

# Control de errores en ATM (Modo de Transferencia Asíncrono)

M<sup>a</sup> Angélica Reyes Muñoz\*

## Resumen

El objetivo de este trabajo es mostrar la estrategia del control de errores que utiliza el Modo de Transferencia Asíncrono (ATM). Se proporciona una amplia descripción del manejo de errores en cada capa del modelo de referencia ATM, enfocándose principalmente en el manejo de errores para el encabezado de la celda.

El trabajo se basa en especificaciones y estándares de la ITU-T y del ATMforum. . Primeramente se describe la estructura de las celdas ATM, el modelo de referencia y los tipos de errores que existen.

Posteriormente, se presenta el manejo de errores que utilizan los distintos servicios de la capa de adaptación en el campo de información de la celda. De la misma manera, pero basándose en las capas inferiores de ATM se describe el manejo de los errores en el encabezado de la celda. En esta sección se realiza un análisis detallado del campo HEC debido a la importancia de evitar el efecto de multiplicación de errores que producen los encabezados dañados y que ocasiona que se altere severamente la calidad de ejecución de la red.

El trabajo también presenta las técnicas de control de errores FEC y los protocolos ARQ, se muestra finalmente como solución a las desventajas que conlleva la utilización de las técnicas FEC y ARQ una combinación conocida como esquema híbrido de ARQ.

## Abstrait

L'objectif de cet article est de montrer la stratégie de contrôle d'erreur utilisée dans le Mode de Transfer Asynchrone. Une description complète de l'erreur de management est fournie pour chacun des niveaux du modèle MTA avec une attention particulière sur l'erreur de management dans la cellule de tête.

Cet article est basé sur les spécifications et les standards du ITU-T et MTA forums. La structure des cellules MTA, le modèle de référence et les types d'erreurs possibles sont décrits en premier.

Ensuite, l'erreur de management qui utilise les différents services du niveau d'adaptation du domaine de la cellule d'information est décrite. Une description de l'erreur de management dans la cellule de tête décrite de la même façon, mais cette fois-ci, elle est basée sur le niveau bas du MTA. Etant donné qu'il est important d'éviter l'effet de multiplication d'erreurs, un effet produit par des têtes endommagées et qui cause des dommages sévères dans la qualité du réseau de performance, une analyse détaillée des 'fields' HEC est donnée dans cette section.

Cette études présente aussi les techniques de contrôle d'erreur FEC et les protocoles ARQ. Finalement, comme solution pour les désavantages collectifs à utiliser les protocoles FEC et ARQ. Finalement, une combinaison connue sous le nom de Schéma Hybride ARQ est présentée comme solution au désavantages produits par l'utilisation des techniques FEC et ARQ.

## Abstract

The objective of this paper is to show the strategy used by the Asynchronous Transfer Mode (ATM) for controlling errors. An extended description of the handle of errors in every layer of the ATM model is given, focusing in the handle of errors in the head of the cell.

This paper is based in the specifications and standards given by ITU-T y ATMforum. A description of the structure of the ATM cells, the reference model and the type of errors is firstly described.

Then, the handle of errors used by the adaptation layer in the information cell is described. A description of the handle of errors in the head of the cell is given as well, but based in the inferior layers. Due to the importance of avoiding the propagation of errors effect (caused by corrupted headings) which cause networks' quality alterations, a detailed analysis of the HEC field is presented.

This paper shows as well the control of errors techniques FEC. The solution proposed for the disadvantages of using the FEC and ARQ (as a combination known as hybrid ARQ) is the use of protocols ARQ

## Introducción

Internet, World Wide Web, telefonía, videoconferencias, telemedicina y muchas otras aplicaciones de redes reflejan una demanda creciente de ancho de banda y

de soporte de diferentes tipos de servicios de forma simultánea en la misma red de telecomunicaciones. Para satisfacer estas demandas surge una nueva generación de redes de alta ejecución. Una tecnología que forma parte de esta nueva generación de redes es el Modo de Transferencia Asíncrono(ATM)

---

\* Universidad Politécnica de Cataluña - Universidad Veracruzana

La década pasada tuvo un gran avance en el desarrollo y estandarización de la tecnología de ATM; desde entonces, se ha vuelto una tecnología de red capaz de integrar diferentes tipos de redes, dentro de una sola y consolidada red de área amplia. La red ATM soporta todo tipo de tráfico, permitiendo la creación y expansión de las aplicaciones multimedia. ATM se basa en el concepto de conmutación rápida de paquetes, por lo que posee una fiabilidad muy alta para la tecnología de transmisión digital, principalmente sobre fibra óptica.

Existen en ATM aplicaciones como el superprocesamiento y los respaldos de datos remotos que se ven seriamente afectadas por la pérdida de celdas. Dichas aplicaciones requieren que todos los receptores de un mensaje reciban el mensaje intacto, a diferencia de las aplicaciones multimedia que no se ven muy afectadas por la pérdida ocasional de celdas pero sí de los retrasos. Por ello es que este trabajo presenta el manejo del control de errores en redes ATM dependiendo del servicio que se transmita.

### 1. Las celdas de ATM

ATM tiene celdas pequeñas y de longitud constante, lo cual es conveniente en tráfico de voz y video. Permiten un tiempo de latencia muy bajo constante y predecible, así como una conmutación por hardware a velocidades muy altas, por lo que en el caso de celdas perdidas por congestión o corrupción, la pérdida no es muy grande siendo en muchos casos remediable o recuperable; de hecho, el tráfico de voz y video no es muy sensible a pequeñas pérdidas de información, pero sí es muy sensible a retardos variables, sucediéndole lo contrario al tráfico de datos.

El tamaño de las celdas es de 53 bytes y están divididas en un campo de información de 48 bytes y uno de encabezado de 5 bytes como se muestra en la Figura 1. El campo de información es la parte del paquete donde viaja la información y el encabezado se

encarga del mecanismo de direccionamiento, son sólo 5 bytes debido a que no se realiza recuperación de errores en los nodos intermedios, tampoco se emplean direcciones válidas a nivel de toda la red, tales como la dirección MAC en Ethernet o IP en redes tipo TCP/IP [Ginsburgh, 1999].

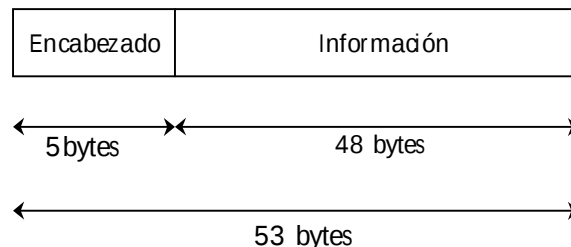


FIGURA 1 CELDA ATM

### 2. Errores en ATM

Ningún sistema es perfecto, la mayoría de las imperfecciones en los sistemas de comunicación que disminuyen la calidad son causadas por ruido, dispersión de la señal, malfuncionamiento de hardware o por recursos limitados, produciendo el bloqueo y la congestión. Los sistemas se diseñan bajo una relación costo/beneficio, donde los requerimientos de ejecución más altos (la menor cantidad de errores) hacen el sistema más caro, pero aún los sistemas más caros tienen errores. Teóricamente es posible una transmisión cercana a aquella sin errores, sólo que en la práctica existe el inevitable compromiso entre la seguridad en la transmisión, la eficiencia y la complejidad del equipo terminal.

En las primeras redes de conmutación de paquetes, la calidad de la transmisión era muy pobre, para garantizar una calidad aceptable el control de errores se ejecutaba en cada nodo. Este control de errores se manejaba con el protocolo de control de enlace de datos de alto nivel (HDLC), el cual incluía funciones tales como CRC y retransmisión. En las redes de banda amplia se incrementó la calidad de los sistemas de transmisión y conmutación, reduciéndose los errores; por lo que una red de

alta calidad como ATM propone implementar sólo algunas de las funciones del protocolo HDLC y eliminar las funciones de control de errores en cada nodo de conmutación. Por lo tanto al no soportar las funciones de manejo de errores en los nodos se logra que éstos tengan una complejidad mínima que favorece la velocidad de la transmisión [Raif, 1995].

Uno de los parámetros utilizados para definir imperfecciones en estos canales sin memoria, es la tasa de error de bit (BER) y la tasa de error de paquete (PER) que se explican a continuación.

### 2.1 Tasa de error de paquetes (PER)

La pérdida e inserción de paquetes ocasionada por errores en el encabezado son muy comunes en ATM. En las redes de telecomunicaciones, los bits son tratados en grupos, por lo que en las celdas pueden aparecer errores en ráfagas. Los principales causantes de estos errores son los bloques de información perdidos o mal encaminados. Por lo tanto se puede definir la tasa de paquete de error (PER) como el radio entre los paquetes mal encaminados o perdidos y los paquetes transmitidos [Pricer, 1995].

Un paquete erróneo puede ser causado por congestión o mal encaminamiento (tasa de paquetes perdidos PLR) o bien por que los paquetes lleguen a un destino al cuál no están dirigidos y el destino los acepte (tasa de inserción de paquetes PIR). La probabilidad de los paquetes perdidos esta entre  $10^{-8}$  y  $10^{-12}$  según el estándar de la ITU-T

### 2.2 Tasa de error de bit (BER)

Es la tasa entre el número de bits que llegan erróneamente y el número total de bits transmitidos. Esta tasa se presenta en los sistemas de transmisión, debido a que manejan sólo bits, por lo tanto, únicamente tienen errores de bits (que son estadísticamente independientes), es decir, el ruido afecta de manera independiente cada símbolo transmitido. En la figura 2 se observa que cada bit

transmitido tiene una probabilidad  $p$  de ser mal recibido y una probabilidad  $1-p$  de ser bien recibido, independientemente de los otros bits transmitidos.

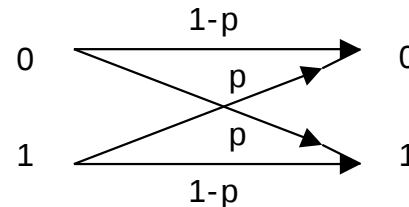


FIGURA 2 PROBABILIDAD DE ERROR DE UN BIT TRANSMITIDO

ATM fue originalmente diseñada para ambientes de fibra óptica con una tasa de error de Bit de  $10^{-11}$ , sin embargo cuando se adapta ATM a ambientes de bajas velocidades como la transmisión satelital, la BER se incrementa a  $10^{-2}$  [Cuthbert, 1996].

En la Tabla 1 se observa un análisis de la tasa de error sobre fibra óptica bajo condiciones normales de operación. Como se puede ver la mayoría de los errores que ocurren son errores de un bit.

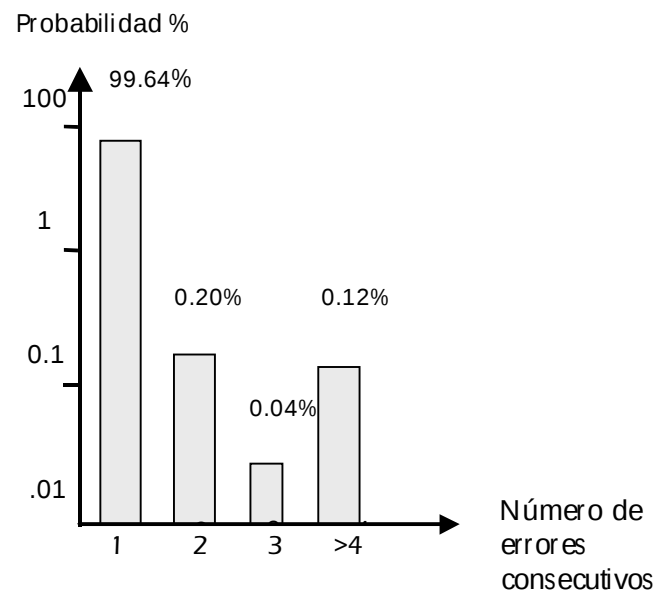


TABLA 1 PORCENTAJE DE ERROR SOBRE FIBRA ÓPTICA

Para cada tipo de servicio en ATM se estableció una BER, PLR y PIR permisibles, como se ve en la Tabla 2.

| SERVICIO                   | BER       | PLR       | PIR       |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Transmisión de datos       | $10^{-7}$ | $10^{-6}$ | $10^{-6}$ |
| Transmisión de video       | $10^{-6}$ | $10^{-8}$ | $10^{-8}$ |
| Sonido de alta fidelidad   | $10^{-5}$ | $10^{-7}$ | $10^{-7}$ |
| Procesos de control remoto | $10^{-5}$ | $10^{-3}$ | $10^{-3}$ |

TABLA 2 TASAS PERMITIDAS POR SERVICIO

En una red se deben tomar en cuenta los errores introducidos por los sistemas de transmisión y los errores que ocurren en los sistemas de conmutación/multiplexación, los cuales afectan de manera directa a la BER.

1. Errores de transmisión.- En los sistemas de transmisión ocurren diferentes tipos de errores, algunos causados por imperfecciones del sistema de transmisión en sí mismo (fibra óptica, coaxial, etc.) y otros causados por intervenciones operativas [Raif, 1995]. Los errores de transmisión cambian de valor a los bits transmitidos. Si este cambio de bit ocurre en un bit del campo de información, este bit incorrecto finalmente llegará al destino en la red ATM. Si el bit incorrecto ocurre en el encabezado entonces el equipo de conmutación/multiplexación interpretará mal el encabezado y puede perder el paquete.

2. Errores de conmutación/multiplexación.- Los sistemas de conmutación y multiplexación ejecutan funciones con paquetes de bits, por lo tanto pueden ocurrir errores de bits y errores de paquetes. Los errores de paquete en el encabezado ocasionan que se descarte la celda, también se puede producir una pérdida de paquetes ocasionada por la falta de recursos en el sistema de conmutación/multiplexación debido a que muchos paquetes son simultáneamente enviados al mismo recurso.

### 3. El modelo de referencia ATM

En el modelo de referencia ATM se han definido tres capas o niveles que manejan el control de errores de forma distinta, utilizando varias técnicas, como son:

- Control de errores en el destino (FEC) en el nivel de adaptación (AAL).

- Control de errores por retransmisión (ARQ) con repetición selectiva en el nivel ATM.
- Entrelazado y técnicas de codificación en bloque para el nivel físico.

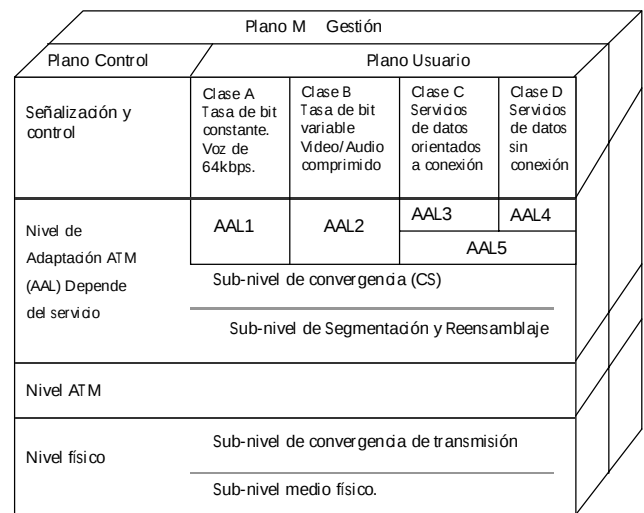


FIGURA 3 MODELO DE REFERENCIA ATM

El trabajo a continuación tratará el análisis del control de errores en el campo de información y en el campo del encabezado. Ambos análisis se realizarán con base en el modelo de referencia ATM

### 4. Control de errores en el campo de Información

Debido a las altas velocidades de transmisión, la BER es muy pequeña y en muchas ocasiones no se necesita un control de errores para el campo de información, sin embargo el estándar para el control de errores en ATM incluye protección en el campo de información para las aplicaciones que así lo precisen. Cuando una aplicación necesita una tasa de error muy baja, el control de errores se ejecuta en las capas superiores. Sin embargo, si un canal es propenso a tener errores ocasiona muchas retransmisiones, por lo que es necesario aplicar corrección de errores para el campo de información, pero siempre es conveniente evaluar la necesidad y el costo del control de errores.

Los distintos servicios que se transmiten tienen características propias que deben considerarse en el proceso de control de errores ya que por ejemplo, los datos necesitan una mayor fiabilidad en la transmisión que el video en tiempo real, pero para el video en tiempo real es muy importante que la tasa de retrasos sea mínima, lo cual no es tan importante para la transmisión de datos.

Un enlace de transmisión con una BER de  $10^{-5}$  es aceptable para transmisiones de datos que no sean en tiempo real y que tengan algún método de corrección de error [Cuthbert, 1996]. Sin embargo, en una cadena de video, esta tasa de error ocasiona una severa degradación en la calidad.

A continuación se presenta el manejo de los errores del campo de información basado en el nivel de adaptación del modelo de referencia ATM donde se analiza el tipo de control de errores dependiendo del servicio a transmitir.

#### 4.1 Control de errores en el nivel de adaptación (AAL)

La información transportada por el nivel de adaptación se divide en cuatro subcapas

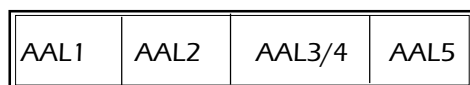


FIGURA 4 SUBCAPAS DE AAL

Estas subcapas dependen del servicio a transmitir. A continuación se explicará el control de errores en cada subnivel.

##### 4.1.1 Velocidad binaria constante AAL1

Los métodos de compresión tales como MPEG, son muy sensibles a la pérdida de celdas, debido a que estos errores pueden ocasionar múltiples errores en la estructura de los datos descomprimidos, por ejemplo, en lugar de unos cuantos pixeles, se puede perder una serie de frames completos [Cuthbert, 1996].

El formato del campo de información en AAL1, tiene un número de secuencia protegido por un campo CRC y un bit de paridad. Dichos campos se añaden a cada grupo de 47 bytes que se han leído de la matriz de entrelazado constituyendo el campo de información de las celdas de ATM. En el receptor el número de secuencia se utiliza para detectar celdas erróneamente insertadas o perdidas.

| AAL1       |        |        |       |                               | Redundancia   |
|------------|--------|--------|-------|-------------------------------|---------------|
| Encabezado |        |        |       | Información<br><br>47 octetos | 1 octeto - 2% |
| SN         |        | SNP    |       |                               |               |
| CSI        | SC     | CRC    | P     |                               |               |
| 1 bit      | 3 bits | 3 bits | 1 bit |                               |               |

FIGURA 5 FORMATO DE CELDA DE AAL1

SN: Es un número de secuencia de 4 bits para detectar inserción o pérdidas de celdas. Esta dividido en dos campos el Indicador de Cambio de estado (CSI) que se utiliza en la capa de convergencia de AAL1 para marcar las celdas insertadas y el contador de secuencia (SC) lleva un conteo secuencial módulo 8 de las celdas ATM para detectar celdas erróneas o perdidas.

SNP: Es un campo de protección para el número de secuencia que está compuesto de un campo CRC de 3 bits que se utiliza para proteger los 4 bits del campo SN. El polinomio generador del CRC de 3 bits es:  $x^3+x+1$ . El otro campo del que está compuesto el SNP es el campo de paridad de 1 bit que se utiliza sobre los 7 bits de encabezado del AAL1 después de que se ejecutó el CRC.

##### 4.1.2 Velocidad Binaria Variable AAL2

Se utiliza para transferir datos con tasa de bits variables. AAL-2 provee recuperación de errores e indica la información que no puede recuperarse. Este subnivel todavía no tiene sus funciones bien definidas en el estándar de ATM [Cuthbert, 1996].

El campo de información es segmentado y se le añade un encabezado y una cola a cada paquete. Se cuenta con los siguientes campos:

- Un número de secuencia de 4 bits que funciona como en AAL1.
- Un campo de tipo de información (IT) que indica la posición relativa del segmento con relación al mensaje remitido. Comenzando el mensaje (BOM), continuando el mensaje (COM) o al final del mensaje (EOM).
- Un campo de indicador de longitud (LI) que indica el número de bytes útiles en el último segmento.
- El campo CRC habilita la detección y corrección de errores, en el nivel de adaptación, este campo no sólo proporciona corrección de errores en el encabezado, también incluye protección de error para el campo de información.

| AAL2       |        |                           |        |         | Redundancia     |
|------------|--------|---------------------------|--------|---------|-----------------|
| Encabezado |        | Información<br>45 octetos | Cola   |         | 3 octeto – 6.2% |
| SN         | IT     |                           | LI     | CRC     |                 |
| 4 bits     | 4 bits |                           | 6 bits | 10 bits |                 |

FIGURA 6 FORMATO DE CELDA DE AAL2

#### 4.1.3 Orientados a conexión y sin conexión AAL3/4

La transferencia de datos en la capa AAL3/4 es sensible a pérdidas pero no a retrasos. Puede ser utilizado para comunicaciones de datos orientadas o no a conexión, sin embargo AAL3/4 no proporciona todas las funciones de encaminamiento necesarias para llevar a cabo las transmisiones sin conexión, dejando algunas funciones al nivel ATM.

El servicio orientado a conexión debe establecer una conexión virtual antes de que cualquier dato pueda ser transmitido. Hay dos modos de operación, el modo asegurado que proporciona un servicio fiable que garantiza que todos los mensajes de usuario sean entregados sin errores y en la misma secuencia con que fueron remitidos. Para soportar este servicio, todos los segmentos ge-

nerados por el subnivel CS están sujetos a recuperación de errores. El modo no asegurado es aquel en el que los segmentos son transmitidos sobre la base del mejor intento, es decir, cualquier segmento corrompido es simplemente descartado [Cuthbert, 1996].

Los campos de los que está compuesto este nivel son los siguientes:

- Tipo de segmento.
- El número de secuencia (SN) que funciona como en AAL1.
- Un bit de prioridad (P) permite que los segmentos tengan un nivel de prioridad.
- MID es un identificador de multiplexación.
- El Indicador de Longitud (LI) indica el número de bytes útiles en el segmento.
- El CRC para el control de errores.

| AAL3/4     |        |       |        |                           |        |         | Redundancia   |
|------------|--------|-------|--------|---------------------------|--------|---------|---------------|
| Encabezado |        |       |        | Información<br>44 octetos | Cola   |         | 4 octeto – 8% |
| ST         | SN     | P     | MID    |                           | LI     | CRC     |               |
| 2 bits     | 4 bits | 1 bit | 9 bits |                           | 6 bits | 10 bits |               |

FIGURA 7 FORMATO DE CELDA DE AAL3/4

AAL3/4 utiliza un CRC de 10 bits, por lo que este código resulta particularmente fuerte, debido a que detecta errores de bit, errores dobles y triples (cualquier longitud con peso menor a 4), y todas las combinaciones, o bien dos errores de longitud dos o menos.

#### 4.1.5 Datos sin conexión AAL5

Este servicio está pensado para la interconexión de redes de área local a alta velocidad. Es similar al AAL3/4 y también puede operar en modo asegurado y no asegurado. AAL5 ofrece un servicio con menos gasto y mejor control de errores. Su estructura es la siguiente:

En AAL5 el subnivel de convergencia CS añade 8 bytes por trama:

- 1 CRC-32 para detectar errores y celdas perdidas.

- 2 bytes para especificar la longitud de la trama (0-65.535 bytes).
- 1 byte llamado Indicador de parte común CPI que contiene ceros que indican que la celda contiene datos de usuario. La ITU está investigando algunos otros usos.
- 1 byte que contiene información que será transmitida transparentemente entre usuarios.
- 1 campo de relleno PAD para que el número total de bytes sea múltiplo de 48.

| AAL5 |        |       |         |         | Redundancia    |
|------|--------|-------|---------|---------|----------------|
| PAD  | UU     | CPI   | LI      | CRC     | 1 octeto – 16% |
|      | 8 bits | 8bits | 16 bits | 32 bits |                |

FIGURA 8 FORMATO DE CELDA DE AAL1

Como se puede ver en la tabla anterior se tiene un CRC-32 que en el área de las telecomunicaciones es uno de los códigos cíclicos más complejos de procesar debido a que esta basado en un polinomio de grado 32 que tiene más términos que cualquier otro polinomio de CRC utilizado. Este polinomio es el mismo que utiliza la fibra óptica.

$$G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

La generación de CRC-32 se pensó para soportar el incremento dramático del proceso de datos en las líneas de alta velocidad. En ATM se requiere que una celda sea procesada cada 700 ns. [Pricker, 1995], este esquema permite un desempeño muy alto para hacer cálculos.

## 4.2 Control de errores en el nivel ATM

Este nivel añade los 5 bytes del encabezado al campo de información para garantizar que el paquete se envía por la conexión adecuada. Debido a que los conmutadores de ATM operan por la multiplexación estadística de sus entradas, es posible que múltiples entradas compitan por una misma salida, ocasionando que se desborde un buffer temporal en un enlace de salida de un nodo, para cuando suceden estos problemas se utiliza el bit CLP para marcar las celdas que en caso de congestión se puedan descartar pri-

mero. El nivel ATM está a la espera de que el nivel físico le proporcione las celdas que ya están configuradas. Las celdas vacías que le envíe el nivel físico deberán ser descartadas por el nivel ATM.

## 5. Control de errores en el campo de Encabezado

El encabezado esta formado por 6 campos, de los cuales se mencionarán los tres últimos por ser los que están relacionados con el control de errores.

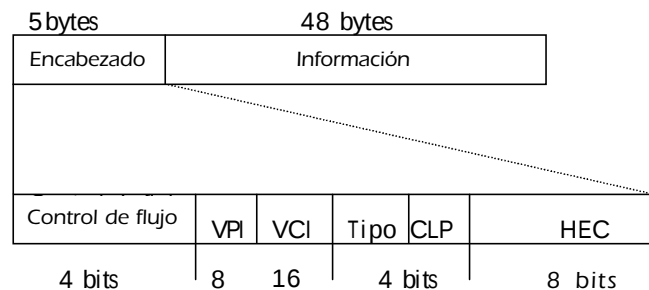


FIGURA 9 FORMATO DEL ENCABEZADO DE LA CELDA ATM

- El campo tipo deberá informar si la información del usuario ha llegado o los paquetes ATM han sufrido congestión.
- CLP (Prioridad de celdas perdidas) se utiliza para decir al sistema si el paquete debe ser descartado o no, en momentos de congestión. Este campo permite que las celdas tengan prioridad alta (CLP=0) o baja (CLP=1).
- HEC (Control de error de encabezado) es un byte que se utiliza para detectar y corregir errores en el encabezado de las celdas. Este campo se explicará a detalle posteriormente.

### 5.1 Control de errores en el nivel físico

El nivel físico está dividido en dos subniveles: El subnivel de convergencia de transmisión (TC) y el subnivel dependiente del medio físico (PM). El subnivel TC tiene varias funciones como son la generación el campo HEC para la detección y corrección de errores en el encabezado y la delineación de los contornos de las

celdas que se explican más adelante. En este nivel no se hace ningún control de errores para el campo de información, la información es transportada transparentemente al nivel ATM. Sin embargo mediante códigos cíclicos en bloque (principalmente los códigos de Hamming, BCH y Reed Solomon) se realiza un proceso de detección y corrección de errores para el campo de encabezado. Como se muestra en la Figura 10 el nivel físico no puede enviar ninguna celda que tenga un encabezado incorrecto al nivel ATM.

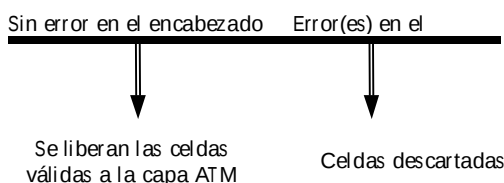


FIGURA 10 ERRORES EN EL ENCABEZADO

## 5.2 HEC (Control de Errores en el Encabezado)

El control de errores en ATM está basado en el HEC. Dado que en el encabezado de la celda está la información de control y encaminamiento, es muy importante que los bits del encabezado estén fuertemente protegidos, por lo que el HEC proporciona una protección fuerte contra errores en el encabezado. El HEC es capaz de corregir un error de bit y puede detectar múltiples errores por lo que se pueden distinguir dos estados independientes: corrección y detección de errores.

El modo de corrección y detección de errores opera en el lado receptor. Cada celda se examina y si se detecta un error se pueden tomar dos acciones que dependen del estado en el que se encuentre en ese momento el receptor, por omisión el campo HEC se encuentra en el estado de corrección. De este modo el receptor cuando encuentra una celda que tiene un error en el encabezado, lo corrige y activa el modo de detección. Estando el receptor en el modo de detección, todas las celdas que tengan un error detectado en el encabezado son descartadas.

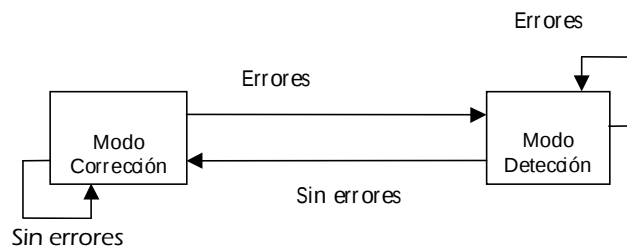


FIGURA 11 FUNCIONAMIENTO DEL HEC

Cuando un encabezado se examina y no se encuentra ningún error entonces el receptor cambia al modo de corrección de errores y estas celdas pasan al nivel ATM. Este mecanismo permite la corrección de error de bit y la detección de múltiples errores de bit.

Debido a que la calidad del canal de fibra óptica es muy alta, la probabilidad de los errores de bit, y por lo tanto el radio de celdas perdidas, es relativamente bajo. Además la mayoría de errores son errores de bit aleatorios y los errores de bit son más comunes que las ráfagas de errores las cuales pueden ocasionar que un bloque de información sea descartado [Pricker, 1995]. A continuación se muestra un algoritmo en el que se puede ver claramente como se trata una celda con errores en el encabezado y como una que esta libre de errores.

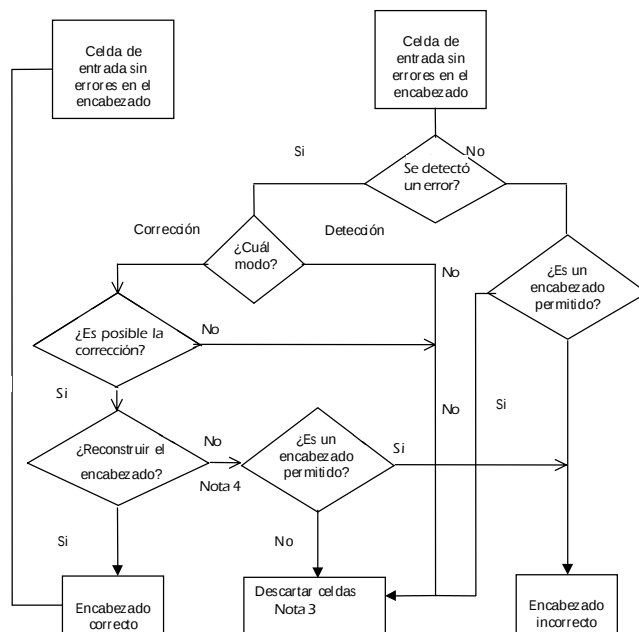


FIGURA 12 ALGORITMO DE CORRECCIÓN/DETECCIÓN DE ERRORES

Las operaciones para el manejo de errores que se muestran en el diagrama se basan en una adaptación de la técnica de codificación conocida como los códigos BCH (las iniciales de sus autores: Bose-Chadhuri-Hocquenghem). De los códigos en bloque, los códigos BCH cíclicos son de los más importantes, debido a que proporcionan una amplia selección de redundancia y capacidades correctoras. Estos códigos logran ganancias significativas de codificación y se implementan para satisfacer altas velocidades de transmisión [Lin, 1993].

Los códigos BCH proporcionan esquemas de corrección y detección de errores basándose, por ejemplo, en la proporción de bits de protección en el campo HEC en relación con los bits protegidos en el encabezado de la celda. Se necesitan 6 bits para corregir un error de bit en 40 bits de encabezado y detectar un 36% de sucesiones de errores. Con 8 bits se corrige un error de bit y se detecta el 84% de las sucesiones de errores. Por lo tanto, para proteger un encabezado de celda (40 bits) es adecuada la protección que proporciona el campo HEC (8 bits de protección).

Una implementación básica de un código BCH sobre ráfagas de bits erróneos requerirá muchos bits de redundancia y una implementación compleja. Para solucionar las ráfagas de errores se puede aplicar un método sencillo basado en una combinación de entrelazado de los bits y la codificación BCH. El entrelazado garantiza que no llegarán errores en ráfagas que compliquen el funcionamiento del código [Lin, 1993].

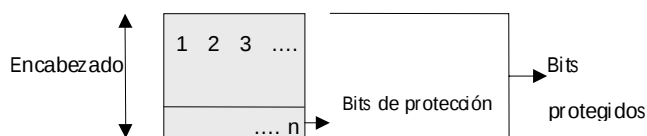


FIGURA 13 BITS DE PROTECCIÓN DEL ENCABEZADO

### 5.2.1 Secuencia de generación del HEC

El byte HEC es una secuencia de 8 bits que se procesa en la subcapa de convergencia de transmisión y

se inserta dentro del campo HEC del encabezado de la celda antes de que este pase al medio físico. El transmisor calcula el valor HEC para los primeros cuatro octetos del encabezado de la celda, e inserta el resultado dentro del campo HEC (el último octeto del encabezado de la celda ATM).

Para generar la secuencia del HEC se ejecutan los siguientes procedimientos para cada una de las celdas origen.

Procedimiento:

1. En el transmisor, el residuo de la división se inicializa con todos los bits en 0.
2. El transmisor calcula el valor HEC utilizando el polinomio generador:  

$$G(x) = (x+1)(x^7+x^6+x^5+x^4+x^3+x^2+1) = x^8+x^2+x+1$$
3. Los 32 bits de los primeros 4 octetos del encabezado, es decir, sin tomar en cuenta el campo HEC, se consideran los coeficientes de un polinomio  $m(x)$  de grado 31. Donde el bit 8 del primer octeto del encabezado corresponde al término  $x^0$ .
4. Se multiplica  $m(x)$  por el polinomio  $x^8$ , el resultado es dividido módulo 2 entre el polinomio generador.
5. Los coeficientes del residuo de la división del paso anterior se consideran como una secuencia de 8 bits. Esta secuencia es el HEC. Los 8 bits del HEC son colocados en el campo HEC donde el bit de la izquierda es el más significativo, por lo que el coeficiente  $x^7$  es el bit 8 y el coeficiente  $x^0$  es el bit 1. El resultado será transmitido como los 8 bits del campo HEC.

Debido a que el campo HEC también se utiliza para identificar los límites de la celda, como una función primordial del nivel físico, esta delineación se incrementa agregando al residuo de la división, un patrón de 8 bits 01010101. Esto se realiza sumando módulo 2 (Or exclusiva) el polinomio  $C(x) = x^6+x^4+x^2+1$  al residuo de la división del paso 4, obteniendo un polinomio  $R(x)$  de grado  $< 8$ .

Como ejemplo en los primeros 4 octetos del encabezado donde todos son ceros, el encabezado transmitido debe ser 00000000 00000000 00000000 01010101.

El receptor deberá primero restar (igual a la suma módulo 2) este patrón de los 8 bits de HEC antes de calcular el síndrome del encabezado.

### 5.3 Efecto de multiplicación de errores

Si el encabezado dañado tiene el valor de una conexión inexistente, entonces el paquete será descartado afectando solo a esa conexión que habrá perdido un paquete. Sin embargo, si el encabezado dañado tiene un valor que pertenece a otra conexión puede ocurrir un mal encaminamiento por lo que en este caso dos conexiones se verán afectadas por el bit erróneo, una debido a que perdió un paquete y la otra debido a que recibe un paquete que no fue enviado para esa conexión.

Este efecto de multiplicación puede ser explicado como sigue:

Asumimos que un paquete consta de un número fijo de bits en el encabezado y un número fijo de bits en el campo de información. También asumimos que todos los paquetes tienen la misma longitud.

El nodo de conmutación de ATM interpreta todos los bits de encabezado y los usa para determinar el destino. Los errores son uniformemente distribuidos sobre todos los bits.

Se toma un modelo en el que no se introducen errores adicionales en el campo de información y se recibe la información de un sistema de transmisión con una tasa de error de bit promedio

La BER puede ser calculada como la suma de la BER del sistema de transmisión en el campo de información, y de la BER ocasionada por mal encaminamiento de los paquetes ATM. Si un sistema de conmutación interpreta el encabezado entonces 3 casos posibles pueden surgir.

1. No se detecta el error en el encabezado, en este caso se escogerá un destino equivocado, en el peor de los casos será aceptado por un destino incorrec-

to. Entonces  $i$  bits no llegarán a su destino e  $i$  bits llegarán a un destino erróneo, por lo tanto  $2i$  bits serán incorrectos, esto resultará en un desbordamiento en la BER.

2. Se detectan los errores en el encabezado pero no se corrigen. En este caso,  $i$  bits no llegarán al último destino, esto resultará en un desbordamiento de la BER.
3. Se corrigen los errores en el encabezado. Todos los bits de información llegarán al destino correcto, por lo cual no existe el efecto de multiplicación.

En la figura 14 se puede ver la ventaja de utilizar corrección de errores en el encabezado para evitar el efecto de multiplicación [Pricker, 1995].

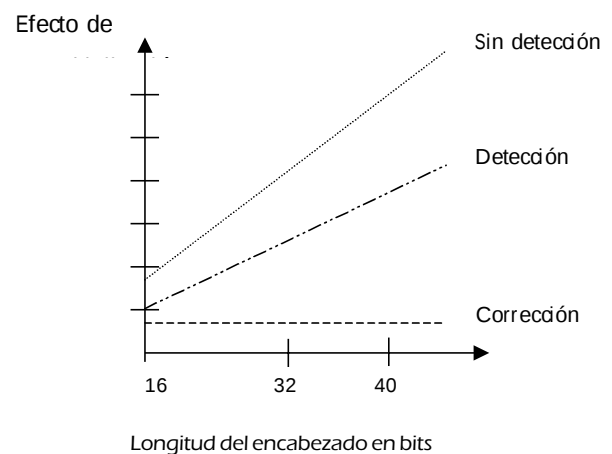


FIGURA 14 EFECTO DE MULTIPLICACIÓN DE ERRORES

Cuando hay una sucesión de errores en el encabezado no se pueden corregir con códigos cíclicos y se corrompen los bits de información. Si el encabezado se trata de corregir ocasionará un aumento en el efecto de multiplicación debido al mal encaminamiento, por lo que la función de corrección tendrá un efecto contrario.

### 5.4 Delineación de celdas

En un enlace de transmisión, las celdas son sólo una secuencia de bits (señales). La capa física recibe la cadena de bits y reconstruye la celda antes de pasarla a la capa ATM. La delineación de las celdas determina dada

una cadena de bits, los límites de la celda, es decir, el comienzo y el fin de cada celda. [Pricker, 1995]. Debido a que es fija la longitud de las celdas, se pueden implementar varios mecanismos para la delineación de celdas. Sin embargo, se considera interesante en cuanto a la complejidad y la ejecución que se utilice el byte HEC para la delineación de las celdas, agregando el proceso de entrelazado al campo de información

#### 5.4.1 Delineación de celdas mediante HEC

Este método de delineación de celdas utiliza la correlación entre los bits de encabezado que van a ser protegidos (32 bits) y los bits de control (8 bits) introducidos en el encabezado, por el HEC utilizando un código cíclico cuyo polinomio generador es  $x^8+x^2+x+1$ .

Estados del algoritmo para la delineación de celdas

1. Presync: El proceso de delineación hace una revisión del límite de cada celda verificando celda por celda que el síndrome del HEC sea correcto. El proceso se repite hasta que se han confirmado  $n$  veces consecutivas los síndromes correctos y el sistema pasa entonces al estado Sync. Si se detecta un HEC incorrecto entonces el proceso regresa al estado de búsqueda.
2. Sync: En este estado se asume que se ha perdido la delineación de celdas cuando se tienen  $m$  confirmaciones de un síndrome HEC incorrecto. Se activa el estado de búsqueda.
3. Búsqueda: Se monitorea la cadena de bits recibida para detectar una palabra de 5 bytes con un HEC correcto. Es decir, cuando el residuo de una palabra de 5 bytes dividido entre el CRC-8 utilizado para determinar el valor del campo HEC es cero, se asume que es el encabezado de una celda y se pasa al estado Presync. Determinándose así los límites de la celda. En el estado de búsqueda no se hace entrelazado, únicamente en los estado Presync y Sync se habilita el entrelazado para los bits del campo de información.

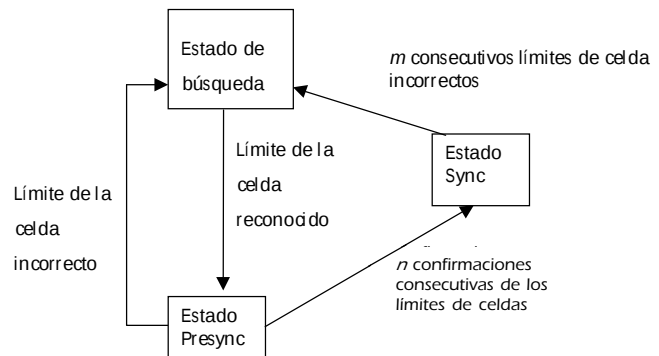


FIGURA 15 DIAGRAMA DE LOS ESTADOS PARA LA DELINEACIÓN DE CELDAS

El sistema sólo considera que ha perdido la delineación de celdas si  $m$  consecutivas veces un límite de celda está perdido. Los parámetros  $n$  y  $m$  deben escogerse cuidadosamente para que el proceso de delineación sea robusto y seguro. Estos valores determinan respectivamente la rapidez a la cual el sistema consigue la sincronización de las celdas y la detección de la pérdida de la sincronización de la celda. La ITU-T en la recomendación I.432 especifica que para lograr que el proceso de delineación de celdas sea lo suficientemente robusto se debe asignar los siguientes valores:  $n=6$  y  $m=7$

#### 6. Técnicas de Control de errores

Las técnicas de control de errores en ATM minimizan la pérdida de la calidad de los servicios como son el video y la voz, ya sea removiendo los errores y restaurando la información original o bien sin removerlos pero manejándolos de manera que el receptor los note lo menos posible.

En ATM las transferencias de datos fiables y las mejoras en calidad de las aplicaciones multimedia se logran implementando fiabilidad en los protocolos fin a fin. Para ello se pueden diferenciar dos tipos de control de errores FEC (control de errores en el destino) y ARQ (control de errores por retransmisión).

##### 6.1 FEC

En numerosas aplicaciones la corrección de errores en el receptor constituye una necesidad, por ejemplo en

la transmisión satelital no es recomendable retransmitir la información debido al enorme retraso que se ocasionaría, sin embargo necesitan algún método de corrección de errores. Otro ejemplo es la transmisión de información en tiempo real, como la videoconferencia, las cuales no puede tener los retrasos que ocasionan las retransmisiones.

De igual forma uno de los principales campos de acción del FEC es en aplicaciones multicast, donde múltiples receptores pueden tener pérdidas de diferentes paquetes y lograr una fiabilidad retransmitiendo individualmente los errores sería sumamente costoso.

FEC es una técnica de corrección de errores que corrige directamente los errores en el receptor mediante la utilización de códigos de corrección de errores. Estos códigos se basan en la redundancia añadida a la información y dependiendo del nivel de redundancia, la PER se puede reducir, al punto de que se logre una transferencia fiable sin la necesidad de utilizar un canal de retransmisión.

Cuando el receptor detecta la presencia de errores en un mensaje, intenta determinar la localización de los errores y después corregirlos. Si se determina la localización exacta de los errores, el mensaje se codificara correctamente; si el receptor falla al determinar la localización exacta de los errores, el mensaje recibido será codificado incorrectamente y los datos erróneos serán liberados al usuario. Desde un punto de vista positivo, FEC permite que la información perdida sea recuperada y desde un punto de vista negativo, incrementa los requerimientos de ancho de banda para la transmisión ocasionando que el tráfico que se produce ocasione una congestión adicional en la red que como consecuencia incrementa el número de celdas perdidas que no siempre se pueden recuperar con FEC.

La capacidad del transmisor para corregir un error, incrementa la utilización del ancho de banda, por lo que el transmisor debe evaluar el coste de la redundancia con la opción de la retransmisión. Algunas veces la correc-

ción toma mucho tiempo y se prefiere retransmitir. [Lin, 1993].

Debe utilizarse FEC cuando:

- La conexión es simplex o semiduplex ya que los retardos en ARQ con un enlace semiduplex son excesivos.
- El número esperado de errores (sin corrección) implique un número excesivo de retransmisiones.

Las Técnicas FEC añaden cierta redundancia a los datos que depende de la capacidad correctora que se desee. Los esquemas de codificación en los que se basa el FEC para ATM son: BCH, Reed Solomon y los códigos de Hamming, la selección del código dependerá de los errores que existan en el canal.

Los códigos de Hamming proporcionados para FEC utilizan un mecanismo de redundancia que tiene una implementación muy económica, se utiliza su capacidad correctora de un bit y su capacidad detectora de dos bits [Lin, 1993]. Desde el punto de vista práctico de las comunicaciones, un código perfecto (7,4) no es una buena elección, debido a que no involucra una longitud estándar de los caracteres. Diseñar un código conveniente requiere que la redundancia de los bits de datos y el tiempo de procesamiento invertido en codificar y decodificar la cadena de datos sea mínimo. Un ejemplo es un código que maneje eficientemente 8 bits de datos como el código (12,8) que proporciona una fácil implementación.

## 6.2 ARQ

Los protocolos ARQ se basan en que la transmisión de la información no fue recibida correctamente. Sin embargo, para detectar que la información no ha llegado correctamente al receptor se utilizan algunas técnicas de codificación. Los bits de redundancia que ocupan estas técnicas de codificación se utilizan para detectar los errores, que no intentarán corregirse, sino simplemente se utilizan para retransmitir los datos. Dado que la detección de errores se da en el receptor es necesario que el transmisor este continuamente informado acerca de los

frames descartados (o aceptados) para retransmitirlos o (liberarlos) del buffer.

Para ejecutar el proceso de detección de errores, el lado del receptor procesa el síndrome del mensaje. Si el síndrome es cero se asume que el mensaje que se recibió está libre de errores y el receptor lo acepta. Al mismo tiempo, el receptor notifica al transmisor que el mensaje se recibió correctamente. Si el síndrome no es cero significa que se detectaron errores en el mensaje recibido. Con lo que el transmisor retransmitirá el mismo mensaje. La retransmisión continúa hasta que el mensaje se recibe correctamente. Con este sistema, los datos erróneos son liberados sólo si el receptor falla en la detección de errores. Utilizando un código en bloque apropiado (Hamming, BCH), la probabilidad de un error no detectado es muy pequeña.

Hay tres métodos utilizados para retransmitir un mensaje:

- ARQ de parada y espera (conexión semiduplex).
- ARQ continua con vuelta atrás (conexión duplex).
- ARQ con repetición selectiva.

Según el nivel de ejecución del throughput el esquema más eficiente es el de la repetición selectiva y el menos eficiente es el esquema de ARQ de parada y espera ya que el throughput de la repetición selectiva no depende del retraso del sistema [Lin, 1993].

En las tres técnicas, las celdas perdidas son retransmitidas por peticiones explícitas del receptor o porque se ha sobrepasado el tiempo de acuse de recibo, cuando esto ocasiona grandes retrasos entonces ARQ se vuelve ineficiente. Cuando la tasa de error del canal es muy alta, las retransmisiones son muy frecuentes y se vuelve muy baja la tasa a la cual los mensajes generados nuevamente son bien recibidos.

Para solucionar estos problemas existen esquemas híbridos de ARQ, algunos son basados en los turbo códigos y se les conoce como HARQ, otros son esquemas basados en la combinación de las técnicas FEC y ARQ [Lin, 1993].

### 6.3 Esquema híbrido de ARQ

Comparando los dos esquemas de control de errores (FEC y ARQ), se puede ver que los sistemas ARQ tienen como desventaja, que su throughput cae rápidamente con el incremento de la tasa de error en el canal. Los sistemas que utilizan FEC mantienen constante el throughput a pesar de la tasa de error del canal. Sin embargo, los sistemas FEC tienen dos desventajas. Primero, cuando se detecta un error, este se codifica y el mensaje codificado se libera al usuario, sin importar si es correcto o incorrecto. Debido a que la probabilidad de un error codificado es mucho mayor que la probabilidad de un error no detectado, es difícil lograr sistemas de alta velocidad con FEC. En segundo lugar para obtener un sistema de alta fiabilidad se necesitaría un código poderoso que corrija varios errores. Por lo que se vuelve difícil y caro implementar la codificación [Lin, 1993].

La función del FEC es reducir la frecuencia de retransmisiones mediante la corrección de los errores que ocurren más frecuentemente, éste incrementa el throughput del sistema. Cuando se detecta un error menos frecuente, se pide una retransmisión, lo cual incrementa la fiabilidad del sistema. Como resultado, una combinación de FEC y ARQ proporciona una mayor fiabilidad que ocupar solamente FEC y un más alto throughput que si se ocupa sólo ARQ.

### Conclusiones

Las técnicas de control de errores se utilizan para mejorar la calidad cuando los servicios de las redes ATM no cuentan con la calidad requerida.

El control de errores, se hace de distinta manera en el campo de información de la celda que en el encabezado de la misma. El manejo de errores que se realiza en el campo de información depende del servicio a transmitir, ya que existen aplicaciones de datos en ATM que se ven seriamente afectadas por la pérdida de celdas, sin embargo existen otras aplicaciones como los servicios multimedia en tiempo real que son más sensibles a re-

trasos que a pérdidas. Por lo tanto, es importante considerar el tipo de servicio a transmitir para determinar el control de errores que se debe aplicar.

El manejo de los errores en el encabezado es un tema más delicado debido a que un encabezado dañado puede ocasionar un efecto de multiplicación que deteriore severamente la calidad de la red. Para ello, el encabezado de la celda de 40 bits, posee una adecuada protección del campo HEC, el cual con 8 bits de protección se encarga de corregir errores de bit sencillos y de la de-

tección del 84% de errores múltiples. Dado que sobre fibra óptica el 99.64% de los errores que ocurren son de un sólo bit, los encabezados con un error de bit se corrigen y los que tienen múltiples errores se descartan.

ATM no proporciona retransmisión de celdas sobre el enlace, si se requiere la retransmisión debe ejecutarse sobre una base destino a destino, por ello en la última parte del trabajo se concluye la necesidad de utilizar un esquema híbrido de ARQ en lugar de implementar las técnicas FEC o los protocolos ARQ por separado **T**

---

### Bibliografía

---

CUTHBERT L.G. , SAPANEL J.C.

1996 *"ATM the Broadband Telecommunications Solution"* IEEE Telecommunications series 29 The Institution of electrical engineers.

GINSBURH DAVID

1999 *"ATM Solutions for enterprise internetworking"* Addison-Wesley Addison-Wesley Longman. Second edition.

LIN Shu, COSTELLO DANIEL J.

1993 *"Error control coding. Fundamentals and applications"* Prentice Hall.

PRICKER MARTIN DE.

1995 *"Asynchronous transfer mode Solution for broadband ISDN"* Prentice Hall. Third edition

RAIF O. ONVURAL.

1995 *"Asynchronous Transfer mode networks Performance Issues"* Artech House Publisher. Second Edition

SEXTON MIKE, REID ANDY

1997 *"Broadband Networking ATM SDH y SONET"* Artech House

Direcciones de Internet

<http://www.it.uc3m.es/entrada/indice.html>

<http://192.107.38.102/cpe471/top.html>

<http://netlab.is.tsukuba.ac.jp/~sun/link2.html>

<http://www.incoma.ru.cdrom3/ccit/1992/i/>

[http://www.netlab.ohio-state.edu/~jain/cis788-97 / video\\_over\\_atm/index.html/](http://www.netlab.ohio-state.edu/~jain/cis788-97/video_over_atm/index.html/)

<http://www.fokus.gmd.de/step/carle/atmf/atm95-1438.txt>

<http://www.fokus.gmd.de/step/carle/atmf/atm95-1011.txt>

<http://vulcan.ee.iastate.edu/~dougj/ATM/aal1.html>