



El modo de transferencia asíncrono (ATM, “**Asynchronous Transfer Mode**”), también conocido como “retransmisión de celdas”, aprovecha las características de fiabilidad y fidelidad de los servicios digitales modernos para proporcionar una conmutación de paquetes más rápida que X.25 y siendo incluso más funcional que Frame Relay. ATM se desarrolló como parte del trabajo en RDSI de banda ancha, pero ha encontrado aplicación en entornos distintos de RDSI en los que se necesitan velocidades de transmisión muy elevadas.

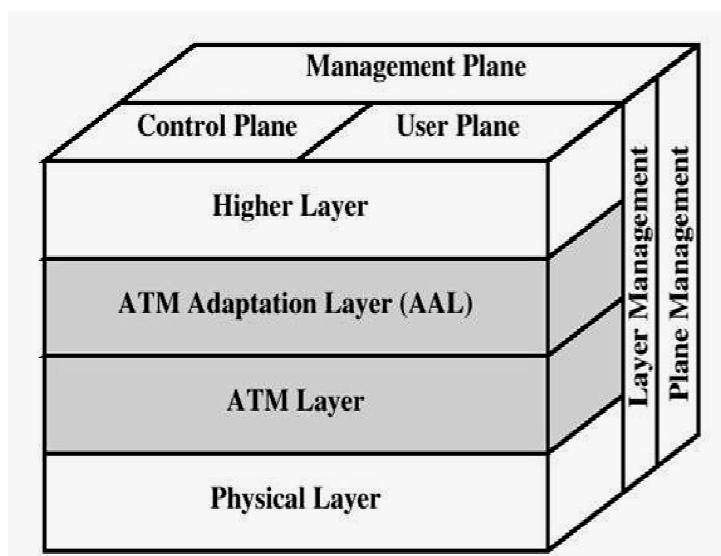
## 1) ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS

El modo de transferencia asíncrono (ATM) es similar en muchos aspectos a la conmutación de paquetes usando X.25 y a la técnica de retransmisión de tramas. Como ellas, ATM lleva a cabo la transferencia de los datos en fragmentos discretos. Además, al igual que X.25 y retransmisión de tramas, ATM permite la multiplexación de varias conexiones lógicas a través de una única interfaz física. En el caso de ATM, el flujo de información en cada conexión lógica se organiza en paquetes de tamaño fijo denominados **celdas**.

ATM es un protocolo funcional con mínima capacidad de control de errores y de flujo, lo que reduce el costo de procesamiento de las celdas ATM y reduce el número de bits suplementarios necesarios en cada celda, posibilitándose así su funcionamiento a altas velocidades. El uso de ATM a altas velocidades se ve apoyado adicionalmente por el empleo de celdas de tamaño fijo, ya que de este

modo se simplifica el procesamiento necesario en cada nodo ATM.

Las normalizaciones de ITU-T para ATM se basan en la arquitectura de protocolos mostrada en la Ilustración 1, donde se ilustra la arquitectura básica para una interfaz entre un usuario y la red.



❑ **La capa física:** especifica un medio de transmisión y un esquema de codificación de señal. Las velocidades de transmisión especificadas en la capa física son de 155.52 Mbps y 622,08 Mbps, siendo posibles velocidades superiores e inferiores.

**Ilustración 1: Arquitectura de capas en ATM**

Dos capas de la arquitectura están relacionadas con las funciones ATM. Existe una capa ATM común a todos los servicios de transferencia de paquetes, y una capa de adaptación ATM (AAL) dependiente del servicio.

- ❑ **La capa ATM:** define la transmisión de datos en celdas de tamaño fijo, al tiempo que establece el uso de conexiones lógicas. El empleo de ATM crea la necesidad de una capa de adaptación para dar soporte a protocolos de transferencia de información que no se basan en ATM.
- ❑ **La capa AAL:** convierte la información procedente de capas superiores en celdas ATM para enviarlas a través de la red, al tiempo que extrae la información contenida en las celdas ATM y la transmite hacia las capas superiores.

El modelo de referencia de protocolos involucra tres planos independientes:

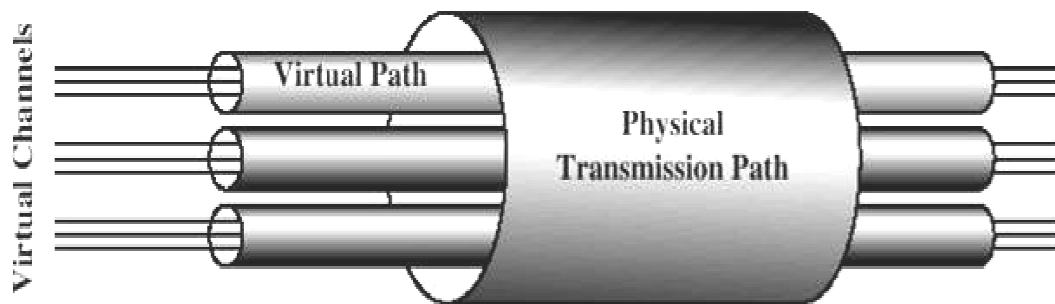
- ❑ **Plano de usuario:** permite la transferencia de información de usuario así como de controles asociados (por ejemplo, control de flujo y de errores).

- ❑ **Plano de control:** realiza funciones de control de llamada y de control de conexión.
- ❑ **Plano de gestión:** comprende la gestión de plano, que realiza funciones de gestión relacionadas con un sistema como un todo y proporciona la coordinación entre todos los planos, y la gestión de capa, que realiza funciones de gestión relativas a los recursos y a los parámetros residentes en las entidades de protocolo.

## 2) CONEXIONES LÓGICAS ATM

Las conexiones lógicas en ATM se denominan *conexiones de canal virtual* (VCC, “**virtual channel connection**”). Una VCC es similar a un circuito virtual en X.25 y constituye la unidad básica de conmutación en una red ATM. Una VCC se establece a través de la red entre dos usuarios finales, intercambiándose sobre la conexión celdas de tamaño fijo en un flujo *full-duplex* de velocidad variable. Las VCC se utilizan también para intercambios usuario-red (señalización de control) y red-red (gestión de red y encaminamiento).

En ATM se ha introducido una segunda subcapa de procesamiento para abordar el concepto de camino virtual. Una *conexión de camino virtual* (VPC, “**virtual path connection**”) es un haz de VCC con los mismos extremos, de manera que todas las celdas transmitidas a través de todas las VCC de una misma VPC se conmutan conjuntamente.



**Ilustración 2: Conexiones en ATM**

El concepto de camino virtual se desarrolló en respuesta a una tendencia en redes de alta velocidad en la que el costo del control está alcanzando una proporción cada vez mayor del costo total de la red. La técnica de camino virtual ayuda a contener el costo asociado al control, mediante la agrupación en una sola unidad de aquellas conexiones que comparten rutas comunes a través de la red. Las acciones de la gestión de red se pueden aplicar a un reducido número de grupos en lugar de a un número de conexiones individuales elevado.

El uso de los caminos virtuales presenta varias ventajas:

- ❑ **Arquitectura de red simplificada:** las funciones de transporte de la red se pueden separar en dos grupos: aquellas relacionadas con una conexión lógica individual (canal virtual) y las relativas a un grupo de conexiones lógicas (camino virtual).
- ❑ **Incremento en eficiencia y fiabilidad:** la red maneja entidades totales menores.
- ❑ **Reducción en el procesamiento y tiempo de establecimiento de conexión pequeño:** gran parte del trabajo se realiza cuando se establece el camino virtual, de modo que la reserva de capacidad en la VPC antes de la llegada de nuevas llamadas permite establecer nuevos canales virtuales mediante la ejecución de funciones de control sencillas en los extremos del camino virtual. No se necesita procesamiento de llamadas en los nodos de tránsito, por lo que la incorporación de nuevos canales virtuales a un camino virtual ya existente conlleva un procesamiento mínimo.
- ❑ **Servicios de red mejorados:** el camino virtual se usa internamente a la red, aunque también es visible para el usuario final. Así, el usuario puede definir grupos de usuarios fijos o redes fijas de haces de canales virtuales.

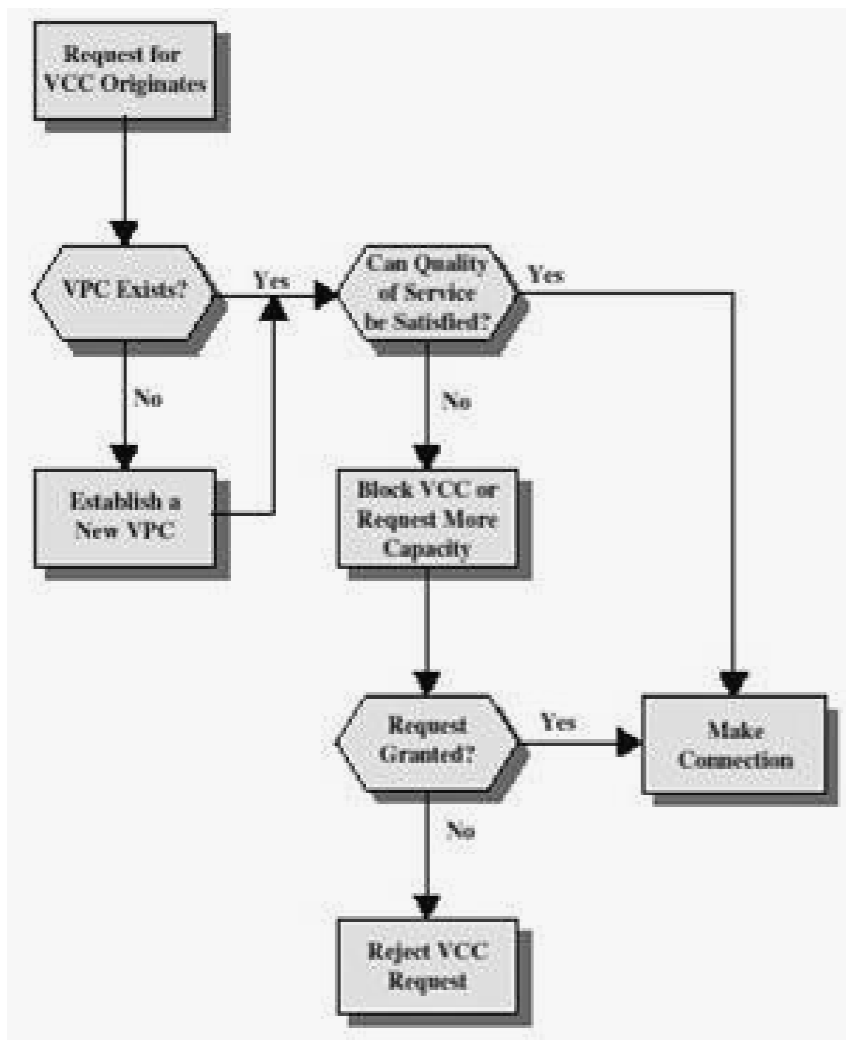
En la Ilustración 3 se sugiere una forma general para el establecimiento de llamada, haciendo uso de canales y caminos virtuales. El proceso de establecimiento de un camino virtual se encuentra desvinculado del proceso de establecimiento de un canal virtual individual:

- Entre los mecanismos de control de un camino virtual se encuentra la obtención de las rutas, la reserva de capacidad y el almacenamiento de información de estado de la conexión.
- El establecimiento de un canal virtual precisa la existencia previa de un camino virtual hacia el nodo de destino deseado, con suficiente capacidad disponible para soportar dicho canal virtual y con la calidad de servicio adecuada. El establecimiento se lleva a cabo mediante el almacenamiento de la información de estado necesaria (asociación canal virtual/camino virtual).

### 3) USO DE CANALES VIRTUALES

Los extremos de una VCC pueden ser usuarios finales, entidades de red o un usuario final y una entidad de red. En todos los casos se preserva la integridad de la secuencia de celdas dentro de una VCC; es decir, las celdas se entregan en el mismo orden en que se enviaron.

Analizamos ejemplos de los tres usos de una VCC:



□ **Entre usuarios finales:** se puede utilizar para el transporte extremo a extremo de datos de usuario y para la transmisión de señalización de control entre usuarios finales. Una VPC entre usuarios finales les concede a éstos una capacidad total; la organización de la VPC en VCC se utiliza por los dos usuarios finales siempre que el conjunto de las VCC no supere la capacidad de la VPC.

□ **Entre un usuario final y una entidad de red:** se usa para la señalización de control desde el usuario hacia la red. Una VPC del usuario a la red se puede emplear para el tráfico total desde un usuario final hacia un conmutador o un servidor de red.

□ **Entre dos entidades de red:** utilizado para la gestión del tráfico de red y con funciones de encaminamiento. Una VPC red-a-red puede ser usada para definir una ruta común para el intercambio de información de gestión de red.

**Ilustración 3: Establecimiento de una llamada en ATM**



#### 4) CARACTERÍSTICAS CAMINO VIRTUAL / CANAL VIRTUAL

En la recomendación I.150 de ITU-T se especifican las siguientes características para las conexiones de canal virtual:

- ❑ **Calidad de servicio:** un usuario de una VCC es provisto con una calidad de servicio especificada por parámetros tales como la tasa de pérdida de celdas (relación entre las celdas perdidas y las transmitidas) y la variación del retardo de celdas.
- ❑ **Conexiones de canales virtuales conmutadas y semi-permanentes:** una VCC conmutada es una conexión bajo demanda que necesita señalización de control de llamada para su establecimiento y terminación. Una VCC semi-permanente se caracteriza por ser de larga duración y llevarse a cabo su establecimiento a través de una acción de configuración o de gestión de red.
- ❑ **Integridad de la secuencia de celdas:** se preserva la naturaleza secuencial de la secuencia de celdas transmitida en una VCC.
- ❑ **Negociación de parámetros de tráfico y supervisión del uso:** entre un usuario y la red se pueden negociar parámetros de tráfico para cada VCC. La entrada de celdas a la VCC es supervisada por la red para asegurar que se cumplen los parámetros negociados.

Canal virtual (VC)	Término genérico usado para describir el transporte unidireccional de celdas ATM asociadas a un valor identificador único común.
Enlace de canal virtual	Medio de transporte unidireccional de celdas ATM entre un punto al que se asigna un valor de VCI y el punto en que éste se traduce o termina.
Identificador de canal virtual (VCI)	Marca numérica única que identifica un enlace VC particular de una VPC dada.
Conexión de canal virtual (VCC)	Concatenación de enlaces VC que se extiende entre dos puntos donde los usuarios de servicio ATM acceden a la capa ATM. Las VCC se utilizan con fines de transferencia de información usuario-usuario, usuario-red o red-red. Se preserva la integridad de la secuencia de celdas para aquellas pertenecientes a la misma VCC.
Camino virtual	Término genérico usado para describir el transporte unidireccional de celdas ATM pertenecientes a canales virtuales asociados a un valor de identificación único común.
Enlace de camino virtual	Grupo de enlaces VC, identificado por un valor común de VPI, entre un punto al que se asigna un valor de VPI y el punto en que este valor se traduce o termina.
Identificador de camino virtual (VPI)	Identifica un enlace VP particular.
Conexión de camino virtual (VPC)	Concatenación de enlaces VP que se extiende entre el punto en que se asignan los valores de VCI y el punto en que estos valores se traducen o eliminan (es decir, amplía la longitud de un haz de enlaces VC que comparten el mismo VPI). Las VPC se emplean con objeto de transferir información usuario-usuario, usuario-red o red-red.

**Ilustración 4: Terminología de camino virtual/canal virtual.**

Entre los tipos de parámetros de tráfico que se pueden negociar se encuentran la velocidad media, la velocidad de pico, el tipo de ráfagas y la duración de pico. La red puede necesitar la utilización de varias estrategias para abordar la congestión y gestionar tanto las VCC existentes como las solicitadas. Al nivel más básico, la red puede limitarse simplemente a denegar nuevas peticiones de VCC para prevenir la congestión (Ilustración 3). Adicionalmente, las celdas se pueden descartar si no se respetan los parámetros negociados o si la congestión llega a ser importante, pudiendo llegar a liberarse las conexiones existentes si la situación es extrema.



El documento I.150 especifica también características de las VPC. Las cuatro primeras son idénticas a las de las VCC; es decir, calidad de servicio, VPC conmutadas y semi-permanentes, integridad de la secuencia de celdas y negociación de parámetros de tráfico y supervisión del uso son también características propias de una VPC.

Existe una quinta característica, exclusiva de las VPC:

- ❑ **Restricción de identificador de canal virtual en una VPC:** puede que no sea posible proporcionar al usuario de una VPC uno o más identificadores, o números, de canal virtual, pero sí se pueden reservar para el uso de la red. Algunos ejemplos incluyen el uso de VCC para la gestión de la red.

Existen varias razones para esta duplicidad.

En primer lugar, se provee así de cierta flexibilidad sobre cómo el servicio de red gestiona los requisitos que debe cumplir. En segundo lugar, la red debe ocuparse de las necesidades de una VPC, y dentro de una VPC puede negociar el establecimiento de canales virtuales con unas características concretas. Por último, una vez que se ha establecido una VPC, los usuarios finales pueden negociar la creación de nuevas VCC. Las características de la VPC determinan las elecciones que los usuarios finales pueden hacer.

## 5) CELDAS ATM

El modo de transferencia asíncrono hace uso de celdas de tamaño fijo, que constan de 5 octetos de cabecera y de un campo de información de 48 octetos.

El empleo de celdas pequeñas de tamaño fijo presenta varias ventajas:

- ❑ En primer lugar, el uso de celdas pequeñas puede reducir el retardo de cola para celdas de alta prioridad, ya que la espera es menor si se reciben ligeramente después de que una celda de baja prioridad haya conseguido el acceso a un recurso (por ejemplo, el transmisor).
- ❑ En segundo lugar, parece que las celdas de tamaño fijo se pueden conmutar más eficientemente, lo que es importante para las altas velocidades de ATM. La implementación física de los mecanismos de conmutación es más fácil para celdas de tamaño fijo.

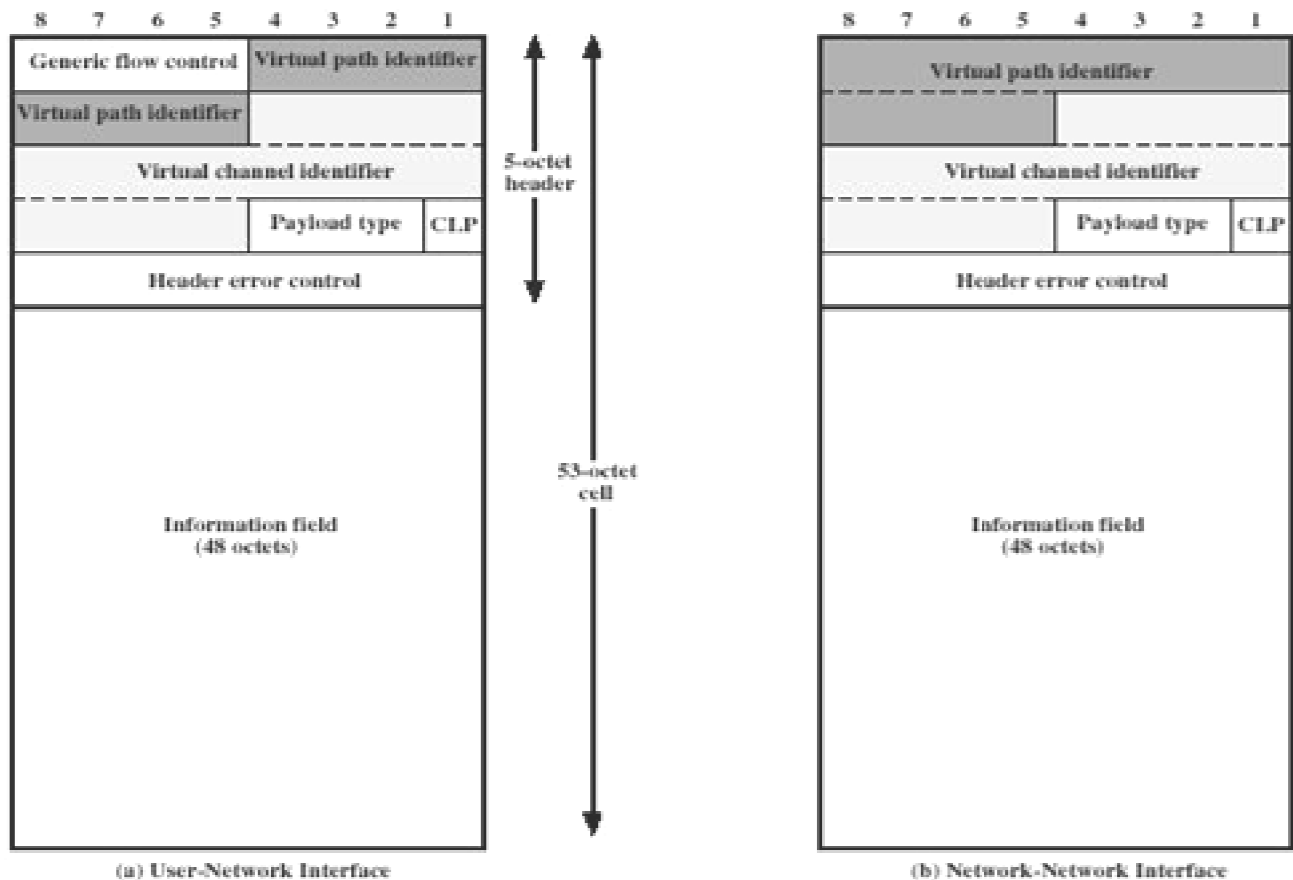
### Formato de cabecera:

En la Ilustración 5 (a) se muestra el formato de cabecera de las celdas en la interfaz usuario-red, mientras que en la Ilustración 5 (b) se muestra el formato de cabecera de las celdas internas a la red.

- ❑ El campo de **control de flujo genérico** (GFC, “Generic Flow Control”) no se incluye en la cabecera de las celdas internas a la red, sino solo en la interfaz usuario-red, por lo que únicamente se puede usar para llevar a cabo el control de flujo de celdas en la interfaz local entre el usuario y la red. Este campo podría utilizarse para ayudar al usuario en el control del flujo de tráfico para diferentes calidades de servicio. En cualquier caso, el mecanismo GFC se usa con el fin de aliviar la aparición esporádica de sobrecarga en la red.
- ❑ El **identificador de camino virtual** (VPI) es un campo de encaminamiento para la red, de 8 bits para la interfaz usuario-red y de 12 bits para la interfaz red-red. Este último caso permite un número superior de VPC internas a la red, tanto para dar servicio a subscriptores como las necesarias para la gestión de red.
- ❑ El **identificador de canal virtual** (VCI) se emplea para encaminar a y desde el usuario final, funcionando como una SAP (“service access point”) del modelo OSI.
- ❑ El campo **tipo de carga útil** (PT, “payload type”) indica el tipo de información contenida en el campo de información. En la tabla de la Ilustración 4 se muestra la interpretación de los bits PT. Un valor 0 en el primer bit indica información de usuario (es decir, información procedente de la capa inmediatamente superior). En este caso, el segundo bit indica si se ha producido o no congestión; el tercer bit, llamado tipo de unidad de datos de servicio (SDU), es un campo de 1 bit que se puede usar para discriminar dos tipos de SDU ATM asociadas a una conexión dada. El término SDU se refiere a la carga útil de 48 octetos de la celda. Un valor de 1 en el primer bit del



campo PT indica que la celda transporta información de gestión de red o de mantenimiento. Esto permite la inserción de celdas de gestión de red en una VCC de usuario sin afectar a los datos de usuario, de modo que el campo PT proporciona información de control en banda.



**Ilustración 5: Formatos de las celdas en ATM**

- ❑ El bit **prioridad de pérdida de celdas** (CLP “cell loss priority”) se emplea para ayudar a la red ante la aparición de congestión. Un valor 0 indica que la celda es de prioridad relativamente alta, no debiendo ser descartada a menos que no queda otra opción; un valor 1 indica por el contrario que la celda puede descartarse en la red. El usuario puede utilizar este campo para insertar celdas extra (una vez negociada la velocidad), con CLP igual a 1, y transmitir las al destino si la red no está congestionada. La red puede poner este campo a 1 en aquellas celdas que violen los parámetros de tráfico acordados entre el usuario y la red. En este caso, el conmutador que lo activa se percata de que la celda excede los parámetros de tráfico establecidos pero que ésta puede ser procesada. Posteriormente, si se encuentra congestión en la red, esta celda se marcará para su rechazo antes que aquellas que se encuentran dentro de los límites de tráfico fijados.
- ❑ El campo de **control de errores de cabecera** (HEC “header error control”) usa ese campo de 8 bits para el control de errores (Ilustración 6). Para hacerlo, calcula el polinomio  $X^8 + X^2 + X + 1$  en base a los restantes 32 bits de la cabecera, alternando entre un *modo de detección* y un *modo de corrección*.

El código tiene suficiente redundancia como para detectar y también corregir errores simples en un bit, y la mayoría de los errores en ráfagas. Si el error es de múltiples bits, la celda es directamente descartada. (Ilustración 7)

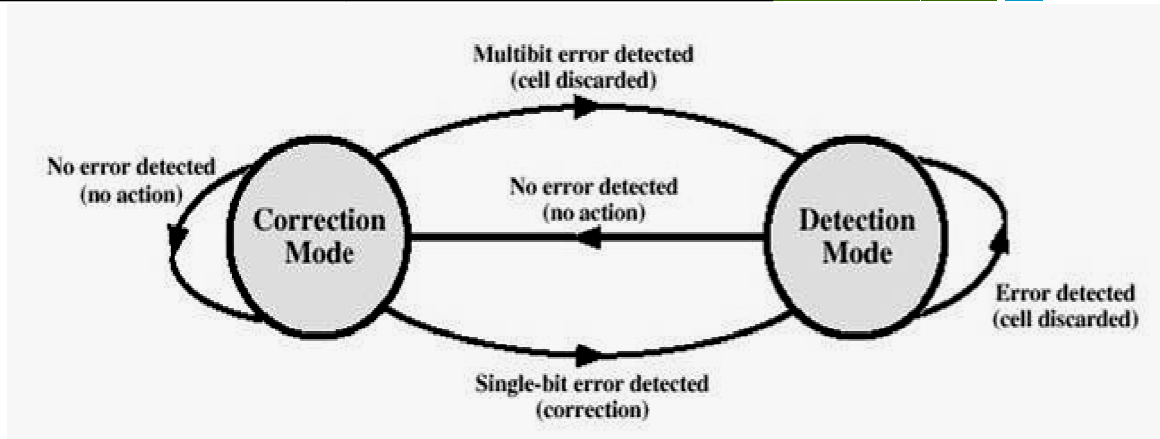


Ilustración 6: Operación del campo de control de errores de cabecera.

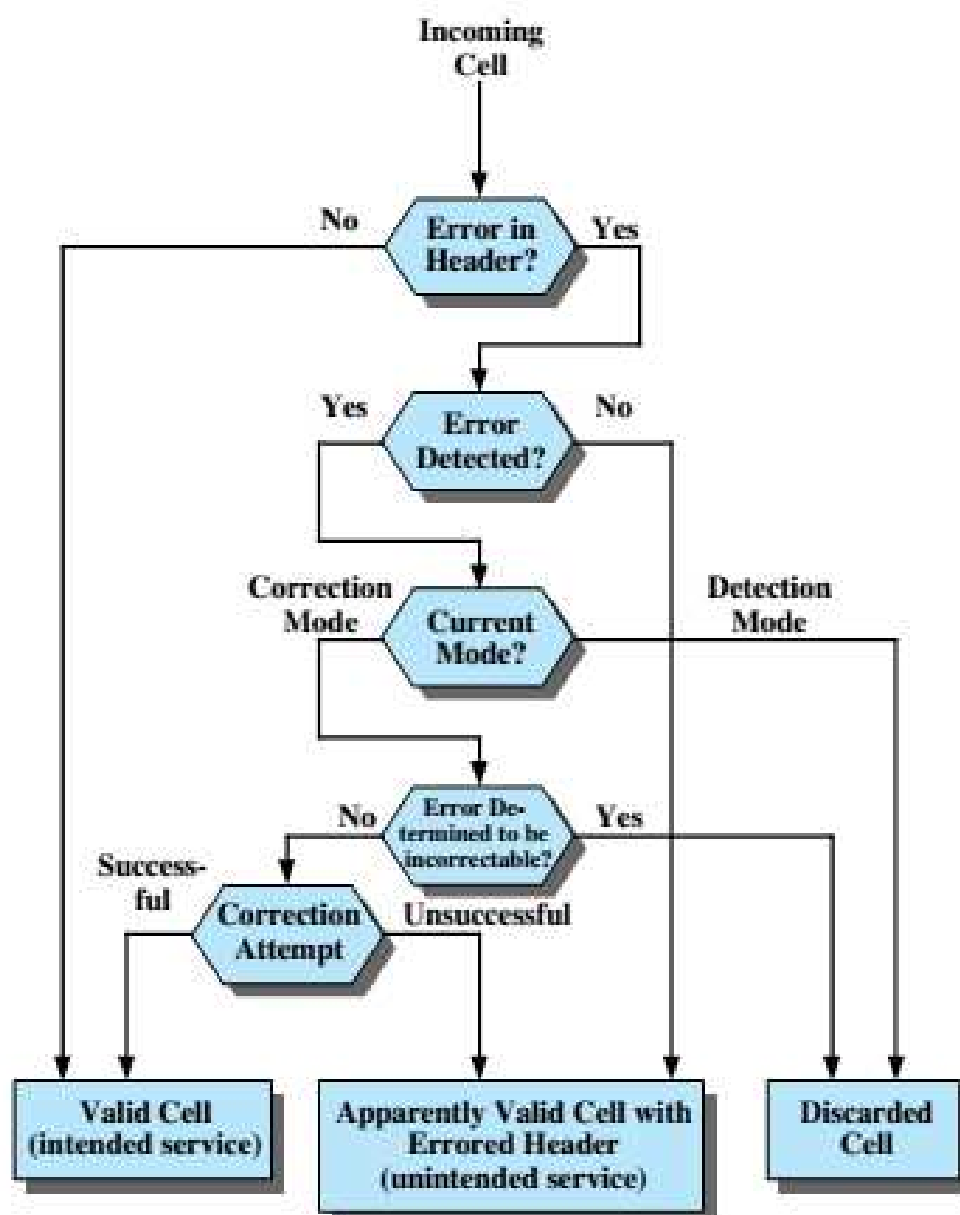
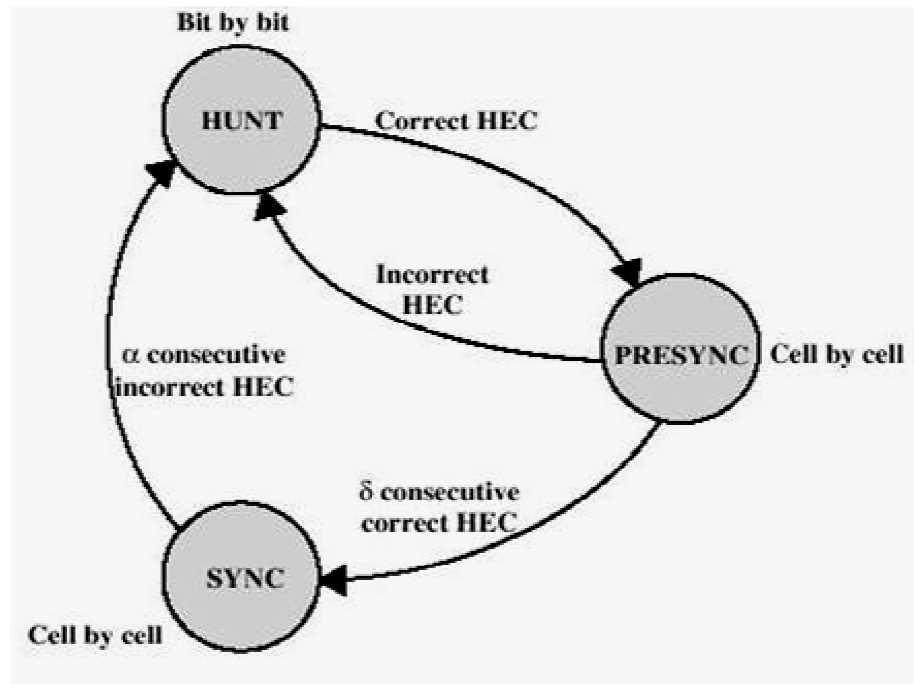


Ilustración 7: efecto de un error en la cabecera de una celda.

## 6) TRANSMISIÓN DE CELDAS ATM:

La UIT especifica la mecánica de transmisión en la capa ATM (interfaz con la capa física), con dos variantes:

- ❑ *Capa física basada en SDH* (jerarquía digital síncrona): que implica la fragmentación de la información en tramas sincrónicas. Es la técnica más eficiente, pero la más compleja y no se detallará.
- ❑ *Capa física basada en celdas*: no se impone la fragmentación, por lo que en la interfaz hay una secuencia continua de celdas de 53 octetos, pero sin marcar la delimitación entre ellas.



**Ilustración 8: Obtención de sincronismo a nivel de celdas en ATM**

Para tener sincronización (saber cuando comienza una celda), el receptor explora el contenido de la secuencia de bits, buscando reconocer el campo HEC de la cabecera de alguna celda, mediante el cálculo del polinomio indicado antes, (*fase de detección* -“*hunt*”-) sobre los 32 bits que anteceden al octeto inspeccionado (Ilustración 8). Si el polinomio falla, se corre un bit en la secuencia de detección y lo vuelve a calcular sobre los 32 bits anteriores y así sucesivamente. En el momento que el HEC da un valor correcto sobre los 32 bits anteriores, se entra en una *fase de presincronismo*, ya que posiblemente se haya identificado la cabecera de una celda (y logrado por lo tanto sincronismo en la transmisión a nivel de celdas). Luego de sincronizar  $\delta$  celdas consecutivas exitosamente, se pasa a la *fase de sincronismo*, permaneciendo en ella mientras dure la correcta recepción de celdas transmitidas. Cuando  $\alpha$  celdas consecutivas resultan con un HEC incorrecto, es probable la existencia de una pérdida de sincronismo de la transmisión, por lo que se reinicia el proceso descrito.

Es decir, el campo HEC tiene una doble funcionalidad en ATM: detección de errores de la cabecera y sincronismo de celdas.

La ventaja en éste caso, es la sencillez de la interface, ya que las funciones en el modo transferencia y en el modo transmisión están basadas en una estructura común.

## 7) CAPA DE ADAPTACIÓN ATM (AAL)





El uso de ATM hace necesaria la existencia de una capa de adaptación para permitir protocolos de transferencia de información no basados en ATM. (Ilustración 1)

Por ejemplo:

- a. Voz PCM: secuencia de bits a partir de una señal de voz, que deben ser agrupados en celdas ATM, transmitidas y leídas en el receptor como una secuencia constante de bits.
- b. LAPF: protocolo de control de enlace de datos estándar de Frame Relay, que debe ser adecuado para transmitir por una red ATM, ya que se impone la segmentación de las tramas LAPF en celdas de ATM en el transmisor, y el proceso de ensamblado inverso, en el receptor.

Para minimizar la cantidad de protocolos AAL diferentes, la UIT especifica cuatro clases de servicios (clases A, B, C y D), que abarcan un amplio rango de características, teniendo en cuenta distintas opciones de:

- ☐ Relación de tiempo entre origen/destino (requerida-no requerida).
- ☐ Velocidad de transmisión (constante-no constante).
- ☐ Transferencia orientada a conexión (o no orientada a conexión)

## 8) CONTROL DE TRÁFICO Y DE CONGESTIÓN EN ATM

Al igual que en Frame Relay y X.25, *el control de congestión es vital para que la red no decaiga en rendimiento*. En ATM esto es un desafío ya que no hay prácticamente información de control; hay pocos bits suplementarios para usarlos para el control de la congestión.

La UIT especifica documentos con especificación orientadas en especial a tráfico sensible al retardo como la voz y el video (pero estas recomendaciones no son aptas para la transmisión de datos en ráfagas).

Principales problemas para el control de congestión:

- ✓ La mayoría del tráfico no es adaptable a un control de tráfico (en la voz y el video no puede ser interrumpida la transmisión de las celdas si aparece congestión).
- ✓ ATM trabaja con rango de velocidad muy variable (desde unos pocos Kbps a varios Mbps). Cualquier medida de control, perjudicará a uno u otro extremo en el rango de transmisión.
- ✓ Los patrones de retardo para voz y video son críticos, pero no lo son para los datos que son susceptibles a perder celdas, los datos sí se pueden frenar en la transmisión de celdas.
- ✓ El procesamiento en los nodos es mínimo, con celdas y cabeceras fijas y sin controles de errores y controles de flujo. El tiempo de procesamiento en un nodo ATM de una celda ATM individual, es irrelevante.