

# CONMUTACIÓN DE PAQUETES DE VOZ

Marco Aurelio Alzate Monroy  
Universidad Distrital F.J.C.

## RESUMEN

En este artículo se presentan algunos resultados de modelos de simulación sobre la transmisión de señales de voz a través de redes de conmutación de paquetes. Primero se clasifican las distintas técnicas de conmutación mostrando cómo la conmutación rápida de paquetes tiende a imponerse con las nuevas tecnologías. Luego se estudian las técnicas de paquetización de señales de voz y los algoritmos de reconstrucción en el receptor para compensar los retardos variables de la red. Después se caracteriza el tráfico de paquetes de voz desarrollando modelos de simulación basados en resultados experimentales y, por último, se mencionan los principales algoritmos para control de flujo en redes de conmutación de paquetes de voz, verificándose el impacto que, sobre su estudio, tiene la escogencia del modelo de tráfico..

## 1. INTRODUCCIÓN

Es evidente la proliferación de redes satelitales privadas en Colombia y cómo es cada vez más común la conexión de estaciones multimedios a redes locales de computadores. Así mismo, se empieza a ver la introducción de redes de alta velocidad basadas en fibra óptica y la migración hacia las RDSI de banda angosta y banda ancha. Estas condiciones han impuesto la necesidad de utilizar la conmutación de paquetes en la prestación de servicios que, hasta ahora, se habían ofrecido mediante la asignación de una capacidad fija por conmutación de circuitos. Aunque esta situación trae grandes beneficios en cuanto a la eficiencia en el uso de los enlaces de transmisión, puede incidir negativamente en la calidad de las señales transmitidas [10]. En este artículo se trata específicamente el problema de la conmutación de paquetes de voz, desde las técnicas de paquetización hasta los algoritmos de control de congestión, pasando por los métodos de reconstrucción de la señal. En la sección 2 se presentan los requerimientos del tráfico de voz y cómo se satisfacen estos requerimientos mediante la conmutación de circuitos y la conmutación de paquetes. En la sección 3 se explica cómo se aprovechan los períodos de silencio durante una conversación para compartir dinámicamente los enlaces de transmisión y cómo se compensan en el receptor los retardos variables que la red produce. En la cuarta sección se construye un modelo probabilístico del comportamiento de los abonados a partir de datos experimentales y, con este modelo se desarrollan, algoritmos de simulación para caracterizar el tráfico de paquetes de voz. Dichos algoritmos se utilizan en la sección 5 para analizar el desempeño de una técnica elemental de control de congestión en redes de conmutación de paquetes y así verificar el impacto de los modelos de tráfico en este tipo de estudios. Por último, en la sección 6, se proponen algunas conclusiones.

## 2. TÉCNICAS DE CONMUTACIÓN

Según la flexibilidad en la asignación de recursos de transmisión, las diferentes técnicas de conmutación podrían clasificarse, en orden ascendente, de la siguiente manera [20]:

1. Conmutación de Circuitos : Se asigna una capacidad fija durante un proceso de establecimiento de la conexión
2. Conmutación de circuitos de múltiples velocidades : En el proceso de establecimiento los abonados pueden solicitar la capacidad que requieran.
3. Conmutación rápida de circuitos : Se minimiza el tiempo de establecimiento de manera que se pueda conectar y desconectar un circuito para cada ráfaga de información (También llamada conmutación por ráfagas).
4. Conmutación rápida de paquetes : Conmutación de paquetes en la que se elimina el control de error entre enlaces y sólo se hace, si es necesario, entre extremos. Los principales ejemplos son el relevo de tramas (frame relay) y el relevo de celdas (ATM).
5. Conmutación de paquetes : Los paquetes de datos esperan en buffers por la disponibilidad de cada uno de los enlaces que los conducen a su destino.

Históricamente, la conmutación de circuitos surgió para el tráfico de voz desde hace más de un siglo. Sin embargo la técnica resultó inadecuada para el tráfico de datos, por lo que se empezó a desarrollar la conmutación de paquetes hace ya varias décadas [20]. La incompatibilidad entre ambas técnicas de conmutación y ambos tipos de tráfico es notoria [2]:

- Establecimiento de la conexión : Una conversación telefónica dura, en promedio, varios minutos, por lo que no le afectan los pocos segundos que dure el establecimiento de un circuito. Cada transacción de datos interactivos, en cambio, puede durar sólo algunas fracciones de segundo, lo que hace intolerable el tiempo de establecimiento del circuito.
- Eficiencia : Para obviar el problema anterior, se podría establecer el circuito para toda la sesión de un intercambio de datos interactivos. Sin embargo estos intercambios se presentan por ráfagas que mantendrían ocupado el circuito sólo durante una porción mínima del tiempo, lo que implicaría un uso ineficiente de la capacidad asignada.
- Flexibilidad : La conmutación de circuitos asigna una capacidad fija a cada conexión, lo cual es adecuado para tráfico de voz pues, en una red dada, la señal se suele codificar a una misma tasa de bits para cualquier conversación. Sin embargo, algunos servicios de tráfico de datos requieren una mayor o menor tasa de bits que otros, lo cual no se puede lograr fácilmente con la conmutación de circuitos.
- Corrección de errores : Por establecer un circuito transparente, la red no detecta los errores que se pueden suceder en la transmisión, de manera que su corrección se vuelve responsabilidad de los usuarios. Esta característica no afecta al tráfico de voz debido a la robustez de la señal, pero puede ser costosa para el tráfico de datos si uno o más enlaces presentan una alta tasa de errores.
- Bloqueo : Si en el momento de establecer el circuito no hay suficiente capacidad disponible, la red no acepta la información de usuario. Esto puede ser fatal para muchos servicios de datos mientras que a los abonados de voz no les molestará mucho intentar establecer la conexión más tarde.

La conmutación de paquetes elimina estas dificultades que la conmutación de circuitos presenta al tráfico de datos, pues no hay establecimiento de circuitos y ninguna sesión puede ocupar un enlace si no hace uso de él (aunque en la conmutación de paquetes por circuitos virtuales existe una fase de establecimiento, durante ella se pueden enviar datos de usuario). Más aún, toda la capacidad del enlace se asigna a cada paquete y sólo durante el tiempo que dure su transmisión. ¿Porqué no usar, entonces, conmutación de paquetes para tráfico de voz? Por que aquella no sólo añade retardos sino variaciones de los retardos que pueden llegar a ser intolerables para éste [6]. Dichos retardos se deben al tiempo de espera por la disponibilidad de los enlaces lo cual, en tráfico de datos, se requiere para evitar el bloqueo y para corregir errores dentro de la red. Sin embargo estas virtudes son irrelevantes para la voz, la cual requiere una transmisión en “tiempo real” (retardos constantes y menores a 150 ms) [22].

La conmutación por ráfagas y la conmutación de circuitos con múltiples tasas de bits pretenden acercar la conmutación de circuitos a los requerimientos del tráfico de datos mientras la conmutación rápida de paquetes pretende acercar la conmutación de paquetes a los requerimientos del tráfico de voz [2]. Sin embargo, la tendencia es definitivamente hacia la conmutación rápida de paquetes con la introducción de nuevas tecnologías como ATM, frame relay, redes satelitales privadas y redes metropolitanas de alta velocidad, las cuales se basan en medios de transmisión más confiables y equipos de conmutación más rápidos. Esto permite procesar más rápidamente los encabezados de los paquetes y dejarle a los usuarios la responsabilidad del control de errores, disminuyendo así los tiempos de espera propios de la conmutación de paquetes sin sacrificar su alta eficiencia en el uso de la capacidad de transmisión [20].

### **3. PAQUETIZACIÓN DE VOZ**

La señal de voz está compuesta por períodos alternantes en que se produce sonido o se hace silencio, como muestra la Figura 1, en la que se ve la señal de voz del abonado B durante la siguiente conversación telefónica:

B: Buenas Tardes. Habla Patricia. (A: Buenas Tardes. ¿Juan, por favor?)  
 B: El en este momento no se encuentra. (A: ¿Podré encontrarlo a las tres?)  
 B: Si, claro. Cómo no. (A: Muchas Gracias. Hasta luego.)  
 B: Hasta luego.

Aunque los silencios más claros se observan mientras escucha al abonado A, cuando el abonado B está hablando también se presentan pequeños silencios. En la Figura 1 se aprecian con claridad los silencios producidos por los fonemas oclusivos /T/ de “tardes”, /P/ y /T/ de “Patricia”, /T/ de “este”, /T/ de “momento”, /C/ y /T/ de “encuentra”, /C/ de “Claro”, /C/ de “Como” y /T/ de “hasta”. Sin embargo, en frases más largas que las de este ejemplo, los principales silencios durante un monólogo corresponden a las pausas representadas por los signos de puntuación.

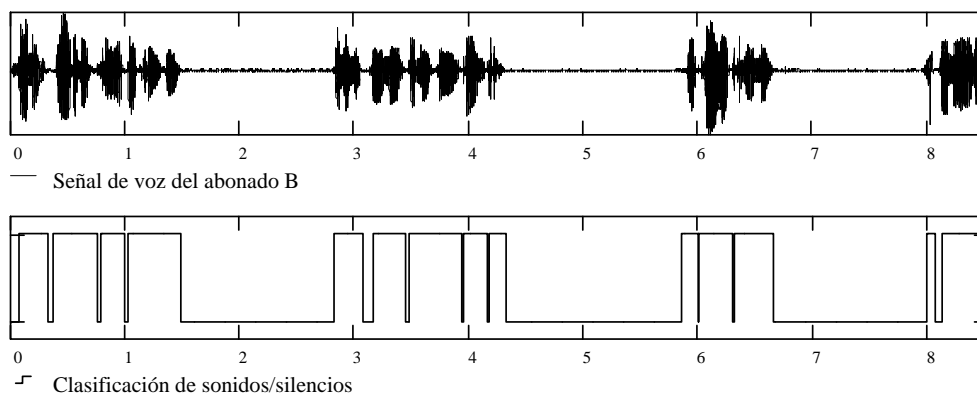


Figura 1. Períodos de sonido y de silencio en la señal de voz de uno de los abonados que participan en una conversación telefónica.

Existen diferentes técnicas para detección de sonidos y silencios. La utilizada en la construcción de la Figura 1 se basa en el análisis de tramas de 32 muestras (4 ms a 8000 muestras/segundo) separadas entre si por 16 muestras (2 ms). Para cada trama se calcula el número de cruces por cero, Z, y una “Amplitud”, A, así [4]:

$$Z = \sum_{i=1}^{31} |\text{signo}(x_i) - \text{signo}(x_{i-1})| \quad A = \sum_{i=0}^{31} |x_i|$$

donde  $x_i$  es la i-ésima muestra de la trama y  $\text{signo}(x)$  es 1 para  $x \geq 0$  y -1 para  $x < 0$ . Como en los sonidos sonoros se esperan amplitudes altas y en los sonidos sordos se espera una alta tasa de cruces por cero, el algoritmo de clasificación procede así:

- Si ((A > Nivel Superior de Amplitud) o (Z > Nivel Superior de Cruces por Cero)),  
 Esta trama corresponde a un sonido.
- Pero Si ((A < Nivel Inferior de Amplitud) y (Z < Nivel Inferior de Cruces por Cero)),  
 Esta trama corresponde a un silencio.
- En otro caso,  
 Esta trama mantiene la condición de la trama anterior

Los niveles de comparación se escogen de acuerdo con las condiciones ambientales de ruido. La función de clasificación se pasa luego por un proceso de “Hangover” en el que cada período de sonido se extiende durante un tiempo adicional breve (10 ms en la Figura 1) eliminando así los silencios muy cortos [2]. La Figura 2 muestra el proceso para la frase “El en este momento no se encuentra”.

Los períodos de sonido y silencio intercalados permiten a las señales de voz compartir dinámicamente los enlaces en una red de comunicación. De hecho, esta característica se ha venido explotando en la multiplicación de circuitos mediante la “Interpolación digital de voz”, DSI, en la cual N abonados comparten C canales,

siendo  $C < N$  [21]. El incremento de la capacidad se consigue eliminando la transmisión de los períodos de silencio y asignando los canales a cada período de sonido. Cuando un abonado produce un período de sonido que encuentra los  $C$  canales ocupados, se produce un recorte de la señal que puede afectar considerablemente su calidad. Sin embargo, en algunos sistemas DSI los períodos de sonido se almacenan en un buffer hasta que haya un canal disponible, sustituyendo así recortes por retardos [16]. Obsérvese que ahora sólo falta dividir cada período de sonido en grupos pequeños de bits para obtener, en una transición muy natural desde la conmutación de circuitos, un sistema de conmutación de paquetes de voz.

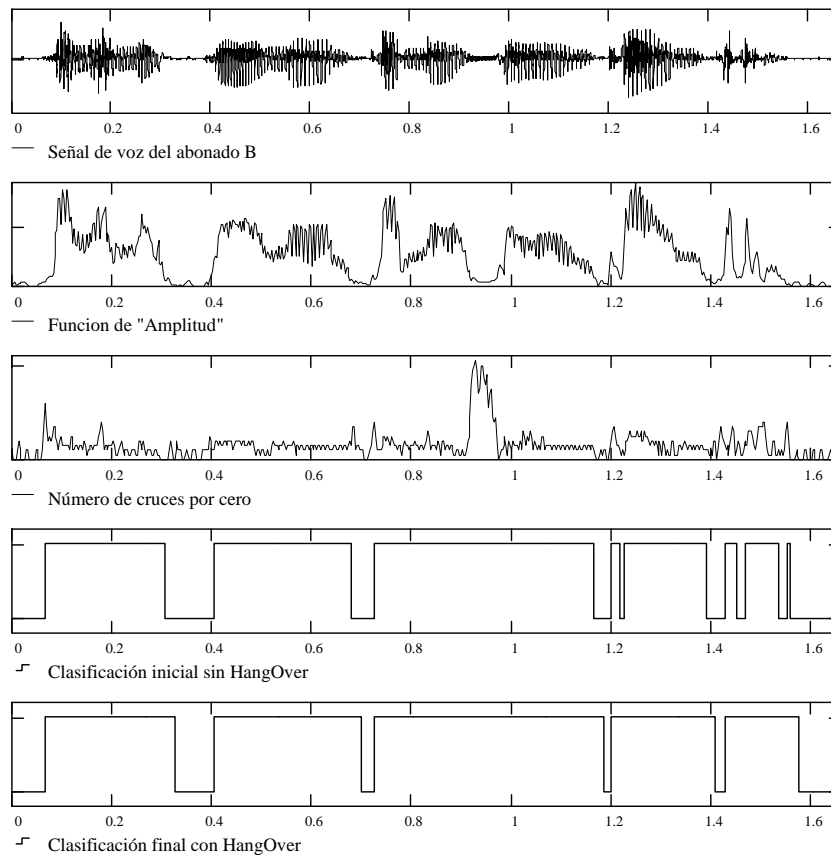


Figura 2. Algoritmo de detección de sonidos/silencios mediante clasificación de tramas

Así pues, la paquetización de la voz se consigue detectando los períodos de sonido y, durante ellos, generando paquetes de longitud constante, lo cual se facilita con muchos esquemas de codificación que dividen la voz en tramas. Por ejemplo, un codificador LPC podría considerar tramas de 20 ms, extraer los parámetros del filtro inverso y de la excitación codificados con 12 bytes y generar otros 36 bytes para codificar la forma de onda del residuo de la predicción construyendo así una celda ATM [4]. Si el análisis de amplitud y cruces por cero indica que se trata de un sonido, la celda se transmite. En otro caso la celda se ignora. El resultado neto en este ejemplo es que, durante los períodos de sonido, se generan 50 celdas por segundo y durante los períodos de silencio no se produce tráfico.

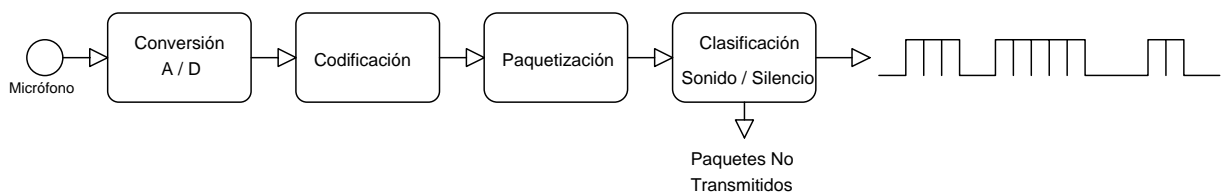


Figura 3. Paquetización de voz

El problema, como se vio en la sección 2, es que los retardos que la red impone a cada paquete son variables y la voz es muy sensible no sólo a los retardos sino a su variación. En el proceso de reconstrucción de la señal de voz en el receptor se deben compensar estos retardos variables, para lo cual se suele imponer un retardo adicional controlado antes de reproducir la señal correspondiente a cada paquete. Este retardo adicional se restringe de acuerdo con el máximo retardo permitido entre extremos por las especificaciones internacionales [6].

En el esquema más sencillo el receptor añade un retardo fijo  $R$  al primer paquete de cada período de sonido de manera que, si el retardo experimentado por dicho paquete dentro de la red fue  $R_0$ , el retardo total desde que ingresó a la red hasta que se reproduce en el receptor será  $R_t = R + R_0$ . Los siguientes paquetes se reconstruyen a la tasa constante con que se produjeron, uno cada  $R_p$  segundos (Figura 4). Si un paquete no está disponible en el momento en que debe ser reproducido, se considera un paquete perdido y no se reproduce. Obsérvese que la escogencia de  $R$  implica un compromiso entre el porcentaje de paquetes perdidos ( $R$  grande) y el retardo total entre extremos ( $R$  pequeño). Por otro lado, la única sobrecarga que se añade es el de un número de secuencia relativo al período de sonido de cada paquete [6].

En el anterior esquema, la aleatoriedad de  $R_0$  implica que los períodos de sonido no se pueden reproducir con exactitud. En la Figura 4, por ejemplo, el primer paquete del primer período de sonido tardó  $R_0$  segundos en llegar al receptor mientras el primer paquete del segundo período de sonido tardó  $R_0'$  segundos y, en consecuencia, el silencio de  $S$  segundos fue reconstruido en el receptor con  $S + R_0' - R_0$  segundos. Aunque esta condición puede no ser crítica, existen esquemas más elaborados en los que cada paquete lleva un reloj que contabiliza su retardo. Sin embargo estos esquemas no sólo complican los protocolos de reconstrucción sino que exigen un perfecto sincronismo en la red, por lo que son poco usados [6].

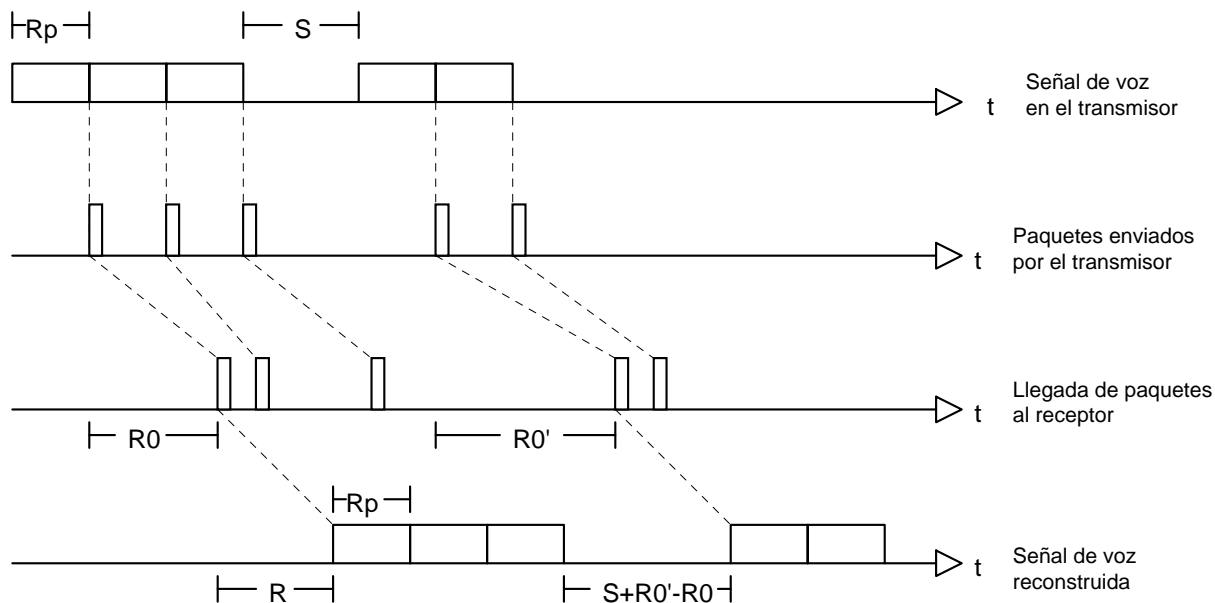


Figura 4. Algoritmo de reconstrucción de señales de voz paquetizadas

#### 4. CARACTERIZACIÓN DEL TRAFICO DE PAQUETES DE VOZ

Hemos visto cómo, durante una conversación telefónica, cada abonado transita entre períodos de sonido y períodos de silencio donde los silencios pueden darse durante las pausas y los fonemas oclusivos de su propio discurso o mientras escucha al abonado del otro extremo. La Figura 5 muestra el diagrama de estados correspondiente. De una parte, puede transitar entre los estados A (producir sonido) y B (hacer silencio) y de otra parte puede transitar entre los estados 1 (hablar) y 2 (escuchar), lo que da origen a los tres posibles estados A1,

B1 y B2. Mientras se encuentra en el estado A1, cada abonado genera paquetes con una tasa constante determinada por el esquema de codificación y la longitud de los paquetes [2].

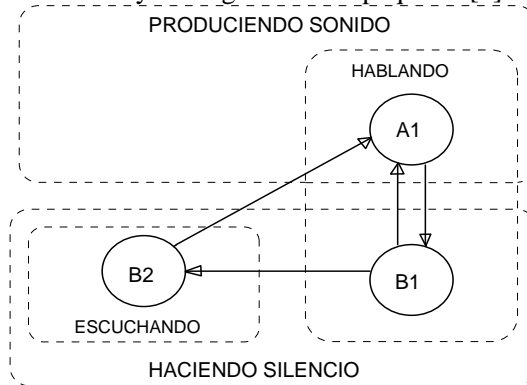


Figura 5. Diagrama de transición entre estados para un abonado telefónico

Con el fin de caracterizar el tráfico de paquetes de voz, se llevó a cabo una serie de experimentos en los que se medían los tiempos de permanencia en cada uno de los estados del proceso para 25 conversaciones telefónicas sostenidas en Santafé de Bogotá. La duración total de las conversaciones fue de 97 minutos y en la detección de silencios se utilizó HangOver de 5 ms. Con las mediciones obtenidas se construyeron histogramas para tratar de encontrar una función de densidad de probabilidad adecuada para el tiempo de permanencia en cada estado. Los resultados fueron los siguientes:

Estado A : Con un tiempo promedio de permanencia de 0.359 segundos y una varianza muestral de 0.096 segundos cuadrados se obtiene un coeficiente de variación de 0.86, cuya cercanía a 1 sugiere una distribución exponencial, como muestra la Figura 6.

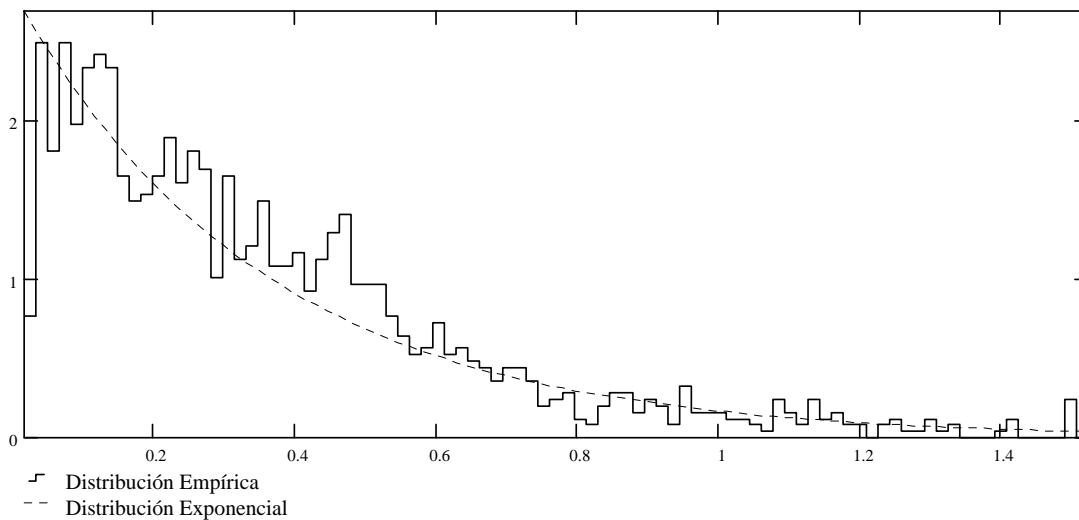


Figura 6. Distribución del tiempo de permanencia en A

Estado B : Con un tiempo promedio de permanencia de 0.806 segundos y una varianza muestral de 4.3 segundos cuadrados se obtiene un coeficiente de variación de 2.57. Este valor superior a 1 sugiere una distribución lognormal, la cual, como muestra la Figura 7, se ajusta a la curva adecuadamente pero no reproduce bien el pico cercano a 0. Una distribución Pearson del tipo VI reproduce mejor el pico pero decae más lentamente que la distribución Lognormal generando un rango mucho más amplio que el observado empíricamente. De cualquier manera, la distribución exponencial para el tiempo de permanencia en estado de silencio es una muy mala aproximación, lo cual contrasta con el modelo de tráfico utilizado por la mayoría de

autores que suponen un proceso markoviano para la transición entre estados de sonido o silencio, con tiempos de permanencia en cada uno de ellos exponencialmente distribuidos.

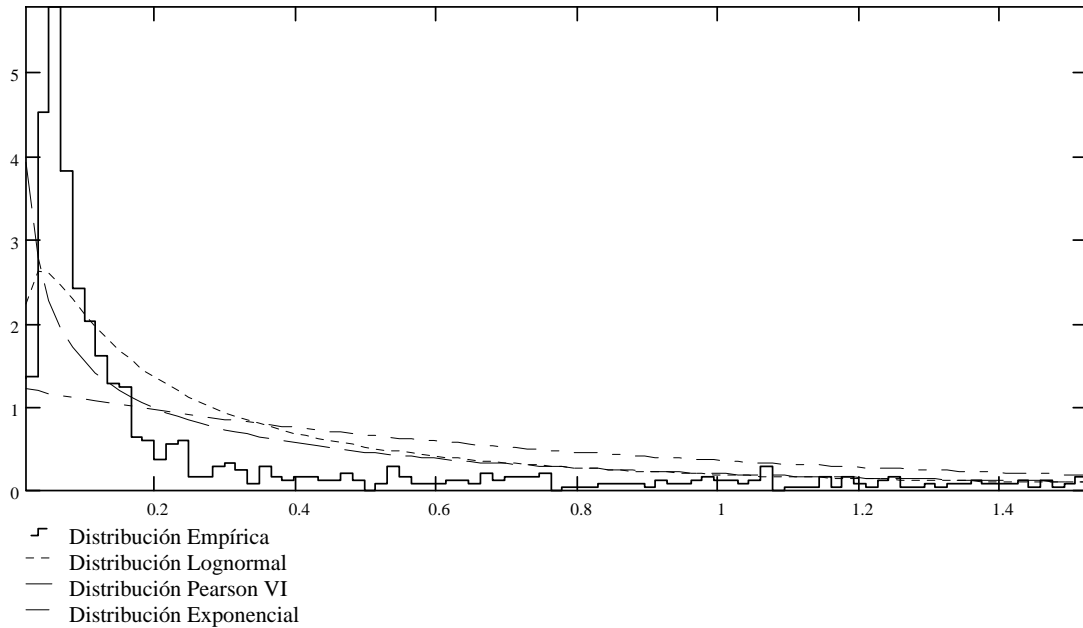


Figura 7. Distribución del tiempo de permanencia en B

Con el fin de mostrar el error introducido al suponer que la duración de los períodos de silencio está exponencialmente distribuida, se ha llevado a cabo un estudio de simulación en el que se comparan las medias y las varianzas de los tiempos entre llegadas de paquetes de voz para distinto número de abonados. El método de simulación que sugieren las Figuras 6 y 7 consiste en tener para cada abonado una instancia del siguiente proceso:

1. Se escoge un estado inicial de acuerdo con la distribución de Bernoulli

$$P[\text{Empezar en A}] = \frac{\lambda / \mu}{1 + \lambda / \mu} \quad P[\text{Empezar en B}] = 1 - P[\text{Empezar en A}]$$

donde  $1/\lambda$  y  $1/\mu$  representan los tiempos promedios de permanencia en A y B respectivamente.

2. Se calcula el tiempo de permanencia en el estado actual según una distribución exponencial para los períodos de sonido o lognormal para los períodos de silencio, de acuerdo con las figuras 6 y 7. Mientras el abonado se encuentre en el estado B, se generan paquetes de voz a una tasa constante de acuerdo con la técnica de codificación particular que se utilice.
3. Se establece el nuevo estado actual y se vuelve al paso 2 mientras dure la simulación.

Bajo la suposición de que los tiempos de permanencia en cada estado están exponencialmente distribuidos, se puede utilizar un método de simulación más eficiente como el propuesto por Weinstein [21]. El modelo supone  $m$  abonados que alternan entre los estados A y B de manera que  $a(t)$ , el proceso estocástico de número de abonados en el estado B, se caracteriza por cambios de  $\pm 1$  en instantes aleatorios de tiempo de acuerdo con los parámetros  $1/\lambda$  y  $1/\mu$ . Si  $m$  es suficientemente grande, la distribución de estos tiempo no importa y  $a(t)$  se puede representar como un proceso markoviano de nacimiento y muerte con  $m+1$  posibles estados. Desde el estado  $a(t)=k$  existen  $k$  fuentes independientes transitando hacia el estado  $a(t)=k-1$ , cada una con una tasa promedio  $\mu$ , mientras que hay  $m-k$  fuentes transitando con tasa promedio  $\lambda$  al estado  $a(t)=k+1$ . Esto es, el diagrama de transición entre estados para el proceso  $a(t)$  sería como muestra la Figura 8 [21].

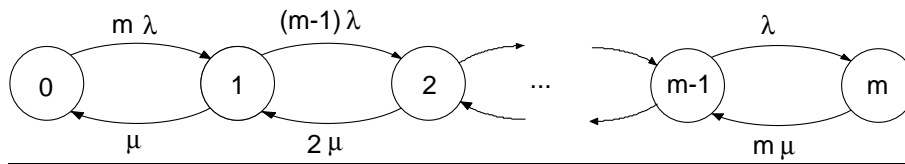


Figura 8. Estados del proceso  $a(t)$  = Número de abonados activos entre  $m$  abonados conectados

La simulación del proceso  $a(t)$  obedece, entonces, al siguiente algoritmo:

1. Escoja el estado inicial  $k$  de acuerdo con la distribución de probabilidad de estado estable  $p_k = \binom{m}{k} \varphi^k (1-\varphi)^{m-k}$  donde  $\varphi$  es la fracción de tiempo que un abonado permanece activo,  $\varphi = \frac{1/\mu}{1/\lambda + 1/\mu} = \frac{\lambda/\mu}{1 + \lambda/\mu}$ .
2. Calcule el lapso de tiempo que transcurrirá hasta la siguiente transición generando una muestra aleatoria exponencialmente distribuida con promedio  $1/(\lambda_k + \mu_k)$ , donde  $\lambda_k$  y  $\mu_k$  son las tasas de transición desde el estado  $k$  mostradas en la Figura 8.
3. Escoja el siguiente estado como  $k+1$  ó  $k-1$  de acuerdo con las siguientes probabilidades:  $p[k \rightarrow k+1] = \frac{\lambda_k}{\lambda_k + \mu_k} = 1 - p[k \rightarrow k-1]$
4. Actualice  $k$  y vuelva al paso 2 mientras dure la simulación.

La figura 9 muestra el porcentaje de error entre los resultados de los dos programas de simulación para un número de abonados que va de 1 a 30. Es claro que los valores promedio del tiempo entre llegadas de paquetes es igualmente válido para ambos modelos con cualquier número de abonados pues, en todos los casos, la diferencia se mantuvo por debajo del 5%. Sin embargo se observa que para un número pequeño de abonados existe una gran diferencia en la varianza del tiempo entre llegadas de paquetes, que alcanza el 75% para un sólo abonado. A partir de 19 abonados la diferencia empieza a hacerse menor y con más de 30 abonados las diferencias se hacen suficientemente pequeñas para preferir el algoritmo de Weinstein exponencial-exponencial, por consideraciones de eficiencia en la simulación. Actualmente en Colombia se están utilizando redes de datos tipo VSAT y LAN con un nivel de tráfico de voz inferior a 30 conversaciones simultáneas, por lo que consideramos adecuado utilizar el modelo de períodos de silencio exponenciales y de períodos de sonido lognormales para analizar con mayor precisión el impacto del tráfico de paquetes de voz sobre estas redes.

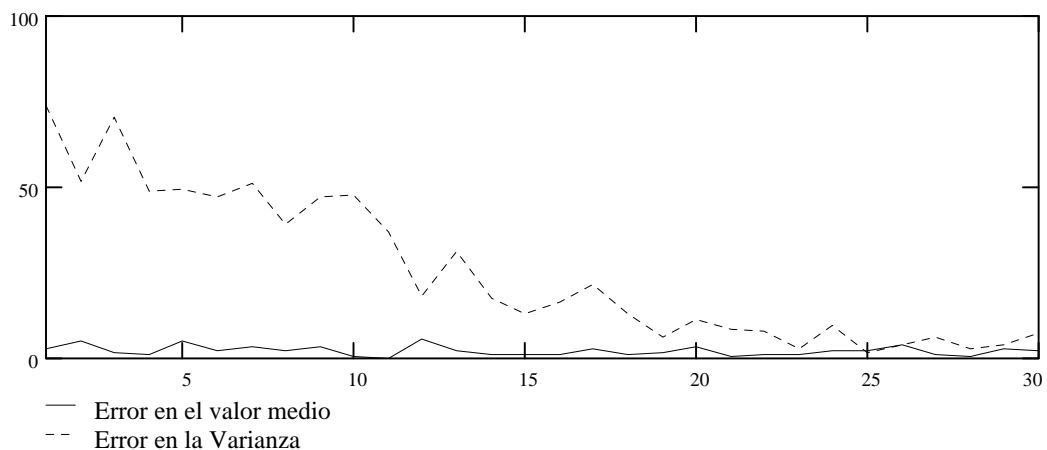


Figura 9. Diferencias entre el modelo Exponencial-Exponencial y el modelo Exponencial-LogNormal

## 5. CONTROL DE FLUJO Y CONGESTIÓN

Como se mencionó en la sección 3, los paquetes de voz son rechazados cuando llegan al receptor demasiado tarde para su reproducción. De igual manera, en los nodos intermedios pueden rechazarse algunos paquetes ante



el fenómeno de la congestión. El porcentaje de paquetes que se pierden es una de las principales medidas de desempeño de un sistema de conmutación de paquetes de voz. Sin embargo otras medidas pueden ser igualmente importantes como la probabilidad de pérdidas consecutivas o la duración de los períodos con alta proporción de paquetes perdidos [13].

Para que estos efectos no degraden notoriamente la calidad de la señal de voz, se suele utilizar codificación con tasa variable de bits asociada con el esquema de control de congestión mediante eliminación de bits (bit-dropping) [18]. En este esquema la señal se paquetiza en bloques de bits organizados de acuerdo con su importancia y, ante el umbral de la congestión, se eliminan los paquetes menos significativos. Debido a la variación dinámica de la tasa de bits, este método de control produce fluctuaciones en la calidad de la señal de voz durante una conversación pues, entre mayor carga se imponga a la red, mayor será el ruido de cuantización de la señal de voz [22]. Para tratar de minimizar este efecto se utilizan algunas variaciones interesantes en el esquema de control. Por ejemplo, los paquetes de voz con información más significativa pueden recibir prioridad sobre los paquetes menos significativos para que, ante la congestión, el receptor disponga al menos de la información mínima para reconstruir oportunamente la señal de voz [6]. En este caso, como los paquetes menos significativos pueden someterse a retardos excesivos con mayor probabilidad que los paquetes más significativos, es preferible eliminarlos antes de ser transmitidos para reducir la congestión en la red y ahorrar ancho de banda [15]. Las estrategias de decisión para eliminar paquetes en el transmisor pueden ir desde algoritmos distribuidos que requieren intercambio de información entre extremos hasta algoritmos aislados que basan sus decisiones sólo en el nivel de congestión local [22].

En esta sección presentamos los resultados de un estudio de simulación que evalúa un sistema con  $N$  abonados que, durante los períodos de sonido, generan una tasa constante de  $\alpha$  paquetes de longitud fija por segundo. Estos paquetes se multiplexan estadísticamente para acceder a un enlace que puede transmitir hasta  $\beta$  paquetes por segundo. Bajo estas condiciones, el sistema puede calcular, desde el instante de su llegada, cuánto tiempo tardará cada paquete en la cola. En efecto, si un paquete llega en un instante  $t$  en el cual ya hay  $Q(t)$  paquetes en la cola, deberá permanecer en ella durante  $Q(t)/\beta$  segundos. De acuerdo con esto, si el retardo máximo que puede experimentar un paquete de voz en el multiplexor es de  $R_{max}$  segundos, será suficiente con permitir un cupo máximo de  $M=R_{max}\beta$  paquetes en cola y, así, eliminar los paquetes que lleguen cuando no haya cupo para ellos. Por supuesto, este método de control de congestión es demasiado simplista, pero permite comparar el efecto que tiene el modelo de tráfico sobre los estudios de los algoritmos de control de congestión. En el estudio se supuso un enlace de 144 kbps, paquetes de 320 bits de longitud y una tasa de 50 paquetes por segundo por cada abonado activo. Para retardos máximos de 20, 50 y 100 ms se graficó la probabilidad de que un paquete sea eliminado. La Figura 10 presenta el resultado para el modelo de tráfico Exponencial-LogNormal mientras la Figura 11 superpone los resultados del modelo exponencial-exponencial. Obsérvese lo significativa que es la diferencia para menos de treinta abonados.

## 6. CONCLUSIONES

Los ingenieros de Telecomunicaciones tienen el reto de especificar, diseñar, implementar y operar sistemas de comunicaciones cada vez más complejos para permitir la disponibilidad de nuevos y variados servicios con base en tecnologías que no terminan de evolucionar. Sin embargo estos profesionales se enfrentan a este reto con un conocimiento incompleto de las características de las demandas de los usuarios, lo cual dificulta la evaluación de modelos que entreguen predicciones de desempeño aceptablemente precisas [8]. En este artículo se presentó un breve resumen de la problemática que se encuentra al integrar servicios de voz en redes con conmutación de paquetes, así como algunas de las principales soluciones propuestas. Se desarrolló un modelo de tráfico de paquetes de voz ajustado a observaciones experimentales con patrones de conversación propios de Santafé de

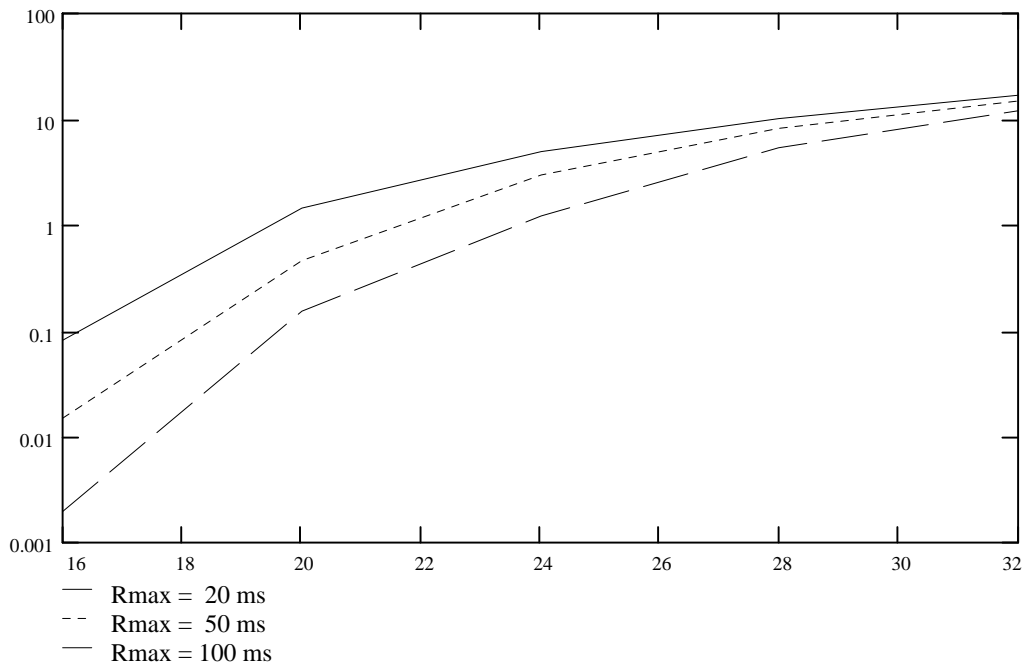


Figura 10. Porcentaje de paquetes bloqueados (modelo Exponencial-LogNormal)

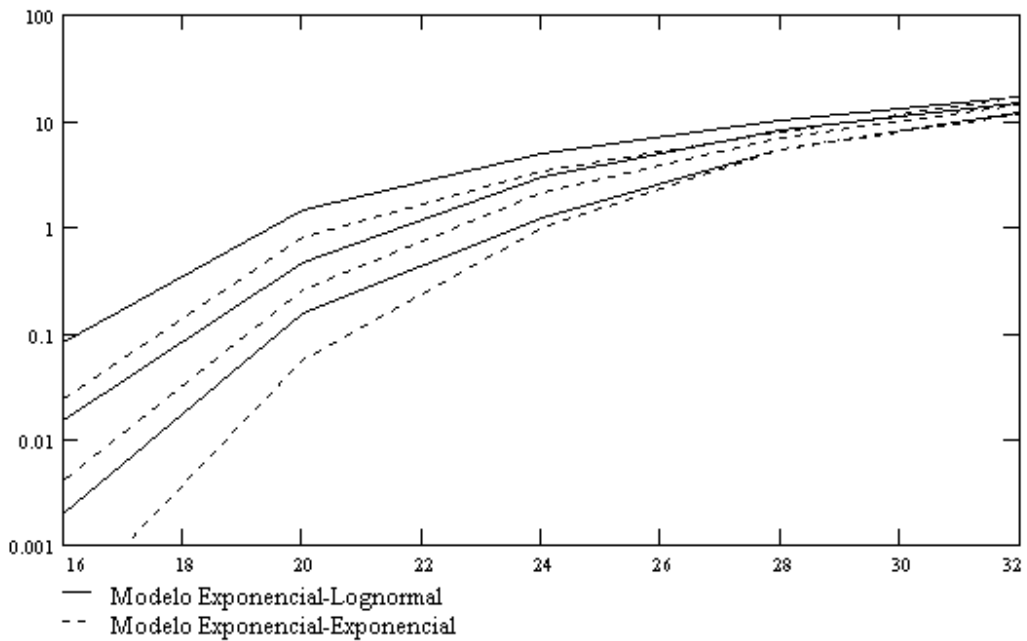


Figura 11. Comparación de los resultados del estudio con el modelo de tráfico exponencial-exponencial

Bogotá y se vio cómo los estudios de desempeño de protocolos y sistemas de conmutación de paquetes de voz se pueden ver afectados por el uso de la aproximación exponencial para la duración de los tiempos de permanencia en estado de silencio, que es el modelo de tráfico usado por la mayoría de autores. La diferencia está en que el modelo aquí propuesto captura con mayor precisión las correlaciones que existen entre los tiempos de llegada de los paquetes, las cuales pueden impactar notablemente el desempeño de los sistemas de comunicación.

En general, las redes multimedios de banda ancha aceptarán tráfico de múltiples servicios con distintas características, lo cual justifica un estudio semejante para cada uno de los posibles tipos de tráfico, de acuerdo con las particularidades de nuestro medio [3]. En efecto, la naturaleza estocástica de las demandas impuestas por los usuarios a los recursos de una red de éstas aún es poco comprendida y su conocimiento es casi siempre incompleto, de manera que los modelos del tráfico son aproximados y hasta especulativos, especialmente cuando se consideran nuevos servicios aún no ofrecidos por el sistema real. Esta condición compromete la validez de los resultados de la predicción del desempeño, como se demostró en la sección 5.

## 7. BIBLIOGRAFIA

1. ALZATE, M. "Simulación de Redes de Computadores", Universidad Distrital F.J.C., Programa de Maestría en Teleinformática, 1992.
2. ALZATE, M. "Multiplexaje de Voz y Datos para Servicios Integrados", Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería Eléctrica, 1991.
3. ALZATE, M. "Modelos de Tráfico para Simulación de Redes de Comunicaciones", Universidad Distrital F.J.C., Programa de Maestría en Teleinformática, Reporte de Investigación Número 5, marzo de 1995.
4. ALZATE, M. "Prácticas de Procesamiento Digital de Señales de Voz", Universidad Distrital F.J.C., Programa de Maestría en Teleinformática, Reporte de Investigación Número 1, Octubre de 1994.
5. BIALLY, T. et al. "A Technique for Adaptive Voice Flow Control in Integrated Packet Networks", IEEE Transactions on Communications, Marzo de 1980.
6. CHEN, T. A. et.al. "Dynamic Priority Protocols for Packet Voice", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Junio de 1989
7. ECKBERG, A. E. "BISDN/ATM Traffic and Congestion Control", IEEE Network Magazine, Septiembre de 1992.
8. FROST, V. S. and MELAMED, B. "Traffic Modeling for Telecommunications Networks", IEEE Communications Magazine, Vol. 32, No. 3, Marzo de 1994.
9. HONG, D. and SUDA, T. "Congestion Control and Prevention in ATM Networks", IEEE Network Magazine, Julio de 1991
10. JUNGOK, J. and SUDA, T. "Survey of Traffic Control Schemes and Protocols in ATM Networks", Proceedings of the IEEE, Febrero de 1991.
11. KING, P. "Computer and Communication Systems Performance Modelling", Prentice Hall Intl. Cambridge, 1990.
12. LAW, A. and KELTON, W. "Simulation Modeling and Analysis", 2nd. edition, McGraw Hill, New York, 1991.
13. LI, S. and SHENG, H. "Spectral Analysis of Packet Loss Rate at a Statistical Multiplexer for Multimedia Services", IEEE/ACM Transactions on Networking, Febrero de 1994.
14. LI, S. et al. "Congestion Control for Packet Voice by Selective Packet Discarding", IEEE Transactions on Communications, Mayo de 1990.
15. LI, S. and YIN, N. "Voice Packet Loss: Destination Versus Internodal Links", IEEE Transactions on Communications, Diciembre de 1991.
16. NAKHLA, M. and BLACK, D. "Analysis of a TASI System Employing Speech Storage", IEEE Transactions on Communications, Diciembre de 1991.
17. SAUER, C. H. "Simulation of Computer Communication Systems", Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, 1983.
18. SRIRAM, K. and LUCANTONI, D. "Traffic Smoothing Effects of Bit Dropping in a Packet Voice Multiplexer", IEEE Transactions on Communications, Julio de 1989.
19. SRIRAM, K. et.al. "Performance Evaluation of Variable Bit Rate voice in Packet Switched Networks", AT&T Technical Journal, Octubre de 1988.
20. STALLINGS, W. "ISDN and Broadband ISDN", 2nd Edition, MacMillan Publishing, New York, 1992.
21. WEINSTEIN, C. "Fractional Speech Loss and Talker Activity Model for TASI and for Packet Switched Speech", IEEE Transactions on Communications, Agosto de 1978.
22. YUAN, C. and SILVESTER, J. "Queueing Analysis of Delay Constrained Voice Traffic in a Packet Switching System", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Junio de 1989.
23. ZIEGLER, C. et.al. "Implementation Mechanisms for Packet Switched Voice Conferencing", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Junio de 1989.