frame Relay define el interfaz a la red, pero no la manera de implementarlo. No obstante, la red debe proporcionar las funciones de Frame Relay como son las de notificación de la congestión, (bits BECN y FECN), y la estrategia de descarte basada en el bit DE.

Para el modelado de la estructura de los nodos de la red se ha escogido un modelo con tres nodos intermedios. Cada nodo se modela como un servidor y una cola de tamaño finito. El tiempo de servicio modela el tiempo de procesado del paquete más el tiempo de transmisión del mismo, y la longitud de la cola se utiliza para modelar los efectos de la congestión en la red.

Para ser más realista en cuanto al modelado de la congestión en la red, se inyecta tráfico adicional proveniente de otras conexiones. Para este tráfico externo se asume una distribución entre llegadas consecutivas de paquetes a un mismo nodo exponencial. Además, el tráfico generado por el usuario que fluye a través de un enlace virtual, representa el 33% del tráfico total del nodo. Este tráfico externo también reaccionará, como se verá más adelante, a las situaciones de congestión.

Los parámetros que definen el modelo de red y sus valores utilizados son los siguientes:

- **Caudal de la troncal:** 3,285 Mbps.
- **Retardo de Propagación:** Se han considerado tres tipos de enlaces:
 - **Local:** 5 milisegundos
 - **Intercontinental:** 50 milisegundos
 - **Satélite:** 250 milisegundos

- **Retardo de red:** Retardo de los nodos de tránsito más los retardos de propagación.
- **Capacidad del “buffer” del nodo:** Define la probabilidad de congestión en la red. El tamaño de las colas de los nodos de la red se diseña de forma que los efectos de la congestión, aspecto a estudiar en este capítulo, aparezcan con frecuencia, de forma que puedan estudiarse las consecuencias de la congestión y ver las mejoras que presentan los diferentes algoritmos y mecanismos para actuar contra ella. Por esta razón, el tamaño de las colas se calcula asumiendo que se producirá congestión cuando todos los usuarios de la red excedan el CIR en un 25%.

La Figura 6.4 muestra el modelo de red y el tráfico involucrado.

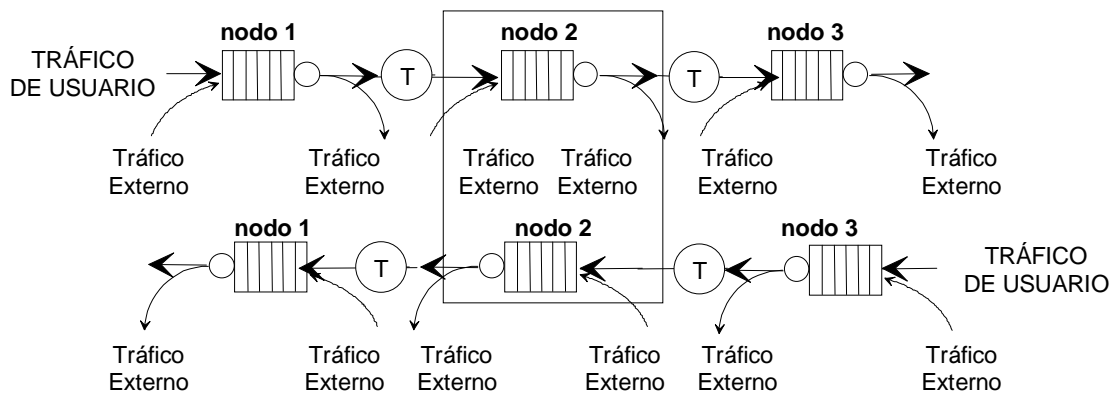


Figura 6.4 Modelado de la red y del tráfico

6.2.4 MODELADO DE LA CONGESTIÓN

La red se considera que está congestionada cuando las colas de los nodos intermedios están llenos y no puede aceptarse más tráfico. No obstante, con un 80% de la carga de la red, ya empiezan a notarse los efectos de la congestión. Para ver estos efectos, la red notificará la congestión cuando se alcance este 80%. Cuando esto sucede, todas las tramas del nodo correspondiente en la dirección de la congestión se marcan con el bit FECN, y todas las tramas en la dirección inversa se marcan con el bit BECN. Durante el tiempo en que esta situación se mantenga, todas las tramas que atraviesan el nodo se marcarán con los bits FECN y BECN dependiendo de la dirección que éstas lleven.

Para modelar el efecto de la congestión cuando la capacidad alcanza el 100%, se descarta un número aleatorio de tramas en el nodo marcadas con el bit DE, y el resto de tramas del nodo se marcan con el bit DE. Consecuentemente, estas tramas marcadas podrán descartarse en caso necesario en próximas situaciones de congestión.

6.3 EXTENSIONES DE TCP

En esta sección se describen básicamente los elementos del protocolo TCP que afectan a la congestión y el algoritmo de control de la congestión para la adaptación dinámica de la tasa.

Otros estudios basados en TCP y las notificaciones de congestión explícitas son interesantes. En [Flo94] se proponen otros mecanismos como respuesta a las notificaciones de congestión. En [RFC2481] se discute la gestión de la congestión en redes IPv6, y en [Sch96] se proponen mejoras de los mecanismos de congestión de TCP como respuesta a los bits de indicación de congestión.

El algoritmo de congestión BECN [Smi93, Bla94, Jub94, Joh92, Hei92, PIM92] se implementa en la red Frame Relay para aprovechar los bits de indicación de congestión de la red Frame Relay. Normalmente estos bits de indicación de la congestión no son utilizados por las capas superiores.

Para reaccionar contra la congestión debemos aprovechar la información de los bits FECN y BECN. Éstos indican que o bien se está produciendo la congestión, o ha ocurrido en un pasado reciente. El usuario deberá detectar estas indicaciones de congestión y asumir que la red está congestionada. En este caso lo adecuado será que éste pueda reducir o suspender la transmisión de los datos hasta que la red se recupere de la situación de congestión.

En el caso de que no haya flujo de datos en la dirección de retorno de los datos (dirección "backward"), Frame Relay se encarga de mandar un mensaje CLLM (*Consolidated Link Layer Management*), que se encarga de notificar la congestión.

6.3.1 ALGORITMO DE ADAPTACIÓN DINÁMICA DE LA TASA

La respuesta a las tramas con el bit BECN o CLLM de indicación de congestión se ha propuesto en la capa de transporte, y concretamente en el protocolo TCP, que será la que asegurará una transmisión fiable extremo a extremo. Esta reacción se implementa como un mecanismo de control de la tasa, y actúa paralelamente al mecanismo de control de acceso a la red en el UNI. La Figura 6.5 muestra la interacción entre los elementos involucrados en el mecanismo.

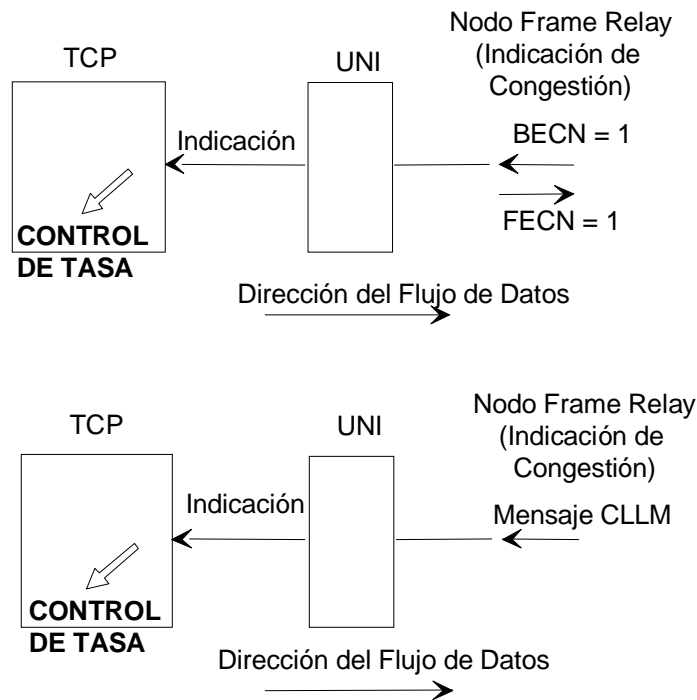


Figura 6.5 Algoritmo de control de la tasa

En primer lugar debemos determinar cuándo debemos actuar contra la congestión como respuesta a la recepción de indicaciones de la red Frame Relay. Para este fin, se define un contador, **S**, como el número de tramas consecutivas recibidas en el UNI con el bit BECN marcado (o número de mensajes CLLM), a partir de las cuales deberá activarse el control de congestión. El valor del contador **S** dependerá de las características de tráfico de la red, siendo su valor escogido de forma experimental.

El procedimiento adoptado por la fuente TCP como respuesta a la recepción de estas indicaciones es la siguiente:

1. Si el número de indicaciones recibidas no alcanza el valor del contador **S**, se incrementa en una unidad el contador y:
 - Si la tasa de datos ofrecida en ese momento es mayor que la capacidad contratada, o CIR, entonces TCP reduce la tasa de generación al CIR contratado para cada circuito.
2. Cuando se alcanza el valor de este contador, TCP debe reducir la tasa del tráfico ofrecido. La reducción de la tasa sigue el algoritmo siguiente:
 - Se definen tres niveles sucesivos de reducción: 67,5%, 50% y 25% del CIR. Cada nivel implica la reducción de la tasa de generación de tráfico al porcentaje correspondiente del CIR.

- Cada S indicaciones consecutivas de congestión recibidas después de una primera reducción de la tasa, implican bajar un nivel de reducción. Así, tras la recepción de las S primeras indicaciones consecutivas, se reduce al 67,5% del CIR, después de S indicaciones consecutivas más al 50 %, y a partir de las S indicaciones sucesivas la reducción es del 25%.

Este es el comportamiento del algoritmo en el caso de recibir indicaciones de congestión. Una vez se ha reducido la tasa, si se inicia un periodo de recepción de tramas sin marca de congestión, se inicia un periodo de recuperación de la tasa. Este periodo debe permitir una recuperación rápida de la tasa de la fuente, pero debe intentar evitar al mismo tiempo la posible saturación de la red, para no entrar en periodos de congestión y no congestión de forma cíclica. De esta forma, cada $S/2$ tramas recibidas consecutivamente sin indicación de congestión, se incrementa un 12,5% la tasa de generación.

Con este algoritmo, se reduce e incrementa la tasa de generación de la fuente, en función de la congestión notificada por la red Frame Relay.

6.4 RESULTADOS

La evaluación del algoritmo propuesto y la interacción de los mecanismo que tiene TCP para actuar contra la congestión se han validado mediante simulación. En primer lugar se presenta la descripción de los parámetros involucrados que pueden afectar a los diferentes mecanismos propuestos. En segundo lugar se discuten los mecanismos de Control de Flujo en TCP, y luego se evalúan los algoritmos de Retransmisión y Recuperación Rápidas. Después se presentan los efectos del control de congestión y se comparan los diferentes mecanismos contra la misma. Finalmente se muestran los efectos de las medidas de los temporizadores RTO y RTT.

6.4.1 ENTORNO

Los resultados se han obtenido utilizando los siguientes parámetros:

- *Datos transferidos: 828 Mbytes.*
- *Parámetros de la fuente:*
 - *Tiempo medio entre llegadas de paquetes en la ráfaga: 4,87 milisegundos*
 - *Tiempo medio entre llegadas de paquetes en no-ráfaga: 19,46 milisegundos*
 - *Tasa media de duración de la ráfaga: 1 segundo*
 - *Tasa media de duración de no-ráfaga: 2 segundos*
 - *Longitud del paquete (distribución uniforme):*
 - *Máximo: 2000 octetos*
 - *Mínimo: 500 octetos*
 - *Media: 1250 octetos*

- *Capa de Transporte:*
 - *Longitud de la cabecera TCP/IP: 40 octetos*
 - *MSS (Maximum Segment Size): 1460 octetos*
 - *Tamaño máximo de ventana de Control de flujo: parámetro*
 - *Valores máximo y mínimo de RTO: parámetro*
- *UNI (User Network Interface):*
 - *Tc: 46,875 milisegundos*
 - *Bc: 6144 octetos*
 - *Be: 6144 octetos*
 - *AR: 2 Mbps*
 - *CIR: 1 Mbps*
 - *Cabecera FR: 5 octetos*
- *Red:*
 - *Retardo de Propagación: parámetro*
 - *Tiempo de Transmisión: 3,8959 milisegundos*
 - *Indicación de congestión: 80% de carga*

Las prestaciones del protocolo, en función de los diferentes parámetros y algoritmos analizados, se estudian mediante:

- *Eficiencia de Aplicación (%): Es la relación en % entre la cantidad de datos en bits generada por la aplicación y la cantidad de datos en bits inyectados en la red. Este valor mide la eficiencia de toda la pila de protocolos.*
- *Tramas Perdidas (%): Es la relación en % entre el número de bits transmitidos a través de la red y los inyectados. Proporciona la medida de la tramas perdidas debido a la congestión.*
- *Velocidad extremo-a-extremo (bps): Es la tasa de transmisión de datos real a nivel de aplicación.*

6.4.2 MECANISMOS DE CONTROL DE FLUJO

Los mecanismos de control de flujo se requieren en la capa de transporte, para poder controlar la cantidad de datos que el usuario manda a la red, así como para permitir la comunicación entre extremos con diferentes características (velocidad de proceso, capacidad de almacenaje, etc.). Además, este control de flujo permite a su vez realizar funciones de control de congestión. El parámetro más importante de este mecanismo es el tamaño máximo de la ventana de control de flujo, o también denominada de transmisión.

Normalmente el valor recomendado para este parámetro es la capacidad de la conexión definida como el producto entre el ancho de banda (en este caso el CIR) y el retardo extremo a extremo (RTT).

Vamos a ver ahora como afecta el tamaño máximo de la ventana de control de flujo a las prestaciones del protocolo. Las características del perfil del protocolo correspondiente a este estudio son las siguientes:

- Retardo de Red: local e intercontinental
- No se considera la opción de *timestamp* en TCP
- RTO_min = RTO_max: 2620 milisegundos
- Protocolo de retransmisión: Go-Back-N con almacenamiento de segmentos recibidos fuera de orden
- Algoritmo BECN considerado
- Extensiones TCP para el control de la congestión incluidas

La Figura 6.6 muestra los efectos en cuanto a eficiencia de aplicación, pérdida de tramas y tasa extremo a extremo, del tamaño máximo de la ventana de control de flujo.

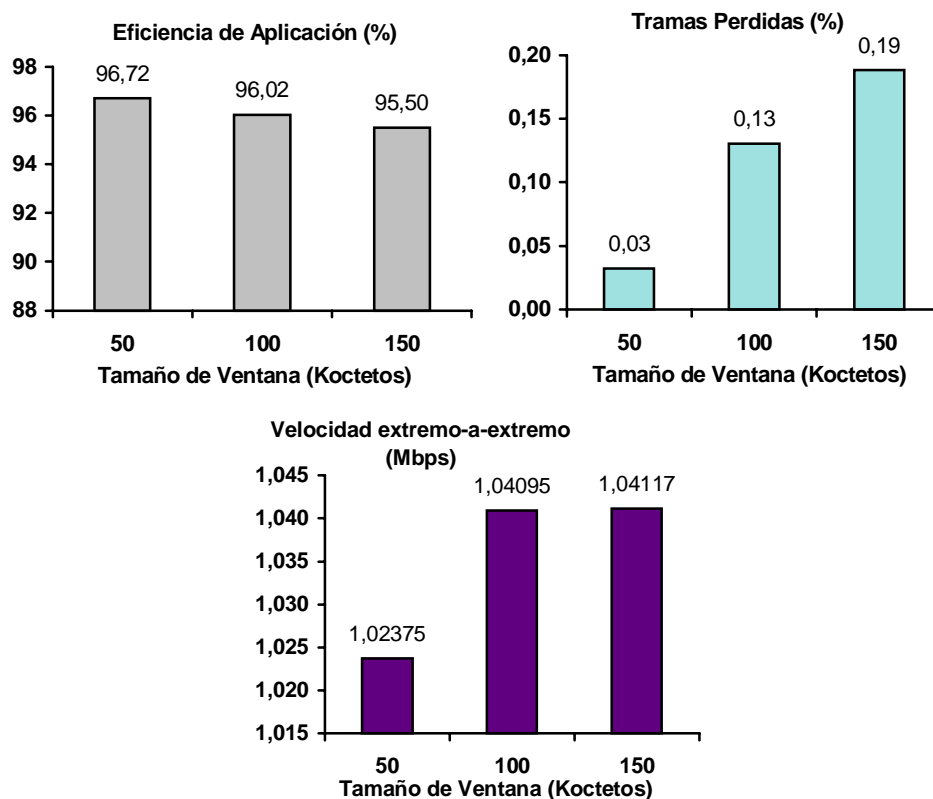


Figura 6.6 Efecto del tamaño de la ventana de control de flujo

El tamaño de 50 Koctetos (valor óptimo teóricamente) es el que presenta mejores resultados en cuanto a eficiencia de aplicación y a tramas perdidas, no obstante, produce una velocidad

extremo a extremo ligeramente menor que con tamaños de ventana mayores, no siendo significativa esta diferencia.

Puede concluirse, por lo tanto, que al tener pérdidas debidas a congestión, los mecanismos de control de flujo actúan como mecanismos de control de congestión complementarios. Siendo así el valor recomendado de la ventana máxima de transmisión el de la capacidad del sistema. Aumentando el tamaño de la ventana únicamente empeoramos la situación de congestión. Cabe destacar que en los resultados presentados, al estar presentes todos los mecanismos de control de congestión, la influencia de este tamaño máximo tiene menor importancia, ya que los mecanismos de congestión, a su vez controlan la ventana de transmisión útil, limitando su valor máximo.

6.4.3 MECANISMOS DE CONTROL DE ERRORES Y RECONOCIMIENTOS.

El mecanismo Go-Back-N con almacenaje de paquetes fuera de orden incorporado en TCP es suficiente para obtener buena eficiencia, aunque en caso de congestión puede mostrarse que el mecanismo de retransmisión Selectiva mejora la eficiencia de aplicación. No obstante, la complejidad que los algoritmos selectivos añaden a los de Go-Back-N no justifica en este caso su recomendación. Además, cuando se implementan algoritmos específicos para el control de la congestión, las diferencias entre un mecanismo y el otro todavía se reducen, siendo prácticamente irrelevante qué esquema de retransmisión se utiliza.

En la Figura 6.7 se comparan los dos mecanismos de control de errores, en el caso de que los mecanismos contra la congestión también estén activos. Los parámetros específicos en este caso son los mismos que en el apartado anterior, excepto en el tamaño de la ventana de control de flujo que es de 50 Koctetos, RTO_min = 379 milisegundos y RTO_max = 1310 milisegundos. En este caso la eficiencia de aplicación es prácticamente igual en ambos casos. Por lo tanto al no haber tampoco gran diferencia entre el porcentaje de tramas perdidas y la velocidad extremo-a-extremo, podemos afirmar que es suficiente con el algoritmo Go-Back-N con almacenamiento.

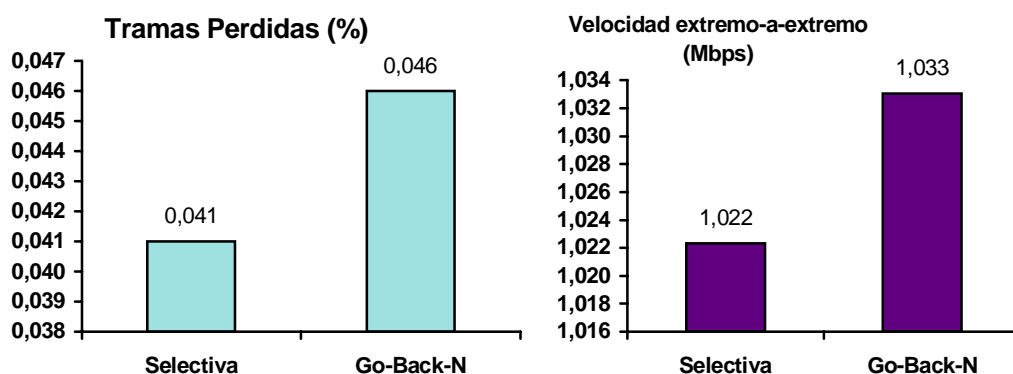


Figura 6.7 Efecto del mecanismo de control de errores

6.4.4 RETRANSMISIÓN Y RECUPERACIÓN RÁPIDAS (FAST RETRANSMIT AND FAST RECOVERY)

El mecanismo de Retransmisión y Recuperación rápidas introducido en TCP permite una recuperación rápida de los errores. Una de las ventajas de este mecanismo es que transforma un esquema de Go-Back-N en uno casi selectivo, evitando la retransmisión de paquetes innecesaria. Esto es debido a que con el mecanismo Go-Back-N es muy probable que tras la expiración del temporizador del paquete perdido se sucedan la del resto de la ventana de transmisión. Por lo tanto se recomienda la utilización de este mecanismo que está presente en la mayoría de implementaciones TCP, y especialmente en los casos en los que el producto retardo ancho de banda es elevado, y por lo tanto el tamaño de la ventana de transmisión lo es también.

La Figura 6.8 muestra la mejora obtenida con este mecanismo. Los parámetros son los mismos que en los apartados anteriores. El algoritmo de control de la congestión BECN no se ha implementado en este caso. La ganancia en cuanto a eficiencia de aplicación y porcentaje de tramas perdidas hace aconsejable la implementación del algoritmo.

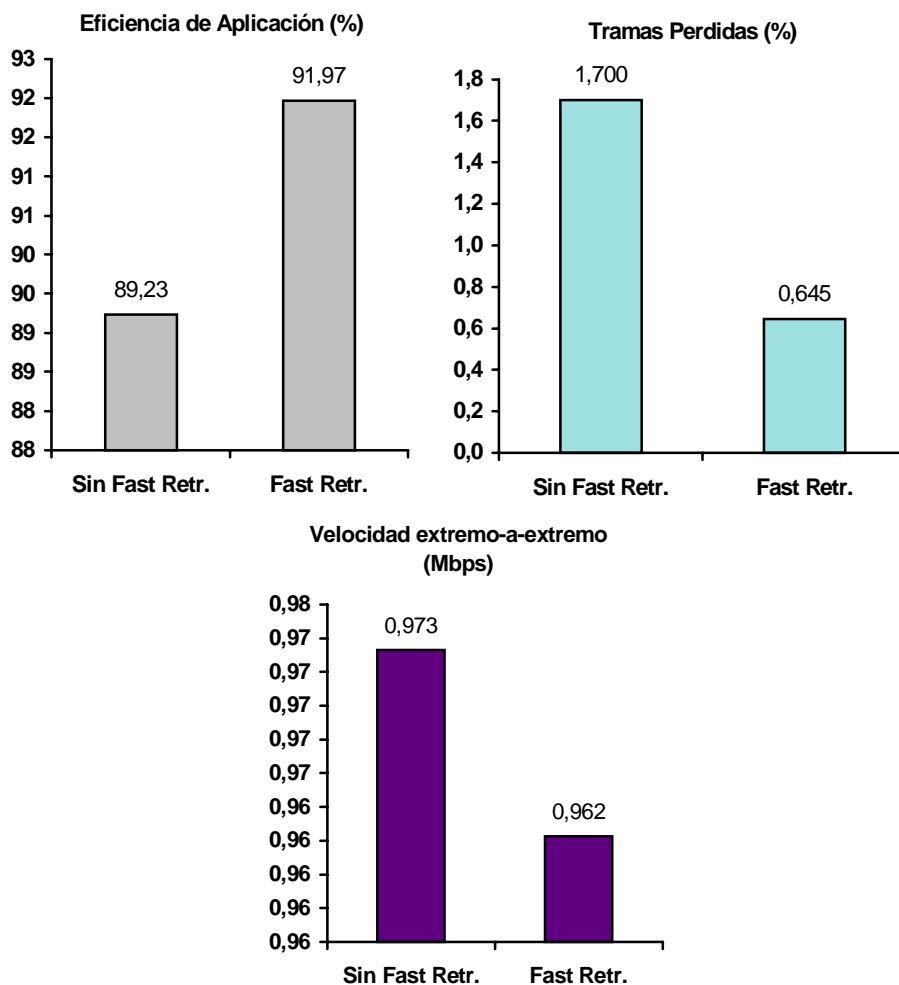


Figura 6.8 Efecto del mecanismo de Retransmisión y Recuperación rápidas

6.4.5 CONTROL DE CONGESTIÓN

Los mecanismos de control de la congestión en la capa de transporte son necesarios ya que Frame Relay solamente notifica y descarta los paquetes en caso de congestión. El objetivo del control de congestión en la capa de transporte deberá ser tal que evite la pérdida de paquetes, controlando la inyección de datos en la red. No obstante, cuanto más restrictivo sea el mecanismo contra la congestión, menor será el caudal obtenido debido a que se producirá reducción en la inyección de datos en la red, pero mayor será la eficiencia de la aplicación. Por lo tanto vemos claramente un compromiso entre el caudal y la eficiencia obtenidos.

Los resultados de las simulaciones muestran como cada tipo de control de congestión afecta al comportamiento de la congestión:

- Inicio Lento y Prevención de la Congestión
- Mecanismo de Control de la Congestión BECN

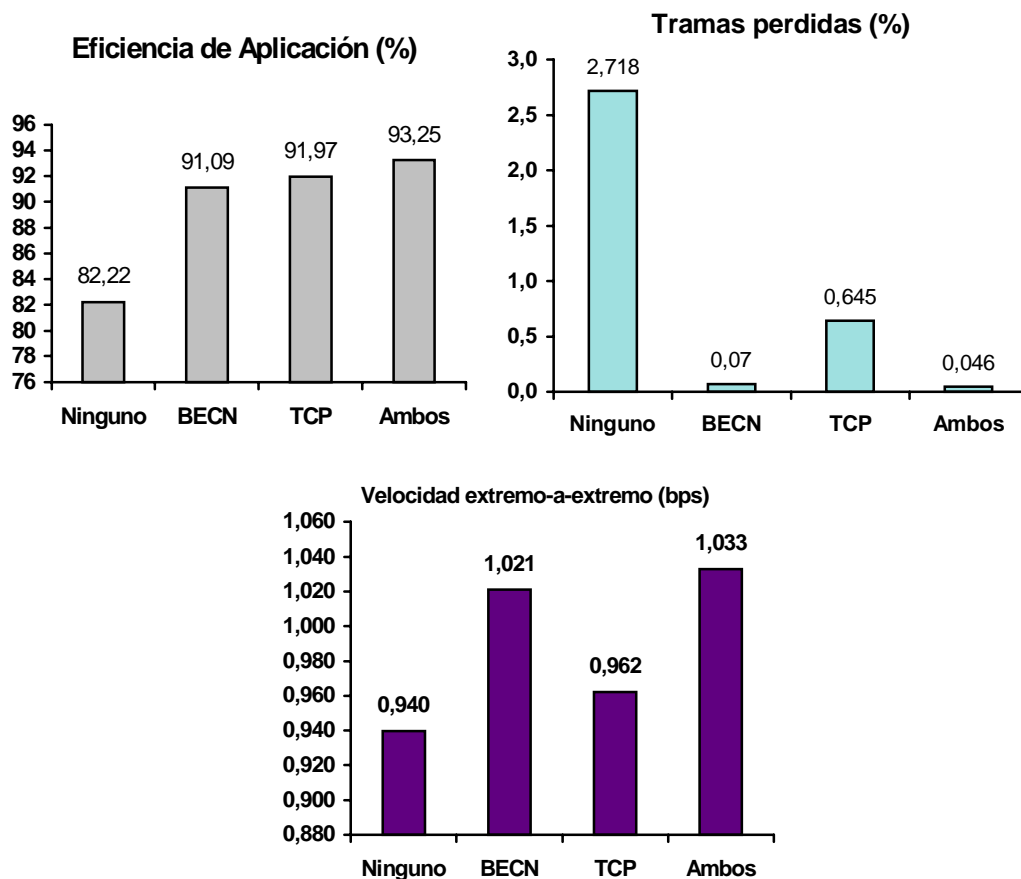


Figura 6.9 Efecto de los mecanismos de Control de la Congestión

La conjunción de los dos mecanismos de control de la congestión es lo más adecuado ya que:

- El mecanismo BECN actúa en prevención de las situaciones de congestión cuando se reciben notificaciones de la red, sin necesidad de reducir drásticamente el tráfico en la red.

- En caso de que exista pérdidas de tramas o retardos elevados debidos a la congestión, los mecanismos del TCP contra la congestión reducen drásticamente la tasa ofrecida, permitiendo que la red se recupere de la situación de congestión.

6.4.6 MEDIDAS DE RTT Y RTO DINÁMICO

El algoritmo adaptativo de RTO con medidas de RTT pretende adecuar dinámicamente los temporizadores de retransmisión al estado de la red. Los problemas de congestión producen además de pérdidas, retardos en la red, con lo que su ajuste es importante en estos casos. La opción de *timestamp* permite una medida más exacta de los RTT.

En este ámbito es importante evitar las retransmisiones innecesarias, ya que empeoran las situaciones de congestión. Las simulaciones realizadas para evaluar el efecto de las medidas de RTT y el ajuste dinámico de RTO muestran las siguientes conclusiones:

- A medida que el retardo en la red aumenta, la medida dinámica del RTT no es adecuada ya que la situación en la que los temporizadores actuarán será muy alejada de la que proporcionó la medida.
- Aunque la opción de *timestamp* da una medida más exacta de los valores de RTT y con más frecuencia, no es suficiente para evitar retransmisiones innecesarias por el desajuste entre los RTO aplicados y la realidad de la red.

Como conclusión, aunque parezca paradójico, no se recomienda el uso de los algoritmos de ajuste dinámico de RTO en casos de congestión, especialmente en redes con un producto ancho de banda elevado, ya que provocan retransmisiones innecesarias. Por lo tanto, se propone la solución de mantener un RTO fijo, lo suficientemente elevado comparado con las características de la red, que no provoque retransmisiones innecesarias en caso de congestión. No obstante, para evitar que la recuperación de las tramas perdidas por congestión se retarde innecesariamente, debe usarse el algoritmo de Retransmisión y Recuperación Rápidas. En este caso, en la mayoría de los casos la retransmisión de los paquetes perdidos se realizará mediante este algoritmo en lugar de tras la expiración del temporizador, con lo cual el valor de RTO escogido pasa a ser irrelevante siempre y cuando sea suficientemente elevado.

Los resultados obtenidos que avalan las conclusiones anteriores se muestran en la Figura 6.10.

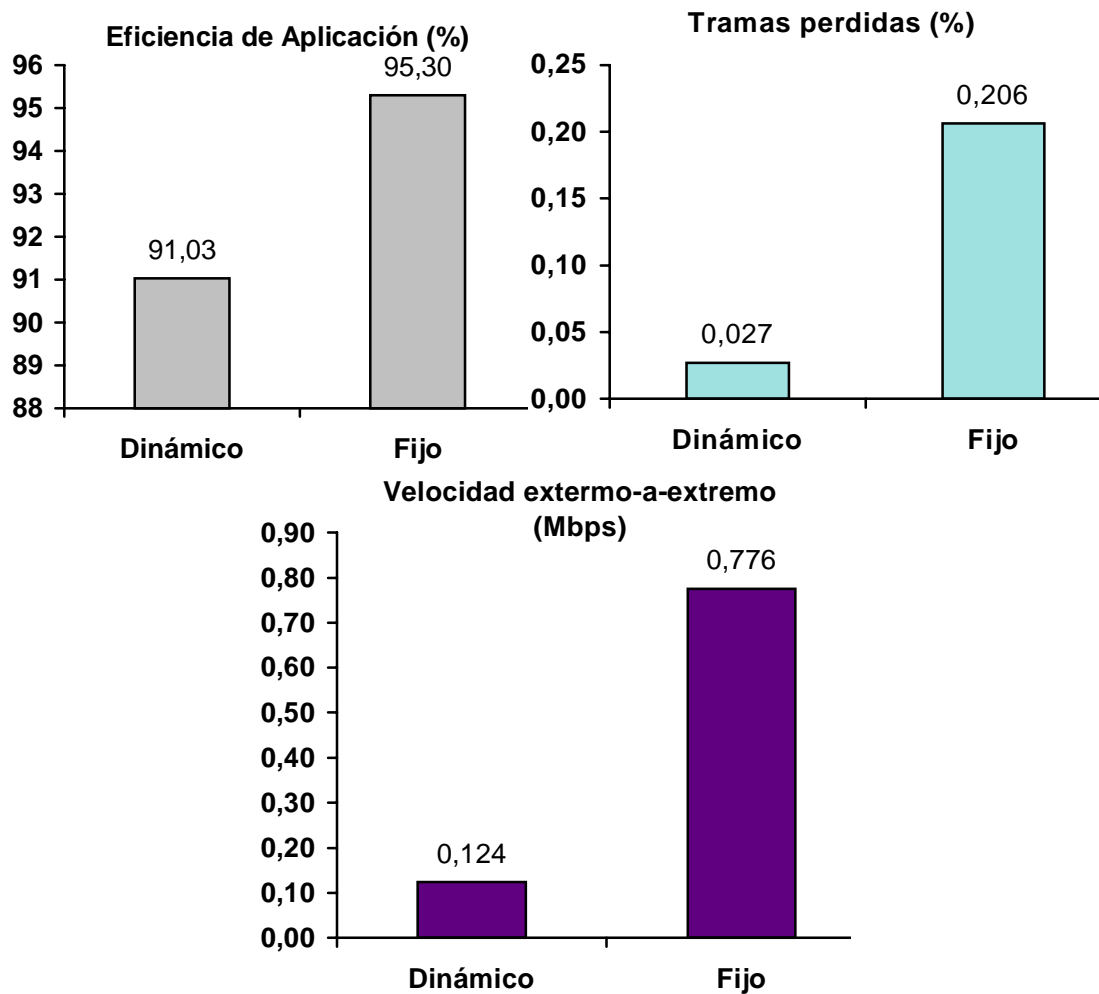


Figura 6.10 Efectos del ajuste dinámico de RTO

Al producirse retransmisiones innecesarias, la velocidad extremo a extremo se reduce de forma muy importante, al igual que la eficiencia de aplicación. Las tramas perdidas en el caso de tener un RTO fijo aumentan debido a que la red está más aprovechada, y por lo tanto más congestionada. No obstante, incluso al tener pérdidas más elevadas, los resultados en cuanto a eficiencia de aplicación y velocidad extremo a extremo son contundentes.

6.5 CONCLUSIONES

Como conclusión se presentan las mejoras entre los diferentes algoritmos considerados viendo que se obtienen los mejores resultados cuando se utilizan los mecanismos contra la congestión de TCP y se implementa el mecanismo BECN a nivel de transporte como prevención de congestión aprovechando las indicaciones de congestión de la Frame Relay.

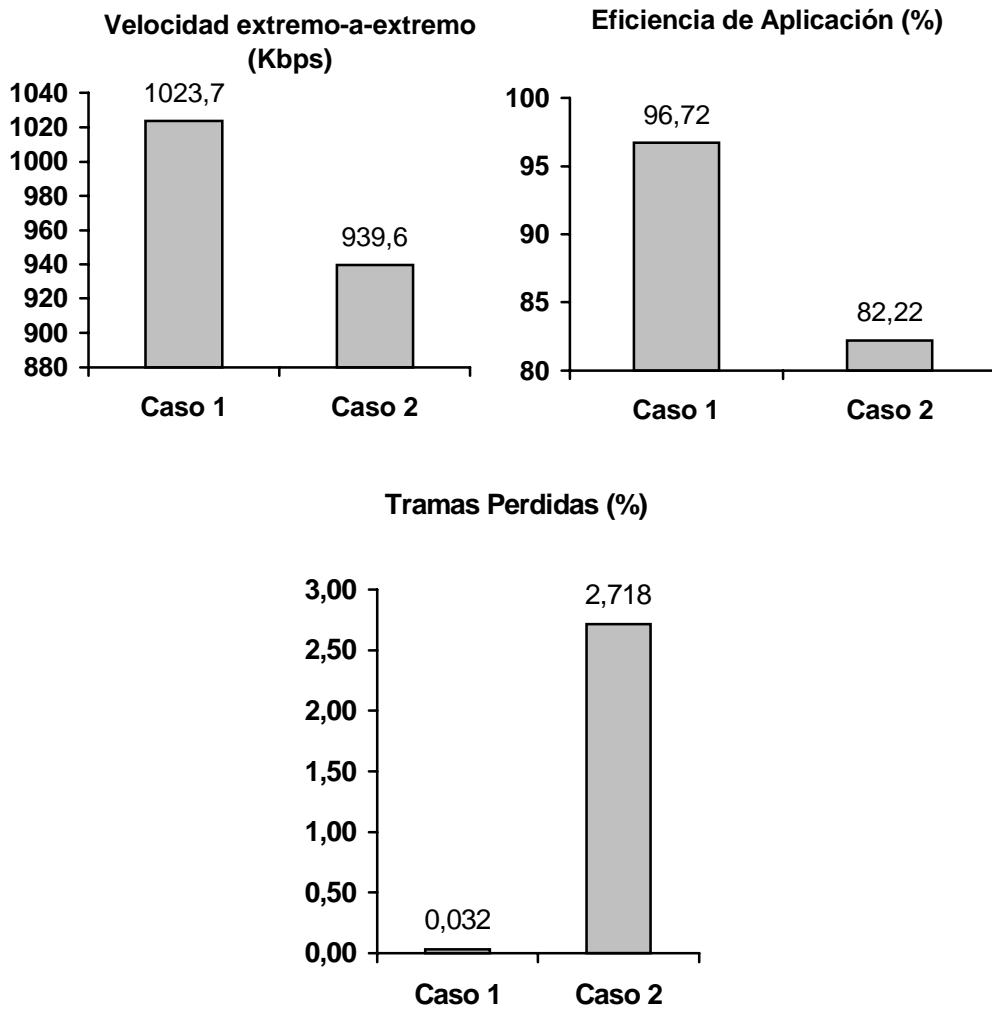


Figura 6.11 Comparación entre perfiles

La Figura 6.11 muestra la comparación entre dos perfiles de protocolos detallados a continuación:

- **Caso 1.** Este perfil incluye los mecanismos de control de la congestión propios de TCP, el mecanismo de recuperación de errores Go-Back-N, el algoritmo de control de la congestión BECN. Un valor fijo de RTO y el algoritmo de Retransmisión y Recuperación Rápidas. Este es el perfil recomendado.
- **Caso 2.** Este perfil no contempla los mecanismos de control de congestión en TCP, ni el algoritmo BECN y realiza una adaptación dinámica de RTO.

Los porcentajes de mejora² del perfil recomendado respecto al peor son:

Eficiencia de Aplicación	Tramas Perdidas	Velocidad extremo a extremo
17,637%	-98,23%	8,955%

Finalmente, cabe destacar que en este capítulo referente al estudio del algoritmo de adaptación dinámica de la tasa para el uso eficiente de TCP en redes Frame Relay, se han presentado solamente algunos de los resultados y conclusiones que surgieron del estudio publicado en [ReP95], lo cuál está en concordancia con lo que se acordó hacer público, y que se publicó en un Congreso Internacional [CPP98].

A partir de este estudio se propuso la implementación de un prototipo, el cual fué desarrollado por Sema Group sae para la ESA. Las pruebas realizadas dieron resultados satisfactorios. La idea y el prototipo pertenecen a la ESA. En un momento dado del desarrollo se pensó en la posibilidad de patentar el prototipo. Respecto a este tema no tenemos más información.

²**Porcentaje de Mejora (%):** porcentaje que el perfil recomendado añade al peor de los casos evaluados. En el caso de tramas perdidas un valor negativo representa una mejora.