

PLATAFORMA DE ANALISIS BASADA EN MODELOS COMPUTACIONALES PARA SIMULAR BISDN A NIVEL ATM

G. Isern, R.Rivas, Y. Millán

Universidad Central de Venezuela
Grupo de Investigación en Redes, Arquitectura y Sistema
Apartado 49125, Caracas, Venezuela
E-mail: isern@conicit.ve , gisern@Kuaimare.ciens.ucv.ve
Fax: 58 2 7520402

Abstract

Se presenta una plataforma de simulador de comunicaciones de BISDN a nivel ATM que sirve como soporte para estudiar sus protocolos y algoritmos para el manejo de la congestión con la finalidad de plantear propuestas novedosas que cuantitativamente y cualitativamente mejoren el rendimiento actual. Como los estándares están aún bajo revisión por el ITU y el ATM FORUM desarrollar herramientas es trascendental para el análisis del control de congestión, del rendimiento genérico de la red y de la corrección de los protocolos para establecer las rutas de propagación de celdas. Este Trabajo se desarrolla como un modelo computacional y no como un prototipo completo, por ser este último muy costoso y poco flexible. El diseño propuesto puede ser implantado de forma distribuida pero su implantación actual es centralizada. Con esta plataforma es posible estudiar redes BISDN/ATM contemplando sólo a alto nivel el envío, recepción y las operaciones de manejo de colas y red que involucren intercambiar celdas entre los conmutadores. Corre bajo dos tipos de arquitectura: ambientes microprocesadores con interfaz windows y ambientes bajo UNIX.

Palabras Claves: ATM, Redes de banda ancha, BISDN, Redes.

1. Introducción.

Durante la década de los noventa se ha iniciado lo que podemos llamar la segunda revolución de las Telecomunicaciones. Los cambios en el mundo, de la Informática y las Telecomunicaciones, la Telemática, han sucedido tan rápidamente que es difícil creer que algo más importante pase en el resto de la década, algunos analíticos llegan a indicar que la importancia de los nuevos inventos cambiará completamente la forma de vida tradicional y que su impacto en esta última será más relevante que el que originó la máquina de vapor y la famosa revolución industrial.

La integración entre los mundos de la Informática y las Telecomunicaciones han transformado a la tan mencionada Super Autopista de la Información en una realidad que ha impulsado el interés por integrar a los Datos, la Voz, el Audio, el Vídeo y la Imagen, en una red internacional, a través de equipos estándares, rompiendo con la barrera de las configuraciones heterogéneas y llegar a un acuerdo internacional para lograr el intercambio de información de los tipos mencionados. Esta red no es otra que la Red Digital de Servicios Integrados de Banda Ancha (BISDN) en una implantación basada en el Modo de Transferencia Asíncrono (ATM). Esta última es tal vez el modelo más evolucionado de una

generación de desarrollos paulatinos en las redes en general que se inició con el Teléfono, siguió con las Redes Conmutadas Analógicas, paso por las primeras Redes de Teleproceso, ancestras estas de nuestras Redes de Area Local de Datos actuales, hasta llegar a las recientes propuestas donde ya se integran voz y datos como SMDS y DQDB, o a las redes de interconexión rápida como FDDI y FDDI II, o a las técnicas de conmutación rápida de paquetes como Frame Relay y Cell Relay. Es en esta última donde aparece el BISDN/ATM y dada su novedad, potencialidad y a la falta en general de estándares es que es necesario crear herramientas para estudiar su comportamiento. El presente trabajo está organizado en secciones la 2 presenta los antecedentes y un breve marco conceptual, la 3 el diseño e implantación de la plataforma y una explicación de su funcionamiento la 4 los resultados y finalmente la 5 las conclusiones.

2. Antecedentes y Marco Conceptual.

El área de simulación de redes por software ha sido una muy activa desde 1980, pero generalmente limitada al desarrollo sobre monoprocesadores. A finales de los años ochenta, Mouftah y Krause [Mouf 88] estudiaron la simulación de controladores de comunicaciones con tráfico mixto, pero no exploraron el control de congestión ni sus políticas, así como tampoco presentaron valores de rendimiento o performance.

En otro trabajo de Kurose y Mouftah [Kuro88] se proponen algunos algoritmos distribuidos sobre procesamiento paralelo para obtener mejores tiempos de procesamiento (CPU Time) para la simulación. Otra propuesta es hecha por Righter y Walrand [Righ90] al señalar que para reducir el tiempo de simulación es necesario asignar más recursos a las tareas.

En 1985, Lubachevsky y Ramakrishnan [Luba85] reportaron un simulador de red desarrollado sobre un sistema multiprocesador de memoria compartida, pero era un esquema basado en tiempo y no en eventos como lo requiere BISDN. En 1988 Baker, Hauser y Thoet [Bake88] aplicaron la idea de simulación distribuida a redes de radio. En 1990 Mouftah y Sturgeon [Mouft90] utilizaron el algoritmo de tiempo virtual propuesto por Jefferson sobre una red de estaciones de trabajo SUN para la simulación distribuida de redes de comunicación en general. Leung en 1990 [Leun90] describe la arquitectura de software que emula sobre monoprocesadores a una red conmutada de paquetes con voz y vídeo, también existe un trabajo de Rayfiel y Silverman [Rayf88] en simulación de redes BISDN, pero no es realmente concluyente.

Ultimamente han aparecido una infinidad en el área de simulación de redes BISDN a nivel de ATM tanto para ser desarrollados sobre plataformas soportadas por ambientes centralizados monoprocesadoras como para plataformas distribuidas sobre redes, en esta última categoría es interesante citar a un trabajo realizado en la Universidad de Brown por Chai y Ghosh [Chai93] que describe una herramienta para modelar y simular redes BISDN a nivel de capa ATM sobre una red de estaciones de trabajo configuradas como un procesador paralelo débilmente acoplado.

BISDN es un modelo referencial para las redes digitales de servicios integrados de banda ancha compuesto por un conjunto de recomendaciones de la CCITT (Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico) actualmente ITU (Unión de telecomunicaciones Internacionales). Al igual que OSI utiliza el concepto de capas. BISDN es un modelo tridimensional dividido en planos (plano de usuario, plano de manejo y plano de control) y capas (capa física, capa ATM, capa de adaptación a ATM y las capas superiores), a diferencia del modelo OSI los planos pueden tener una comunicación directa con las capas [McDy95]. El siguiente trabajo está basado en las características de la capa ATM (Modo de Transferencia Asíncrono) del modelo de referencia BISDN.

El Modo de Transferencia Asíncrono (ATM) es una técnica de transmisión, conmutación y multiplexación, en la cual toda la información es llevada a través de la red en paquetes pequeños de longitud fija de 53 bytes (5 corresponden al encabezado y 48 a la carga efectiva) llamadas celdas ATM. Es un estándar de la tecnología *cell-relay* que toma ventaja del surgimiento de la fibra óptica como medio de transmisión confiable (sólo para las exigencias del modelo BISDN se estipula que ATM trabaje bajo fibra óptica, pudiendo este trabajar bajo cualquier otro medio de transmisión) y del empleo de las celdas que facilitan una mejor multiplexación estadística de la información, una mayor facilidad en la implementación de los conmutadores y una reducción en el almacenamiento interno de los conmutadores. [MILL94]. ATM combina la simplicidad y rapidez ofrecida por la conmutación de circuitos y la flexibilidad de la conmutación de paquetes que va a permitir a esta técnica adaptarse a todas las velocidades. Esta provee un formato común para transmitir vídeo, voz, datos, imagen y sonido; además, garantiza independencia temporal que logra una separación entre el reloj de la fuente y el de la red, así como una independencia semántica ya que para ATM es transparente la información que en la red viaja. Esto permite sólo la detección de errores en la etiqueta (celdas mal direccionadas, pérdidas de celdas, etc) [SIMM94]. La multiplexación se realiza colocando las celdas de distintos orígenes dentro de las celdas vacías que fluyen constantemente entre los nodos de la red, si no existe una petición de ancho de banda por ningún servicio, entonces viajan entre los nodos celdas vacías. (Fig 1)

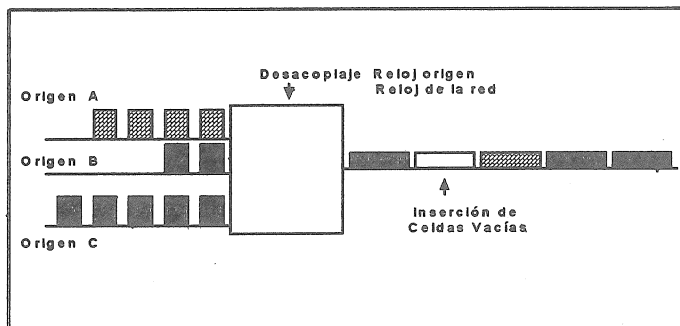


FIG 1.-Multiplexación en ATM

Con la multiplexación en ATM se trata de aprovechar mejor un canal único y la forma en como se comparte este entre varios nodos de la red que lo emplee. Para transmitir información entre nodos, se establece un circuito virtual, el mismo se puede multiplexar para varias aplicaciones, porque dichas celdas se multiplexan estadísticamente, es decir utilizando multiplexación por división de tiempos y sin el empleo de un reloj que las sincronice, ya que la sincronización viene dada por la frontera de bit de cada celda.

Un canal asocia una porción de la capacidad usable a un servicio. ATM redefine este concepto fundamental. Un Canal Virtual (VC) es un trozo de conexión entre dos nodos vecinos. Un trozo de canal virtual se inicia o enlaza con la asignación o supresión del valor del identificador del canal virtual (VCI) contenido en el campo de dirección del encabezado de la celda [BELL91]. Un Camino Virtual (VP) se describe como un conjunto de canales virtuales que se encuentran agrupados dentro de una especie de tubo. En un VP todos los trozos de VC de entrada son los mismos en el extremo de salida. Un VP provee transferencia unidireccional de celdas entre conmutadores, con el mismo identificador de camino virtual (VPI) contenido en el campo de dirección del encabezado de la celda [BELL91] [McDy95].

En ATM existen dos tipos de conmutadores que trabajan dependiendo de la etiqueta que van a cambiar, si la etiqueta a modificar es sólo el VPI (traducir un valor de VPI entrante en un valor de VPI saliente) se dice que estamos en presencia de un conmutador de VP, si por el contrario modifican una combinación VPI/ VCI se dice entonces que es un conmutador VP/VC. (Ver Fig 2) El conmutador VP/VC permite al usuario el establecimiento de llamadas mientras que el conmutador VP sólo se encarga de los comandos de gestión de la red. En el trabajo sólo se simula el comportamiento de los conmutadores VP.

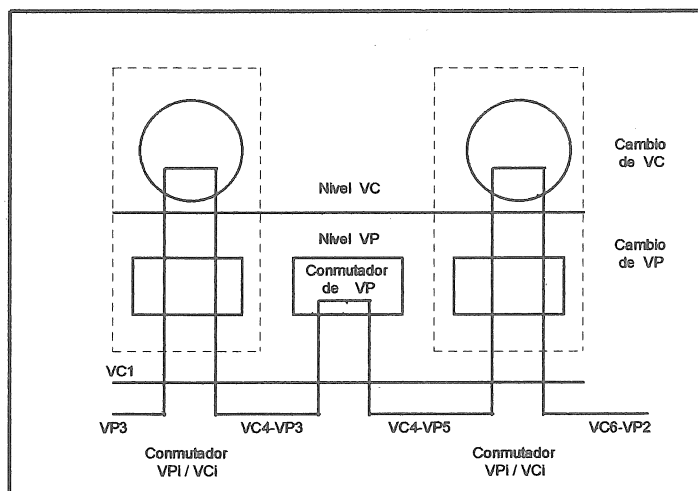


FIG 2.- Conmutadores VP/VC y VP

3. Diseño e implantación de la plataforma:

La plataforma plantea una forma de resolver el problema de simular una red ATM a nivel de envío y recepción de celdas. La misma es una solución centralizada la cual puede ser llevada a un entorno distribuido, haciendo una generalización de ésta en dicho ambiente.

La plataforma se divide en el módulo del servidor y el módulo de Conmutación.

Cada uno de estos trabaja de manera disjunta, llevando a cabo un conjunto de funciones específicas, donde el módulo del servidor se encarga en líneas generales de la gestión de la red mientras que el módulo de Conmutación realiza las funciones propias de un nodo de conmutación dentro de la misma.

Las funciones del módulo servidor se subdividen en: Funciones de inicialización y funciones de temporización y control.

Las funciones de inicialización se resumen en: Generación de todas las direcciones de cada conmutador en la red e intercambio con sus conmutadores vecinos, envío a cada conmutador de sus tiempos de procesamiento, generación de los retardos de transmisión, capacidad, longitud, retardo de las celdas y tiempos de vida de cada uno de los enlaces que existen entre los conmutadores, cálculo de los caminos y canales virtuales entre cada par de conmutadores utilizando el algoritmo de enrutamiento (el trabajo utiliza el algoritmo de camino mínimo), distribución de estos a cada uno de los conmutadores, definición de las conexiones de envío y recepción de los conmutadores.

Por otra parte las funciones de temporización y control se reducen a: manejo del reloj global del sistema, restauración de las conexiones en caso de fallas de enlaces (actualizando las tablas de enrutamiento de los nodos adyacentes a ese enlace) y reestructuración de los caminos y canales virtuales en caso de congestión. La Figura 3 muestra la relación entre el modulo servidor y conmutador.

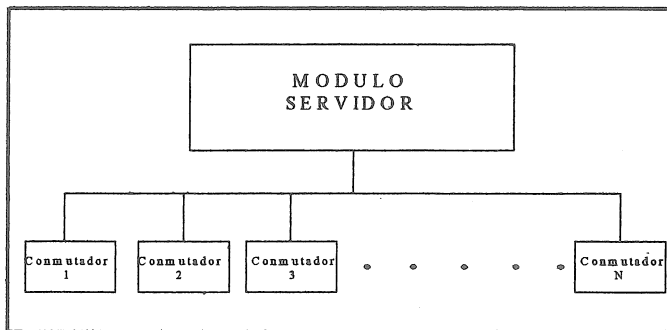


FIG 3. - Relación entre el módulo Servidor y los conmutadores

Las funciones del módulo de conmutación son: simulación del comportamiento del tráfico de la red, ejecución de las operaciones de multiplexación y demultiplexación para la compartición de líneas de comunicación, enrutamiento de los mensajes, establecimiento de la comunicación entre los nodos de la red, selección del modo de operación del conmutador (conmutador VP o VP/VC), recepción de las

celdas de entrada, envío de las celdas de salida y por último reencolaje, descarte o transmisión de la celda, por un enlace determinado.(Fig 4)



FIG 4.- Módulo de conmutación

La plataforma consta de un reloj global y un conjunto de eventos que están asociados a las funciones del módulo servidor y del módulo de conmutación. Los eventos son descritos a continuación:

- Evento de Inicialización.

Inicialmente se generan el número de celdas a utilizar por cada conexión en un instante de tiempo determinado dentro de la simulación, éste proceso es realizado por el módulo del servidor y consiste también en repartir toda la carga de trabajo (que se extrae de los archivos de entrada donde está almacenada además del número de celdas a transmitir, toda la información referente a los conmutadores de la red y las conexiones establecidas en ésta) entre todos los módulos de conmutación (asociados a los conmutadores de la red a simular) y luego asigna a cada proceso una identificación unívoca.

Se procederá a ejecutar seguidamente el módulo del servidor en cuestión, quien realizará el proceso de inicialización del sistema seguido del proceso de temporización y control, que dará inicio a las ejecuciones concurrentes de los módulos de conmutación asociados a cada conmutador de la red, que previamente fueron definidos para operar como conmutadores VP. Se procede a generar los tiempos de propagación (Longitud del enlace/ Velocidad de propagación de la fibra óptica (Velocidad de la luz)), capacidad (Velocidad de transmisión (155,52 Mbps que es el estándar que mayormente se emplea en las redes ATM.) / Tamaño de la celda (53 * 8 bits) = 366792 celdas), longitud (longitud física del medio (Km)) y tiempo de vida de cada uno de los enlaces que son entrada de la plataforma.

Luego el módulo del servidor ejecuta el programa que calcula los caminos y canales virtuales, según un algoritmo de enrutamiento preestablecido que en este trabajo se utilizó el algoritmo de camino mínimo [TAN 91]; y distribuye dicha información en las tablas de enrutamiento de cada uno de los conmutadores. Además genera en cada uno de estos una tabla que indica los enlaces de envío y recepción de éste. En vista de que la simulación es implantada en un ambiente centralizado, no se utiliza una tabla de enrutamiento en cada conmutador, que contiene el camino entre un conmutador y cualquier otro conmutador de la red. A consecuencia de esto el sistema mismo se encarga de

seleccionar a partir del camino mínimo , el enrutamiento y lo coloca de manera implícita en la tabla virtual a medida que se genera una conexión, creando una entrada que pertenece a dicho camino para esa conexión en la tabla del conmutador correspondiente. Por último se inicializa el reloj global del sistema con el primer tiempo de simulación que se establezca en la entrada para alguna conexión. A continuación se describen los eventos que manejan al sistema.

- Evento de generación de celdas.

Consiste en generar tantas celdas como lo indique el ancho de banda requerido para la conexión, y colocarlas en las colas de salidas respectivas si estas no están llenas, además se le coloca el reloj de la celda con un valor igual al último tiempo de reloj de la última celda a generar en la misma conexión, y se le coloca el valor del VPI igual al que indique la tabla virtual para esa conexión. Además, se cambia el valor del reloj global del sistema por el mínimo de todos los relojes locales de los conmutadores, esto si alguno de ellos es menor que dicho reloj global.

- Evento de envío de las celdas por los enlaces.

El módulo de conmutación en cuestión se encarga de enviar las celdas por los enlaces correspondientes tomando las que se encuentran en las colas de salida(con reloj de celda igual al reloj global) y chequeando si no existe falla o congestión en el enlace por el cual esta debe transitar, de lo contrario procede a reencolar o descartar a la celda según sea el caso, tomando en cuenta previamente el tiempo de permanencia máxima, el retardo permitido y el tiempo de vida de la celda para incrementar así el número de descartes asociado a dicho parámetro.

- Evento de procesamiento de las celdas en el conmutador.

Se toman las celdas que estén en las colas de entradas de los conmutadores (con reloj de celda igual al reloj global) y se colocan en las colas de salida correspondiente a su enlace de salida, según alguna política (en el trabajo se utiliza la política FIFO que es una de las mayormente conocidas y utilizadas de esta forma no se toma en cuenta el bit de prioridad de las celdas), seguidamente se procede a actualizar el reloj de cada celda dependiendo del valor del reloj global del sistema, el tiempo de procesamiento del conmutador, el tiempo de transmisión del enlace desde donde proviene, el tiempo de vida de la celda y el tiempo de permanencia en cola (que es el tiempo de permanencia en el conmutador). Además es también actualizado el identificador de VPI de la celda con el indicado en la tabla de enrutamiento y el reloj local del conmutador incrementándose con el menor valor del reloj de celda de todas las celdas que estén en su cola de entrada y de salida.

- Evento de Actualización.

Consiste en actualizar el reloj global del sistema con el mínimo de los relojes de las celdas que se encuentran en las colas de los conmutadores. Además actualiza el tiempo de vida, permanencia en el sistema y en el conmutador de las celdas; y el tiempo de vida de los enlaces.

Existen distintos parámetros evaluados en las redes ATM [MILL96]. Los parámetros que se tomaron en cuenta para la simulación son:

TIEMPO DE PROPAGACION: Depende de la distancia entre dos puntos finales y se define como el tiempo que tarda una celda en atravesar un enlace entre un par de conmutadores.

NUMERO DE CELDAS DESCARTADAS POR LONGITUD DE LA COLA: Es un valor que indica el número de celdas que se descartan en la simulación por exceso en las capacidades tanto de las colas de entrada como de las colas de salida.

TIEMPO DE VIDA DE LA CELDA: Es el tiempo máximo permitido que la celda está activa en la simulación. Este valor existe desde que la celda es generada hasta que esta es procesada en el destino (si esta no es descartada). Su actualización se realiza decrementando su valor cuando se actualiza el paso de tiempo. Este parámetro permite medir el número de celdas descartadas por vencimiento del tiempo de vida.

TIEMPO DE PERMANENCIA DE LAS CELDAS EN EL SISTEMA: Es el tiempo máximo permitido en el cual la celda está en el sistema y sólo se decrementa cuando esta es reencolada, es decir, es el retardo máximo permitido para que la celda se reencole en el sistema. Este parámetro permite medir el número de celdas descartadas por vencimiento del tiempo de permanencia de la celda en el sistema.

TIEMPO DE PERMANENCIA DE LAS CELDAS EN EL CONMUTADOR: Es el tiempo máximo permitido que la celda puede estar en el conmutador, este abarca el tiempo que permanece la celda en las colas de entrada/salida del conmutador y el tiempo que toma este en procesarla. Este tiempo puede variar entre conmutadores. Este parámetro permite medir el número de celdas descartadas por vencimiento del tiempo de permanencia en el conmutador.

TIEMPO DE VIDA DEL ENLACE: Es el tiempo de duración que tiene el enlace mientras se ejecute la simulación y difiere para todos los enlaces que constituyen la red; permite además medir el número de celdas descartadas por falla de enlace.

NUMERO DE CELDAS PROCESADAS: Es el número de celdas que logran alcanzar con éxito el destino final.

IMPLANTACION:

La implantación se realizó en C ++ sobre un computador PC/AT 486 SX33 (Compatible IBM), con 8 Megabytes de memoria RAM, un disco duro 203 Mb, una unidad de disco de 3.5 de 1.44 Megabytes y un monitor VGA. El software que se empleó para realizar la implantación consta de un Sistema Operativo 6.20, Windows version 3.1 y Visual Basic 3.0 para la realización de la interfaz. Dicha interfaz provee al usuario la facilidad de obtener en cada uno de los ambientes de trabajo una ayuda en línea, además está desarrollada de una manera amigable en el entorno de windows. También se adaptó para plataforma UNIX y fué probado en una Challenge de Silicon Graphics sin la interfaz gráfica.

De manera general el programa se estructura de la siguiente forma:

Evento de inicialización

CICLO

- Evento de generación de las celdas
- Evento de envío de las celdas por los enlaces
- Evento de procesamiento de las celdas en el conmutador
- Evento de actualización del reloj global

HASTA (No existan celdas a generar o tratar en el sistema)

En la simulación el reloj global es llamado *tiempo actual* que garantiza que todos los eventos ocurran en un mismo instante de tiempo y se lleven a cabo como si se realizaran de manera simultánea. El mínimo de todos los relojes locales de los conmutadores es llamado *tiempo tentativo* que permite controlar el solapamiento de las conexiones e implementa los relojes locales de los conmutadores de una manera glogal. Todos los procedimientos y variables forman parte del programa que implanta el trabajo[MILL96].

Son dos las estructuras de datos principales utilizadas, la primera es una lista donde se encuentra almacenada toda la información necesaria para cada uno de los conmutadores de la red (que representan a cada uno de los módulos de conmutación de la red a simular), a su vez en cada uno de ellos existen tres listas que representan las celdas que están en su cola de entrada, las celdas que están en su cola de salida y la tabla virtual, donde esta última contiene para cada instante de tiempo las conexiones que se generan , el número de celdas que se desean enviar y el destino según el origen determinado para la conexión . La segunda estructura guarda información concierne a los enlaces de la red, que permitirá conocer el estado de estos en cualquier instante de la simulación.

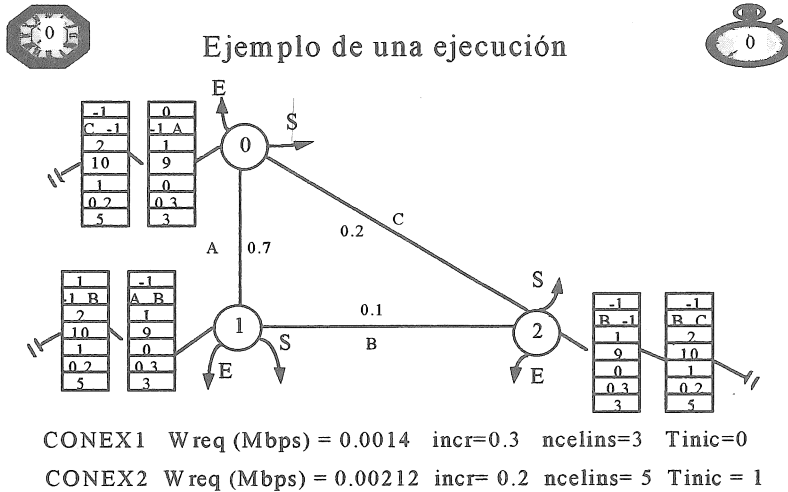


FIG 5.- Ejemplo de una ejecución.

La Figura 5 representa de forma ilustrativa un ejemplo para una red de 3 nodos, conectados bajo una topología anillo; donde se nota en la fase de inicialización, el estado de las tablas virtuales de

cada conmutador para dos conexiones: entre los conmutadores 0 -1-2 y 1-2-0. Además se observa en la parte superior izquierda el reloj global del sistema y en la derecha el reloj tentativo.

A continuación se observa una de las ventanas principales de la plataforma, que despliega uno de los ejemplos que contiene en el menú de opciones (Fig 6):

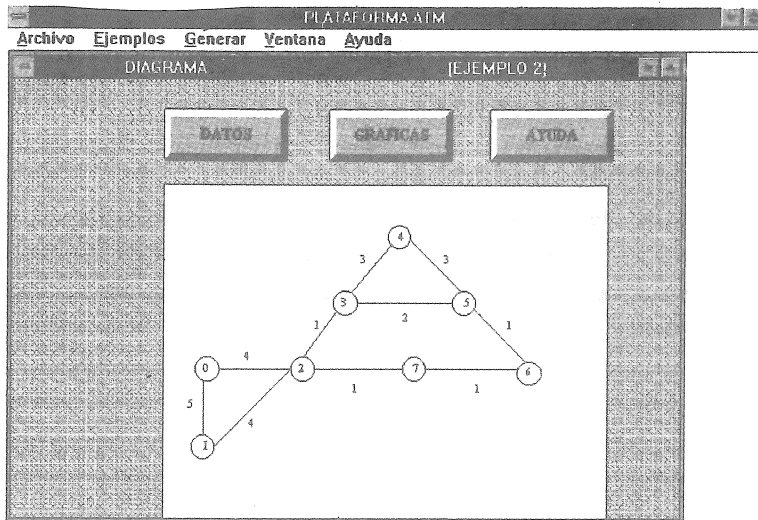


FIG 6.- Ventana principal de la plataforma implementada.

4. Resultados:

Para la evaluación de los resultados fue necesario la emisión de un conjunto de ejemplos que permitieron probar y hacer un estudio comparativo de diversas redes, que varían en cuanto al número de nodos, número de tiempos a simular, anchos de bandas requeridos, carga de trabajo (medida en número de celdas) , número de conexiones y tiempo de procesamiento de los conmutadores. Se analizaron para cada ejecución todos los parámetros que fueron referidos en el diseño que permitieron llegar a conclusiones sobre los requerimientos, alcances y fallas de las redes en estudio. Una de las redes estudiadas está conformada por 13 nodos interconectados a través de topologías con estructuras de anillos y buses. El tamaño de los enlaces varía entre 2 y 4 Kilometros de longitud y los tiempos de vida de estos son de 2.5. El tiempo de vida de las celdas y el de permanencia de estas en el sistema es de 0.005. El tiempo de permanencia en el conmutador 0.0025. El tiempo de procesamiento de los conmutadores es de 0.02, 0.01 y 0.1. Se realizaron para este mismo ejemplo tres ejecuciones donde sólo

El ancho de banda de los enlaces no es un factor que se varía en la simulación. Debido a la gran capacidad que éste presenta, en la mayoría de las ejecuciones realizadas para la prueba de la plataforma no hubo reencolaje de celdas. Además, se observó que en un determinado paso de tiempo ocurren la mayor parte de los descartes, este pudiera representar el instante de tiempo en el cual la red tiende a congestionarse. El tiempo de permanencia de las celdas en los conmutadores es un factor determinante para medir el tráfico de la red, ya que las celdas pueden permanecer mas tiempo dentro de estos y así decrementar el número de celdas descartadas por el vencimiento de dicho tiempo. De manera general, cada uno de los parámetros evaluados, juegan un papel importante en el comportamiento de la red, y el mejoramiento de ésta depende de cuan minucioso sea el análisis de los mismos, este caso se presenta sólo como ejemplo para mostrar las potencialidades de la plataforma.

5. Conclusiones.

La plataforma presentada en este trabajo ayudó a medir ciertos parámetros presentes en las redes ATM, comprobándose la gran importancia de desarrollar prototipos que ayuden a la puesta en marcha de este tipo de redes. Se comprendió en la elaboración del mismo, la importancia de estudiar el comportamiento a priori de redes ATM, a través del uso de una plataforma. Además la plataforma permite: llevar un seguimiento del comportamiento de una red preestablecida, producir información de monitoreo de la red, visualizar los resultados de una manera gráfica amigable, brindar facilidades de ayuda en línea al navegar en esta, etc. Finalmente, este trabajo forma una parte importante que junto con el desarrollo de las capas SONET/SDH, AAL y capas superiores, conformar así una gran plataforma que se denominará BISDN, esto se puede lograr gracias a la modularización con la que este fue diseñado.

REFERENCIAS

- [BAKE88] Baker, D. J., Hauser, J.P., Thoet, "A designation and Prototyping testbed for radio comm works" IEEE journal Selected Areas in comm. 1988 pp197-210
- [BELL91] BELLEC, Pierre-Yves. "ATM". France Telecom. France 1991. pp 54.
- [CHAI93] CHAI, Arthur and GHOSH, Sumit. "Distributed Modeling and Simulation of a BISDN network". Computer, pp 37-51 Sep 1993.
- [ICL 94] Interconnect Communications LTD and European SMDS Interest Group. "SMDS HANDBOOK" Publishing Quorum Technical Services Ltd. United Kingdom. March 1994, pp 98.
- [KURO88] Kurose, J.K., Mouftah, H.T., "Computer aided analysis and design of computer networks" IEEE Sel in Comm vol 6, no. 1 jan 1988,
- [LEUN90] Leung W. H. F., "A software Architecture for supporting Multimedia conferencing in packet networks" IEEE J. Selected Areas in Comm. 1990, pp380-390.
- [LUBA85] Lubachevsky B., y RamaKrishnan K., "Parallel evaluation of a network using shared memory modeling tools and techniques for performance" North Holland, Amsterdam 1985
- [McDy95] McDYSAN, David E and SPOHN. Darren L. "ATM. Theory and application". McGraw-Hill, INC. United States of America. April 1995. pp 636.
- [MILL94] MILLER, Arthur. "From here to ATM". IEEE Spectrum, pp 20-24. June 94

- [MILL96] MILLAN, Yrielis y RIVAS Rachele. "Desarrollo de una plataforma de para el estudio de redes ATM". U.C.V. Caracas, Venezuela. Febrero 1996 .
- [MOUF88] Mouftah, Sturgeon "Distributed evaluation for communication networks"IEEE J. Selected areas in comm. vol 8, No. 9 Dec. 1990 pp1723-1730
- [RIGH90] Righter R., Walrand J.C. Distributed simulation event systems" Proc IEEE vol 77 No.1.1990
- [SIMM94] SIMMONS, Jane M and GALLAGER, Robert G. "Design of Error Detection Scheme for Class C Service in ATM". IEEE/ACM Transactions oNetworking,vol 2, N° 1. February 1994.
- [TAN91] TANEMBAUM, Andrew S. "Redes de Ordenadores". Editorial Prentice Hall. Segunda edición. Mexico 1991. pp 759.