

La técnica de retransmisión de tramas (“Frame relay”), al igual que ATM, se diseñó para proporcionar un esquema de transmisión más eficiente que el de X.25. Tanto las normalizaciones como los productos comerciales relacionados con la retransmisión de tramas aparecieron antes que los correspondientes a ATM, por lo que existe una amplia base de productos de retransmisión de tramas instalados.

1) **FUNDAMENTOS :**

La aproximación tradicional de conmutación de paquetes hace uso de X.25, lo que no sólo determina la interfaz usuario-red sino que también afecta al diseño interno de la red.

1.1) Recordando algunas de las características básicas de X.25:

- ❑ Los paquetes de control de llamada, usados para el establecimiento y liberación de circuitos virtuales, se transmiten por el mismo canal y circuito virtual que los paquetes de datos (es una *señalización en banda*, en un servicio orientado a conexión).
- ❑ La multiplexación de circuitos virtuales tiene lugar en la capa 3.(capa de red)
- ❑ Tanto la capa 2 como la 3 incluyen mecanismos de control de flujo y de errores.(“Calidad de Servicio”- QoS)

Esta aproximación es muy costosa, ya que en cada salto a través de la red, el protocolo de control de enlace intercambia tramas de datos y de confirmación. (Ilustración 1) Además, cada nodo intermedio debe mantener tablas de estado para cada circuito virtual con objeto de abordar aspectos de gestión de llamadas y de control de flujo / errores del protocolo X.25.

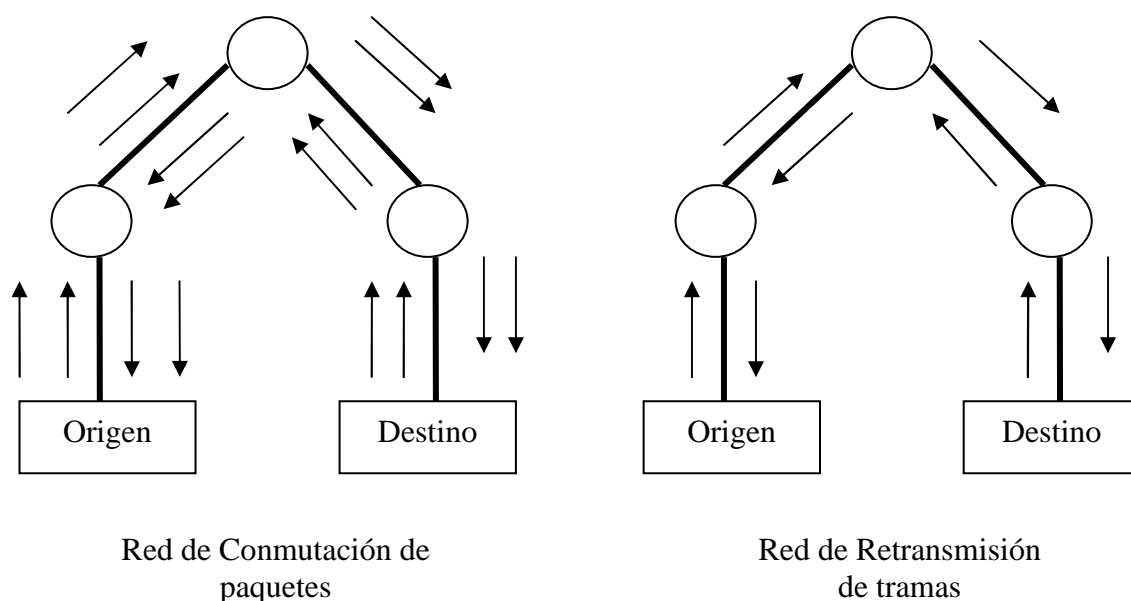


Ilustración 1: Envío del emisor y respuesta del destino (comparación de técnicas)

Este costo queda justificado en caso de que la probabilidad de error en los enlaces de la red sea significativa, como ocurría en las primeras redes telefónicas ($BER = 10^{-5}$, o sea un bit erróneo cada 100.000 transmitidos) por lo que esta técnica puede no ser la más apropiada para los servicios de comunicación digitales modernos, dado que las redes actuales hacen uso de tecnologías de transmisión fiables sobre enlaces de transmisión de alta calidad y fibra óptica en muchos de los casos. ($BER < 10^{-6}$, o sea menos de un bit erróneo cada 1.000.000 transmitidos). Adicionalmente a este hecho, con la utilización de fibra óptica y transmisión digital se pueden conseguir velocidades de transmisión de datos elevadas. En este contexto, el costo de X.25 no sólo es innecesario sino que además degrada la utilización efectiva de las altas velocidades de transmisión disponibles.



La retransmisión de tramas se ha diseñado para eliminar gran parte del costo que supone X.25 para el sistema final de usuario y para la red de conmutación de paquetes.

1.2) Las principales características de la técnica de retransmisión de tramas:

- ❑ *Señalización fuera de banda:* La señalización de control de llamadas se transmite a través de una conexión lógica distinta de la de los datos de usuario, así los nodos intermedios no necesitan mantener tablas de estado ni procesar mensajes relacionados con el control de llamadas individuales. El servicio es orientado a conexión, como en X-25.
- ❑ La multiplexación y conmutación de conexiones lógicas tienen lugar en la capa 2 en lugar de en la capa 3, eliminándose así una capa completa de procesamiento.
- ❑ No existe control de flujo ni de errores a nivel de líneas individuales. Si se lleva a cabo este control, será extremo a extremo y responsabilidad de capas superiores. Por lo anterior, se afirma entonces que Frame Relay no provee Calidad de Servicio (QoS)
En retransmisión de tramas sólo se envía una trama de datos de usuario desde el origen hasta el destino, devolviéndose al primero una trama de confirmación generada por una capa superior (Ilustración 1). En este caso no existe intercambio de tramas de datos y confirmaciones en cada uno de los enlaces del camino entre el origen y el destino.

1.3) Ventajas y desventajas comparativas:

- ❑ En comparación con X.25, la principal desventaja teórica en retransmisión de tramas es que se pierde la posibilidad de llevar a cabo un control de flujo y de errores en cada enlace (aunque la retransmisión de tramas no ofrece control de flujo y de errores extremo a extremo, éste se puede implementar fácilmente en una capa superior). En X.25 existen varios circuitos virtuales a través de un mismo enlace físico, permitiendo el protocolo LAPB una transmisión fiable a nivel de enlace desde el origen hacia la red de conmutación de paquetes, y desde ésta hacia el destino. El protocolo de control de enlace proporciona además fiabilidad en cada enlace de la red. Con el uso de la técnica de retransmisión de tramas desaparece dicho control a nivel de enlace, aunque este hecho no supone un gran inconveniente gracias al incremento en la fiabilidad en la transmisión y en los servicios de conmutación.
- ❑ Potencia del proceso de comunicaciones, reduciéndose la funcionalidad necesaria del protocolo en la interfaz usuario-red así como el procesamiento interno de red.
- ❑ Menor retardo que en X-25.
- ❑ La mejora en el rendimiento mediante el uso de la técnica de retransmisión de tramas frente a X.25 puede ser de un orden de magnitud o más (velocidades de transmisión superiores a 2 Mbps).
- ❑ FR presenta la posibilidad de multiplexación económica para múltiples canales de baja velocidad, en capa 2 en vez de capa 3. FR utilizan la técnica de TDME (multiplexación estadística).
- ❑ Principales aplicaciones de Frame Relay:
 - aplicaciones interactivas de imágenes
 - multimedia
 - integración LAN – WAN

2) ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS EN RETRANSMISIÓN DE TRAMAS

En la Ilustración 2 se muestra la arquitectura de protocolos para proveer servicios de transporte en modo trama. Se consideran dos planos diferentes de operación: plano de control (C), relacionado con el establecimiento y liberación de conexiones lógicas, y plano de usuario (U), responsable de la

transferencia de los datos de usuario entre abonados. Así, los protocolos del plano C se implementan entre el usuario y la red, mientras que los del plano U proveen de funcionalidad extremo a extremo.

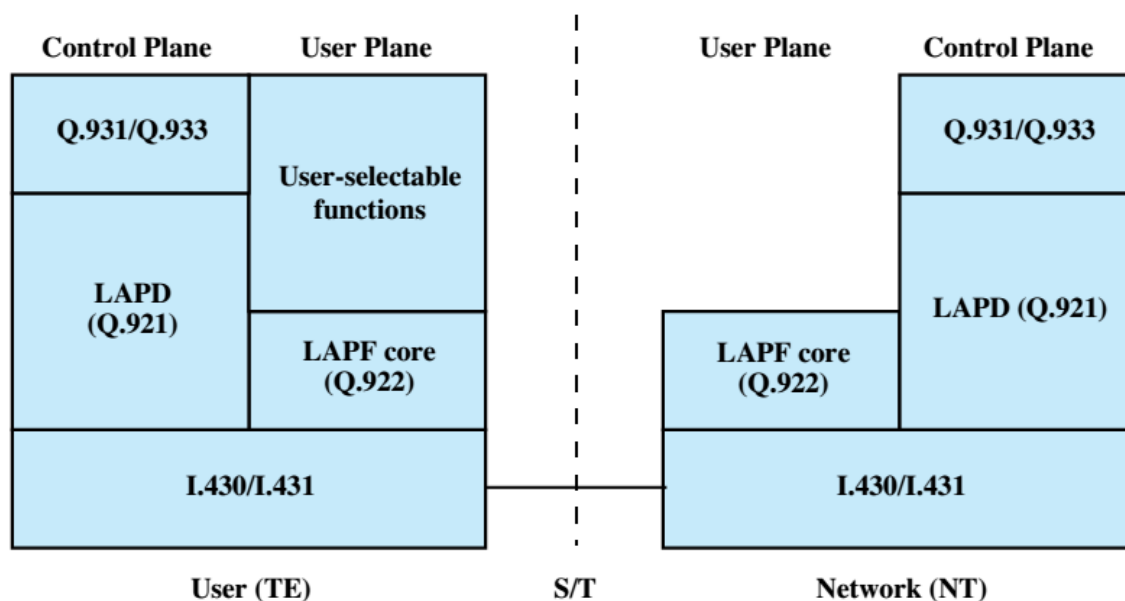


Ilustración 2: Arquitectura de protocolos en la interfaz usuario-red.

Plano de control

El plano de control para servicios en modo trama es similar al de señalización por canal común para servicios de conmutación de circuitos por cuanto que se utiliza un canal lógico diferente para la información de control. En la capa de enlace se utiliza el protocolo LAPD (Q.921) para proporcionar un servicio de control de enlace de datos fiable, con control de errores y de flujo, entre el usuario (TE) y la red (NT) sobre el canal D. Este servicio de enlace de datos se usa para el intercambio de mensajes de señalización de control Q.933.

Plano de usuario

LAPF (“Link Access Procedure on Frame Mode”-Procedimiento de Acceso al Enlace para Servicios en Modo Trama) es el protocolo del plano de usuario para la transferencia real de información entre usuarios finales. Este protocolo está definido en Q.922, que es una versión mejorada de LAPD (Q.921). En retransmisión de tramas sólo se usan las funciones centrales de LAPF:

- ❑ Delimitación de tramas, alineamiento y transparencia.
- ❑ Multiplexación/demultiplexación de tramas utilizando el campo de dirección.
- ❑ Inspección de la trama, para asegurarnos que ésta consta de un número entero de octetos, antes de llevar a cabo la inserción de bits cero o tras una extracción de bits cero.
- ❑ Inspección de la trama para asegurarnos que no es demasiado larga ni demasiado corta.
- ❑ Detección de errores de transmisión.
- ❑ Funciones de control de congestión.

La última función es nueva en LAPF, mientras que el resto son también funciones de LAPD.

Las funciones centrales de LAPF en el plano de usuario constituyen una subcapa de la capa de enlace de datos.

- ❑ Proporciona el servicio de transferencia de tramas de enlace de datos entre abonados sin control de flujo ni de errores. Además de este hecho, el usuario puede seleccionar funciones extremo a extremo adicionales de la capa de enlace o de la de red, las cuales no forman parte del servicio de retransmisión de tramas.
- ❑ Ofrece retransmisión de tramas como un servicio orientado a conexión de la capa de enlace con las siguientes propiedades :
 - Se preserva el orden de la transferencia de tramas entre el origen y el destino.
 - Existe una probabilidad pequeña de pérdida de tramas.

Comparación de la arquitectura respecto a X-25

La interpretación de las diferencias entre las capas de X-25 y Frame Relay es sencilla, teniendo en cuenta las diferencias en la complejidad de tareas indicadas anteriormente.

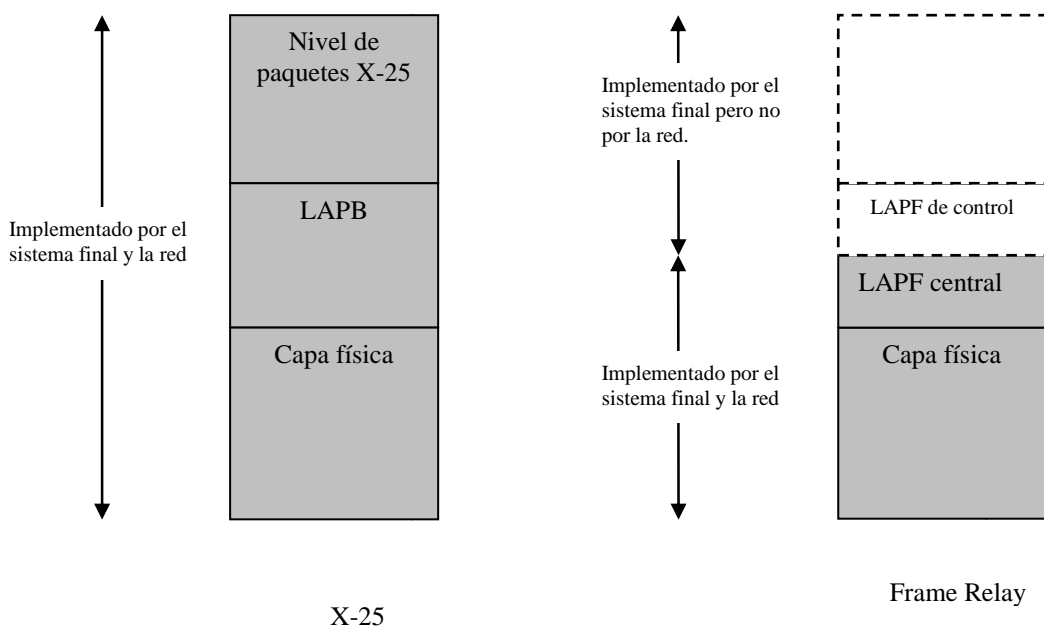


Ilustración 3: Comparación de las arquitecturas de X-25 y Frame Relay

El procesamiento en X-25 es considerablemente superior al de Frame Relay.

FR reduce al mínimo el trabajo a realizar por la red, ya que las tramas de los usuarios se transmiten por los nodos intermedios, que solo verifican errores de transmisión de trama (FCS) y deciden el encaminamiento de acuerdo al número de conexión.

Una trama errónea se descarta, siendo tarea de las capas superiores su recuperación.

3) CONTROL DE LLAMADAS EN FRAME RELAY

- a) **Conexión de acceso:** como accede el usuario a una conexión Frame Relay (dos variantes)

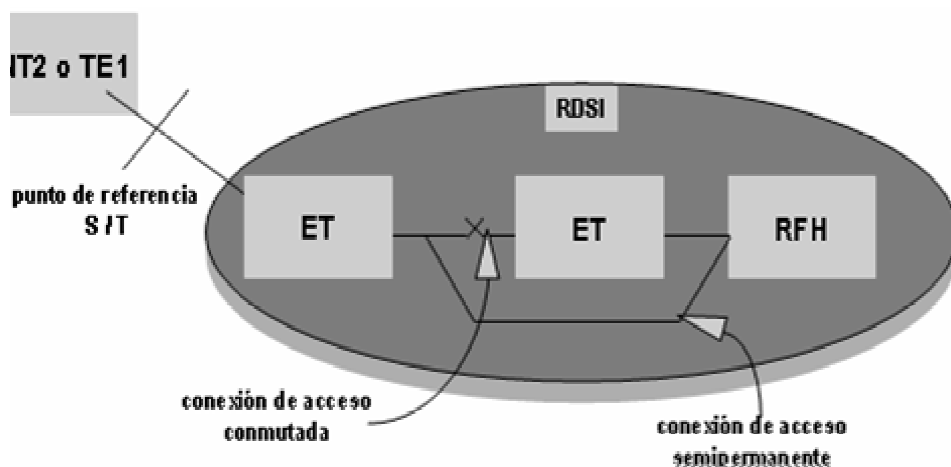


Ilustración 4: Conexión de acceso conmutado.

- ❑ **Acceso conmutado:** Es el caso que el usuario está conectado a una red de conmutación de paquetes, el nodo local no está preparado para trabajar con Frame Relay, por lo que

se tiene que acceder a un nodo gestor de trama (desde el nodo de conmutación de paquetes buscar un nodo gestor de trama). Del nodo local se hace una llamada al nodo gestor remoto (“Remote Frame Handler”) (Otra forma de conexión puede tener un acceso semi-permanente al nodo gestor remoto).

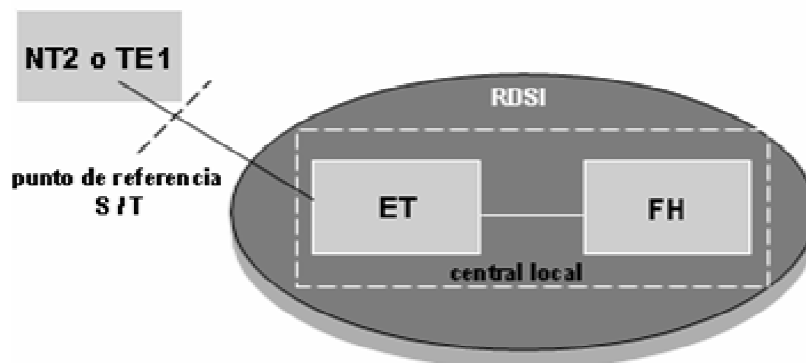


Ilustración 5: Conexión por acceso integrado

- ❑ **Acceso integrado:** El usuario está conectado a una red de retransmisión de tramas, en este caso el usuario tiene un acceso directo a un nodo gestor de trama (no hay un llamado)

b) **Conexión en retransmisión de tramas:** Una vez que está completada la conexión de acceso al nodo gestor de trama se tiene que establecer un circuito virtual entre los dos usuarios. Se debe establecer una conexión lógica entre el nodo gestor origen y el nodo gestor destino. La **conexión de enlace de datos (DLC- “Data link connection”)** es en una red Frame Relay el equivalente al circuito virtual de X.25.

Lo que en X.25 llamamos **número de circuito virtual** en Frame Relay se llama **identificador de conexión en enlace de datos (DLCI-“Data link connection identifier”)**.

En FR como en X-25, las fases necesarias son:

- ❑ Establecimiento de la conexión lógica con un DLCI único.
- ❑ Intercambio de trama de datos, cada trama tiene su DLCI en el campo de dirección.
- ❑ Liberación de la conexión lógica.

El establecimiento y liberación se efectúa por mensajes de control a través de una conexión lógica dedicada al control de llamada, estos mensajes de control de llamada son tramas que se caracterizan porque tienen su DLCI = 0.

En el campo de información llevan el código que indica que trama de control es:

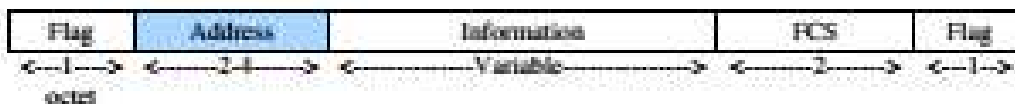
- ❑ SETUP (petición de conexión).
- ❑ CONNECT (aceptación de conexión).
- ❑ RELEASE (petición de desconexión).
- ❑ RELEASE COMPLETE (aceptación de liberación).

c) **Transferencia de datos de usuario:**

El funcionamiento de la técnica de retransmisión de tramas, por lo que respecta a la transferencia de datos de usuario se explica mejor considerando el formato de trama. (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)

Éste es el formato definido para el protocolo LAPF de funcionamiento mínimo (conocido como protocolo central LAPF), el cual es similar al de LAPD y LAPB con la salvedad de que no existe campo de control, lo que tiene las siguientes implicancias:

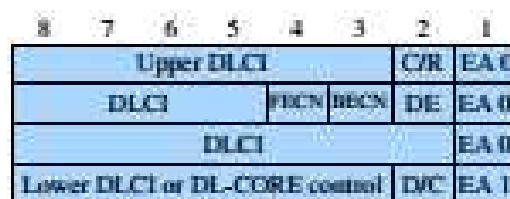
- Existe un único tipo de trama usada para el transporte de datos de usuario y no existen tramas de control.
- No es posible el uso de señalización en banda; una conexión lógica sólo puede transmitir datos de usuario.
- No es posible llevar a cabo control de flujo ni de errores dado que no existen números de secuencia.



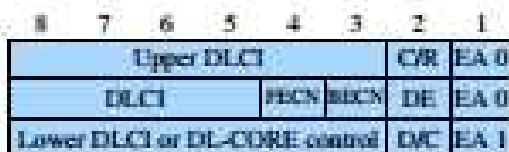
(a) Frame format



(b) Address field - 2 octets (default)



(d) Address field - 4 octets



(c) Address field - 3 octets

- EA Address field extension bit
 C/R Command/response bit
 FECN Forward explicit congestion notification
 BECN Backward explicit congestion notification
 DLCI Data link connection identifier
 D/C DLCI or DL-CORE control indicator
 DE Discard eligibility

Ilustración 6: Formato del protocolo central LAPF

El campo indicador y el de secuencia de comprobación de trama (FCS) actúan como en LAPD y LAPB. El campo de información contiene datos de capas superiores, de modo que si el usuario decide implementar funciones adicionales de control de enlace de datos extremo a extremo se puede incluir una trama de datos en este campo. En particular, una opción usual es el empleo del protocolo LAPF completo (conocido como protocolo de control LAPF) para llevar a cabo funciones por encima de las funciones centrales de LAPF. El protocolo así implementado es estrictamente entre los usuarios finales y es transparente a la red de retransmisión de tramas.

El campo de dirección tiene una longitud por defecto de 2 octetos, y se puede ampliar hasta 3 o 4 octetos. Este campo contiene un identificador de conexión de enlace de datos (DLCI) de 10, 17 o 24 bits. El DLCI realiza la misma función que el número de circuito virtual en X.25: permite la multiplexación de varias conexiones lógicas de retransmisión de tramas a través de un único canal. Como en X.25, el identificador de conexión tiene sólo significado local: cada extremo de la conexión lógica asigna su propio DLCI de acuerdo con los números libres, debiendo realizar la red la conversión correspondiente entre ellos. Alternativamente, el uso del mismo DLCI por parte de ambos extremos requeriría algún tipo de gestión global de los valores de DLCI. La longitud del campo de dirección, y por tanto del DLCI, se determina mediante los bits de ampliación del campo de dirección (EA). El bit C/R es específico de la aplicación y no se usa en el protocolo de retransmisión de tramas estándar.

4) ENCAMINAMIENTO EN FRAME RELAY

La decisión de encaminamiento se efectúa en los nodos intermedios (nodos con colas de entradas y salidas). Al nodo se lo llama gestor de tramas o nodo gestor de tramas (RFH-“remote frame handler”). Dicho nodo tiene que entender la terminología de la trama en Frame Relay, LAPD o LAPF.

El nodo gestor de tramas funciona de manera similar al nodo de conmutación de paquetes.

El punto de control es el módulo de decisión dentro del nodo gestor de tramas y decide por cuál dirección se va a mandar la trama.

La Ilustración 7 plantea un ejemplo:

En el nodo gestor hay una tabla de enrutamiento que al recibir un DLCI por un puerto, lo conecta a otro DLCI de otro puerto de salida. Para cada circuito virtual tiene designado la salida. Esta es la forma de multiplexar los circuitos virtuales en el canal físico. Los paquetes de control en redes conmutadas de paquetes viajan por el mismo circuito virtual que los paquetes de datos, en lo que se conoce como *señalización dentro de banda o intrabanda*. En cambio, en redes Frame Relay, las tramas de control (para establecimiento y liberación de circuitos lógicos) viajan por un camino independiente de los frames de datos (*señalización fuera de banda o extrabanda*), siendo ese canal lógico el identificado con DLCI = 0 indicando que son tramas de control. Todas las órdenes de control viajan por el mismo camino o ruta. El punto de control también hace FCS, la comprobación de la redundancia cíclica.

Si Frame Relay encuentra una FCS errónea la descarta, porque Frame Relay se ocupa de encaminar pero no hace controles de errores. Si detecta errores no hace nada, solo descarta la trama, y las capas superiores de la arquitectura son las que se encargan de recuperar las tramas erróneas.

Si se implementa el LAPF de control (módulo optativo) este es el que se encarga de recuperar las tramas.

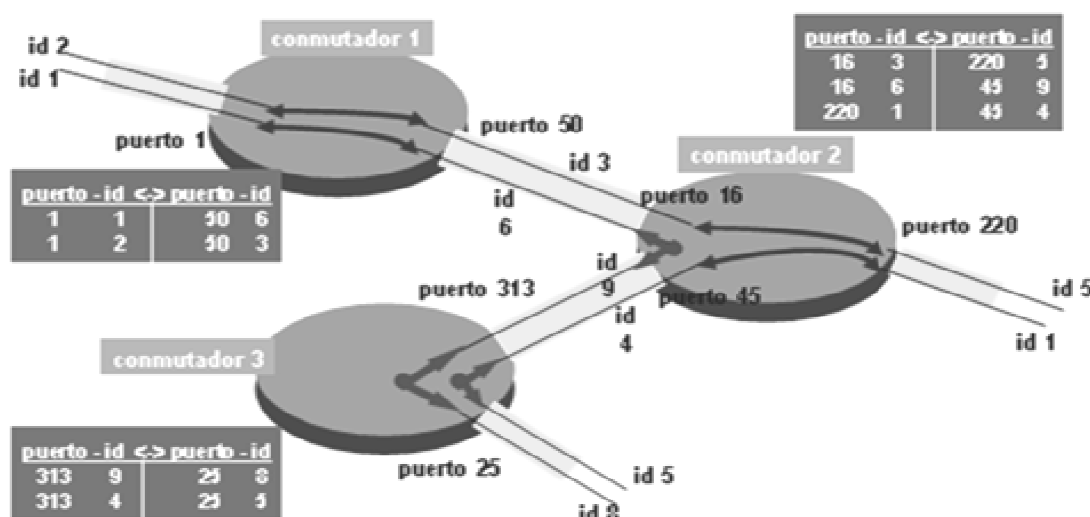


Ilustración 7: Ejemplo de encaminamiento en Frame Relay

5) CONTROL DE CONGESTIÓN EN FRAME RELAY

El control de congestión resulta difícil en redes de retransmisión de tramas debido a la limitación de herramientas disponibles en los gestores de tramas (nodos de conmutación de tramas). Se ha mejorado el protocolo de retransmisión de tramas con objeto de maximizar el rendimiento y la eficiencia. Una consecuencia de este hecho es que el gestor de tramas no puede controlar el flujo de tramas de un suscriptor o un gestor de tramas adyacente usando el protocolo de control de flujo de ventana deslizante típico, como el empleado en HDLC.

El control de congestión es responsabilidad conjunta de la red y de los usuarios finales.

La red (el conjunto de gestores de tramas) es el mejor lugar para llevar a cabo la supervisión del grado de congestión, mientras que los usuarios finales constituyen el mejor punto para el control de la congestión mediante la limitación del flujo de tráfico.

En la Tabla de la Ilustración 8 se enumeran las técnicas de control de congestión definidas en los diversos documentos de ITU-T y ANSI., y se comenta cada una de ellas por separado.

La **estrategia de rechazo** es la respuesta más básica ante la congestión cuando ésta llega a ser severa, y la red se ve forzada a rechazar tramas. Sería deseable hacer esto de manera adecuada para todos los usuarios.

Los procedimientos de **prevención de congestión** se usan con el fin de minimizar el efecto de la congestión en la red. De este modo, estos procedimientos serían iniciados en o antes del punto A del gráfico, donde comienza la congestión, para prevenir que la misma alcance el punto de congestión severa. Cerca del punto de inicio de congestión, existe poca evidencia para los usuarios finales de que la congestión está aumentando, por lo que debe existir algún mecanismo de señalización explícita de la red que ponga en marcha la prevención de congestión.

Técnica	Tipo	Función	Elementos clave
Control de rechazo	Estrategia de rechazo	Proporciona ayuda a la red sobre las tramas a rechazar	Bit DE
Notificación explícita de congestión hacia atrás	Prevención de congestión	Proporciona ayuda a los sistemas finales acerca de la congestión en la red	Bit BECN o mensaje CLLM
Notificación explícita de congestión hacia adelante	Prevención de congestión	Proporciona ayuda a los sistemas finales acerca de la congestión en la red	Bit FECN
Notificación implícita de congestión	Recuperación de congestión	Un sistema final infiere la existencia de congestión a partir de la pérdida de tramas	Números de secuencia en las PDU de capas superiores

Ilustración 8: Técnicas de control de congestión en Frame Relay

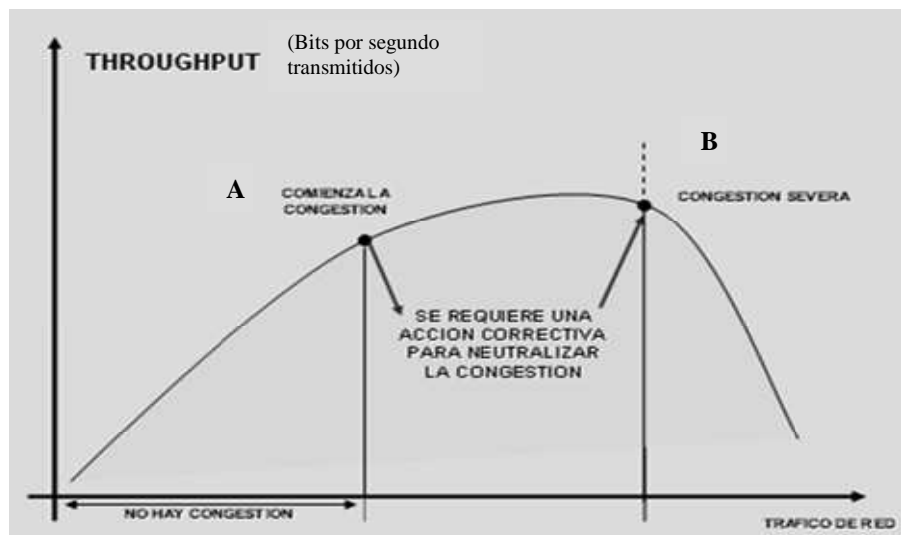


Ilustración 9: Throughput en función del tráfico de la red

Los procedimientos de **recuperación de congestión** se usan para prevenir el colapso de la red ante la ocurrencia de una congestión severa. Estos procedimientos, se inician generalmente cuando la red ha comenzado a perder tramas debido a la congestión. Esta pérdida de tramas se indica mediante algún software de capas superiores (por ejemplo, el protocolo de control LAPF o TCP), y sirve como mecanismo de **señalización implícita**. Tal como se muestra en la Ilustración 9, las técnicas de recuperación de congestión operan en torno al punto B y en la región de congestión severa.

ITU-T y ANSI consideran la prevención de congestión mediante señalización explícita y la recuperación de congestión mediante señalización implícita como métodos complementarios del control de congestión en el servicio de retransmisión de tramas.

6) Gestión de la tasa de tráfico: (Técnica de control del rechazo)

Aparece el concepto de *tasa de información contratada* (CIR: “committed information rate”), velocidad en bits por segundo, que la red acuerda para dar soporte a una conexión particular en modo trama. Cualquier dato transmitido a una velocidad superior a la CIR es susceptible de ser rechazado cuando se produce congestión. (Analizar Ilustración 10)

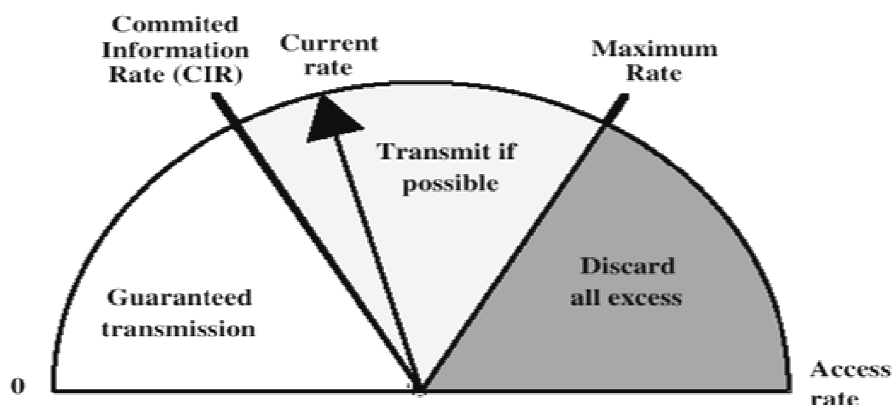


Ilustración 10: Gestión de la tasa de tráfico en Frame Relay

A pesar del uso del término contratado, no existe garantía de que no haya rechazos antes de alcanzar la CIR. La red puede verse forzada a proporcionar un servicio menor a la CIR para una conexión dada, en caso de congestión extrema. Sin embargo, a la hora de tener que descartar tramas, la red decidirá eliminar primero las tramas de conexiones que exceden su CIR, antes que las que están por debajo de la CIR.

El bit DE (“Discard eligibility”) (ver formato de la trama LAPF), es el que marca la trama excedida en su CIR.

Los frames con DE=1 que se encuentren por debajo de la máxima tasa permitida, pero que superan el CIR contratado, serán “transmitidos si es posible”, (la red hará el “best effort”), pero en caso de congestión tendrán la prioridad de eliminación.

Los frames que superan la máxima tasa, directamente son descartados por el nodo gestor de tramas al que llegan.

Para que la gestión del tráfico sea más flexible, junto con el CIR el usuario contrata dos parámetros adicionales:

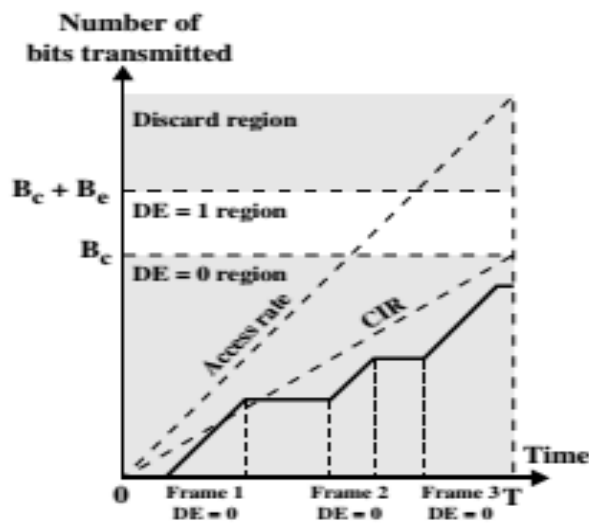
- **Tamaño contratado de ráfaga (Bc-“Burst committed”):** es la máxima cantidad de datos que la red acuerda en transmitir, en condiciones normales, en un intervalo T.
- **Tamaño de ráfaga en exceso (Be-“Burst Excess”):** es la máxima cantidad de datos en exceso por encima de Bc que la red intenta transmitir, en condiciones normales, en un intervalo T. Los datos que representan Be se entregan con menor probabilidad que los datos en Bc.

La relación entre Bc y CIR es la siguiente:

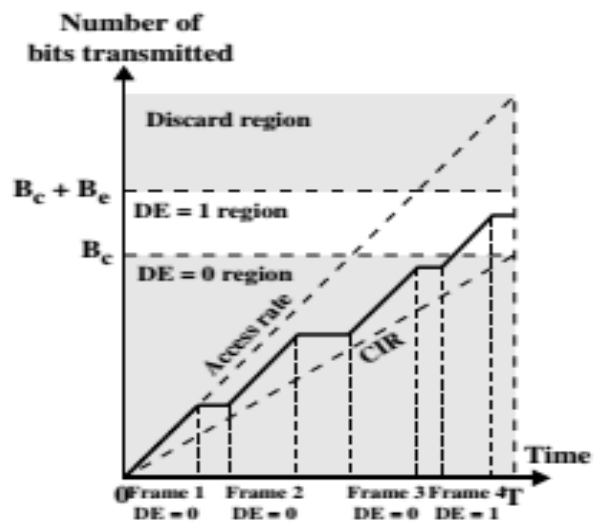
$$T = Bc / CIR$$

Cada frame transmitido lo hace a la velocidad de acceso (línea paralela a la misma), mientras que cuando no hay tramas para transmitir, la línea es horizontal. Los tres ejemplos de la Ilustración 11 son:

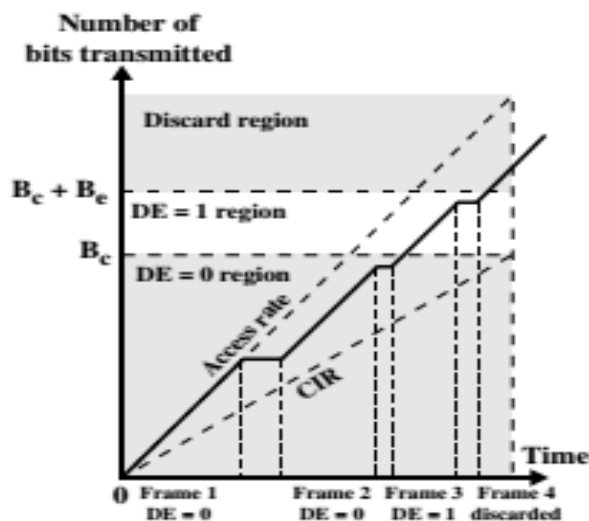
- Todas las tramas dentro del CIR
- Una trama marcada con DE
- Una trama marcada con DE y otra rechazada.



(a) All frames within CIR



(b) One frame marked DE



(c) One frame marked DE; one frame discarded

Ilustración 11: Ejemplo de tráfico de red en Frame relay

En el ejemplo (a), se transmiten tres tramas durante el intervalo de medida, siendo el número total de bits en las tres tramas inferior a B_c . Durante la transmisión de la primera trama, la velocidad de transmisión real supera temporalmente la CIR, aunque sin consecuencias, ya que el gestor de tramas solo tiene relación con el número acumulado de bits transmitidos durante el intervalo completo.

En el caso (b), la última trama transmitida durante el intervalo provoca que el número acumulado de bits transmitidos supere B_c , por lo que el bit DE de la trama es activado.

En el caso (c), la tercera trama excede B_c y es marcada en su bit DE para su potencial rechazo. La cuarta trama excede $B_c + B_e$, y se descarta directamente en el nodo.

6.1) Técnica de evitación explícita de congestión con señalización:



La señalización explícita utiliza dos bits en el campo de dirección de cada trama. Cada bit puede ser activado por cualquier gestor de tramas que detecte la congestión. Si un gestor de tramas recibe una trama en la que uno o ambos de estos bits han sido activados, no debe desactivarlos antes de retransmitir la trama. Los bits constituyen así señales desde la red hacia el usuario final.

Esos dos bits en el campo de dirección de la trama son:

- ❑ *Notificación de congestión explícita hacia atrás* (BECN-“Backward Explicit Congestion Notify”). Notifica al usuario que los procedimientos para evitar la congestión deberían ser puestos en marcha, donde sean aplicables, para el tráfico en dirección opuesta a la de la trama recibida. Indica que las tramas que el usuario transmite a través de la conexión lógica pueden encontrar recursos congestionados.
- ❑ *Notificación de congestión explícita hacia delante* (FECN-“Forward Explicit Congestion Notify”). Notifica al usuario que los procedimientos para evitar la congestión deberían ser puestos en marcha, donde sean aplicables, para el tráfico en la misma dirección que la de la trama recibida. Indica que ésta trama en su conexión lógica, ha encontrado recursos congestionados.

6.2) Recuperación de congestión con señalización implícita:

La señalización implícita se produce cuando la red descarta una trama y se detecta éste hecho en el usuario final en una capa superior, capa extremo a extremo, como es el caso de LAPF de control que lleva el secuenciamiento de los frames mediante una ventana deslizante (“sliding window”).

Cuando eso ha sucedido, el software del usuario final puede deducir la existencia de congestión, intentar recuperar las tramas perdidas y disminuir la tasa de transmisión, hasta que la red se recupere de la congestión.