

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica



TRABAJO DE DIPLOMA

**“Evaluación del método de predicción en
mecanismos de buffer de reproducción
basado en la Transformada Wavelet.”**

Autor: Duniel Naranjo Consuegra.

Tutor: MsC. Carlos Rodríguez López.

Ing. Léster Hernández Sánchez.

Santa Clara

2013

"Año 55 de la Revolución"

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica



TRABAJO DE DIPLOMA

“Evaluación del método de predicción en mecanismos de buffer de reproducción basado en la Transformada Wavelet.”

Autor: Duniel Naranjo Consuegra

dnconsuegra@nauta.cu

Tutores: MsC. Carlos Rodríguez López.

Profesor Auxiliar, Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica, Facultad de Ingeniería Eléctrica, UCLV.

crodrigz@uclv.edu.cu

Ing. Léster Hernández Sánchez.

Centro de Ingeniería Clínica y Electromedicina (CICEM)
Sancti Spíritus

lester.hernandez@yahoo.es

Santa Clara

2013

"Año 55 de la Revolución"



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Autor

Firma del Jefe de
Departamento donde se
defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO

Primogénitos del universo son quienes, poseídos por la pasión de hacer y crear, alcanzan cumbres mientras persiguen sueños.

José Martí.



DEDICATORIA

A mis padres que con perseverancia y ejemplo supieron conducirme por el camino correcto a lo largo de mi vida, por ser mi fuente de inspiración y sacrificio para realizar este sueño.

A mi esposa, por haber sido paciente y darme apoyo incondicional en este empeño.

A toda mi familia en general muchas gracias.

AGRADECIMIENTOS

En este momento tan importante en mi vida quiero agradecer:

A mis tutores MsC. Carlos Rodríguez López e Ing. Léster Hernández Sánchez por su agudeza, dedicación constante en el asesoramiento de esta investigación, por su comprensión y por haber sido los tutores que todo alumno debieran tener.

A mis padres por todo el amor y esfuerzo que han puesto en mi formación como profesional y como ser humano; por ser ejemplo de constancia y por apoyarme en estos seis años de carrera.

A mi esposa por ser una parte importante en mi vida.

A mi compañera Daily Alejandro Díaz que de una forma u otra aportó sus conocimientos y esfuerzo para la realización de este trabajo.

TAREA TÉCNICA

- Efectuar una revisión bibliografía técnica especializada para la construcción del marco teórico sobre predictores de buffer de reproducción en VoIP.
- Definir un modelo adecuado para la evaluación de la calidad percibida por los usuarios.
- Evaluar el impacto que tiene el método de predicción basado en la Transformada Wavelet en mecanismos de buffer de reproducción para aplicaciones de voz sobre IP.
- Discutir los resultados de los experimentos a realizar.
- Elaborar el informe final del trabajo de diploma.

Firma del Autor

Firma del Tutor

RESUMEN

El soporte de aplicaciones multimedia sobre redes de paquetes requiere el uso de mecanismos de buffer de reproducción, los que a su vez precisan de métodos de predicción. Un buen estimador debe ser capaz de establecer un compromiso entre la demora y la compensación de la variación de la demora, basando su funcionamiento en el historial del retraso de los paquetes. Estos estimadores se sustentan, generalmente, en métodos de análisis de series de tiempo. En este trabajo es evaluado el desempeño de WTAR, este último basado en la Transformada de Wavelet. Se analiza la repercusión en la calidad percibida por el usuario del uso de la Transformada Wavelet como método de predicción en mecanismos de buffer de reproducción en redes IP. Para la evaluación se emplea el Modelo E definido por la ITU – T G.107. Los experimentos muestran, que con modificaciones realizadas al método WTAR para trazas de nivel 5 de severidad, se logran, mejores valores del MOS. Esto se logra variando adecuadamente el factor de peso, de seguridad y utilizar los valores de aproximación, de la descomposición Wavelet, en el cálculo de un estimador autorregresivo.

TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO	I
RESUMEN	V
INTRODUCCIÓN	1
Organización del informe	3
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Voz sobre IP	5
1.2 Mecanismos de buffer de reproducción	8
1.3 Métodos de predicción.....	10
1.4 Transformada Wavelet.	12
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
2.1 Matlab versión 7.6	15
2.2 Métodos para la obtención de trazas.....	15
2.2.1 Obtención de trazas a través de pruebas de campo.	15
2.2.2 Obtención de trazas por emulación.	16
2.2.3 Obtención de trazas por simulación.....	16
2.3 Recomendación G1050 de la UIT-T.	16
2.3.1 Características de las trazas obtenidas.	18
2.4 Algoritmos de Ramjee.	20

2.5	Método de predicción basado en la Transformada Wavelet.	21
2.5.1	Variación del factor de seguridad.	25
2.5.2	Variación de los factores de peso.	25
2.5.3	Pruebas con los componentes de aproximación en forma autorregresiva.	25
2.6	Formas subjetivas de evaluación del buffer de reproducción.	26
2.7	Formas objetivas de evaluación del buffer de reproducción.	26
2.7.1	Modelo E.	27
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.		29
3.1	Pruebas realizadas.	29
3.1.1	Experimento 1: Variación del factor de seguridad.	30
3.1.2	Experimento 2: Prueba del uso de los componentes de aproximación en forma autorregresiva.	33
3.1.3	Experimento 3: Variación de los factores de peso con los componentes de aproximación de forma autorregresiva y $\Omega = 6$	35
3.2	Comparación de los resultados.	37
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.		40
Conclusiones.		40
Recomendaciones.		41
BIBLIOGRAFIA.		42

INTRODUCCIÓN

Con el descubrimiento del teléfono (patentado por Alexander Graham Bell en 1876, aunque luego se reconoció a Antoni Meucci como el primer creador del teléfono) la humanidad dio uno de sus pasos más importantes en el desarrollo de las comunicaciones. Años más tarde comenzaron a crearse compañías telefónicas que extendieron las comunicaciones telefónicas. A partir de finales de los años 40 del siglo XX, empiezan a desarrollarse los primeros sistemas de telefonía móvil civil en los Estados Unidos. El 3 de abril de 1973 se realiza la primera llamada desde un teléfono móvil, por el directivo de Motorola, Martin Cooper (Basterretche, 2007). Paralelamente en la década del setenta del siglo XX se sentaron las bases para la creación del internet. Su aparición y rápido desarrollo ha supuesto una revolución en las comunicaciones. Los investigadores de ciencias de la computación se percataron de que la comunicación por red pronto sería parte crucial de la investigación científica. Para 1994, la internet global incorporaba mas de 3 millones de computadoras en 61 países (Comer, 2007).

En la actualidad el desarrollo de la tecnología y del internet permiten que personas que están a kilómetros de distancia puedan chatear, hablar y realizar videoconferencias con un clic. Hoy en el mundo está cobrando gran auge la tecnología voz sobre IP (VoIP), dado que es muy económico y factible para comunicaciones a largas distancias. En VoIP se trabaja cada día para mejorar la calidad del servicio y la disponibilidad.

La tecnología de VoIP enfrenta problemáticas propias de las redes de datos, que se manifiestan como degradaciones en la calidad del servicio (QoS) percibida por los usuarios. Los usuarios esperan ver satisfechas sus expectativas de calidad del

servicio con independencia de la tecnología utilizada. Estas degradaciones pueden deberse por ejemplo a demoras, variación de la demora (jitter) y pérdidas de paquetes, entre otros factores. Al establecer una comunicación con VoIP, los paquetes emitidos sufren demoras variables en el tiempo (jitter), para recuperar el sincronismo se introduce una demora adicional previa a la reproducción. La demora introducida no puede ser demasiado corta porque los paquetes más retrasados no arribarían antes del instante de reproducción que le corresponde a cada uno de ellos y si fuera demasiado larga se distorsionaría la interactividad de la conversación. De modo que no es posible encontrar un tamaño fijo óptimo para el buffer de reproducción.

La determinación del tamaño del buffer de reproducción es un parámetro importante en la calidad del servicio (QoS). Los mecanismos para la determinación del tamaño de buffer de reproducción más utilizados son los adaptativos. El principio de los algoritmos de reproducción adaptativos es crear buffer en la capa de aplicación en el receptor basados en la predicción de la demora punto a punto, para reducir el impacto de la variación de la demora. Artículos recientes valoran el uso de la Transformada Wavelet en los algoritmos de reproducción adaptativos y sostienen que esta aplicación reduce eficazmente la variación de la demora (Zhong-bo *et al.*, 2008).

La variedad de algoritmos de predicción en mecanismos de buffer de reproducción, el desarrollo de nuevos algoritmos y el avance en el procesamiento de señales, se integran para lograr un mejor nivel de servicio en la telefonía VoIP. En la actualidad no existe consenso en el uso de un mecanismo de reproducción en particular. Teniendo en cuenta los mecanismos de buffer de reproducción adaptativos que tradicionalmente se han utilizado y la aplicación reciente de la Transformada Wavelet como método de predicción, se plantea como interrogante científica:

- ❖ ¿Qué impacto puede tener en la calidad percibida por el usuario el empleo del predictor basado en la Transformada Wavelet en los mecanismos de buffer de reproducción?

Para dar respuesta a la pregunta científica, se ha establecido el siguiente objetivo general:

- ❖ Evaluar el impacto en la calidad percibida por el usuario cuando se emplea el método de predicción basado en la Transformada Wavelet en los mecanismos de buffer de reproducción en redes IP.

En correspondencia con el objetivo general se trazan los siguientes objetivos específicos:

- Investigar la situación que presenta el desarrollo de métodos de predicción para el análisis de series de tiempo.
- Seleccionar un modelo de evaluación que refleje la opinión del usuario respecto a la calidad que percibe en aplicaciones de voz sobre IP.
- Evaluar el método de predicción basado en la Transformada Wavelet.

Organización del informe

El informe de investigación se organiza de la siguiente forma: resumen, introducción, capitulario, conclusiones, recomendaciones y bibliografía.

Introducción: Se realiza una reseña donde se define la necesidad, actualidad e importancia del tema que se aborda.

Capítulo 1: Se exponen las características de la tecnología utilizada para el transporte de voz a través de internet. Se describen varios métodos de predicción, de los cuales hacen uso, los mecanismos de *buffer* de reproducción y se describe la Transformada Wavelet.

Capítulo 2: Se presenta el método de predicción expuestos por Ramjee y otro basado en la Transformada Wavelet. Se exponen las características de las trazas manejadas y del software utilizado, así como las formas de evaluación que se emplean.

Capítulo 3: Presentación y discusión de los experimentos realizados.

Conclusiones: Se describen los resultados obtenidos a partir de los objetivos trazados inicialmente.

Se incluyen las referencias bibliográficas conformando un listado de toda la bibliografía consultada según la norma Harvard.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO.

Este capítulo es el resultado de una revisión bibliográfica donde se detallan los aspectos conceptuales relacionados con el transporte de voz sobre redes IP, mecanismos de buffer de reproducción, métodos de predicción y la Transformada Wavelet.

En la tecnología VoIP, cuando los paquetes de voz son enviados por el emisor, estos son afectados por fenómenos como la demora, la variación de la demora y la pérdida de paquetes. Para compensar estos problemas se utilizan mecanismos de buffer de reproducción en el receptor. Los mecanismos de reproducción, en general, requieren para determinar el instante de reproducción de un método de predicción, el cual estime la demora de la siguiente ráfaga de tal forma que se pueda recuperar el sincronismo entre ellos. Los métodos para la determinación del tamaño del buffer son disímiles, que van desde los descritos por Ramjee (Ramjee *et al.*, 1994) hasta la actualidad donde se propone utilizar, como una más de sus aplicaciones, la Transformada Wavelet como mecanismo de predicción de los buffer de reproducción (Zhong-bo *et al.*, 2008).

1.1. Voz sobre IP

VoIP (*Voice over IP*) es la tecnología empleada para enviar información de voz en forma digital en paquetes discretos a través del Protocolo de Internet conocidos por IP (*Internet Protocol*) por sus siglas en inglés, en vez de hacerlo a través de la red de telefonía tradicional o Red Telefónica Pública Conmutada, mejor conocida como PSTN (*Public Switching Telephone Network*).

La señal de voz es una señal analógica, y es necesario digitalizarla, por tanto se necesitan cuatro pasos para transformar la señal analógica en una señal digital comprimida:

1. Muestreo.
2. Cuantificación.
3. Codificación.
4. Compresión.

-Muestreo: Consiste en tomar muestras de la señal analógica n veces por segundo, es decir, convertir una señal analógica continua a una señal discreta en el tiempo. Según el teorema de Nyquist, es suficiente con tomar muestras de la señal de voz al doble de la frecuencia más alta de la misma, para que la señal muestreada contenga la misma información que la señal original. Debido a que la frecuencia más alta en una señal de voz humana, es aproximadamente 3400 Hz, la frecuencia de muestreo utilizada en un canal de voz es de 8000 Hz, esto significa que se toma una muestra cada $125 \mu s$.

-Cuantificación: En esta etapa se le asigna un valor cuántico a cada muestra de acuerdo a la amplitud de la señal.

-Codificación: A cada valor cuantificado que representa a la señal analógica se le asigna un código binario. Si cada muestra es convertida en un código de 8 bits, se necesita de un ancho de banda de 64 kbps para transportar una señal de voz, por lo que:

$$8\,000 \text{ muestras} \times 8 \text{ bits} = 64\,000 \text{ bits}$$

La codificación permite optimizar el canal de comunicación, debido a que envía la mayor cantidad de información por un solo canal de voz con la mínima pérdida de calidad.

Después del proceso de codificación, la señal digital puede ser transmitida o comprimida antes de su transmisión.

-Compresión: Es el proceso en el cual se transfiriere o almacena información reduciendo la cantidad de bits, esto tiene como ventaja la reducción del tiempo de transmisión de la voz, aunque mientras más comprimida esté la señal de voz, se pierde más la fidelidad de la misma (Hernández & Tzintzun, 2005).

Para poder transmitir las muestras codificadas de voz sobre redes de datos, es necesario armar “paquetes”. Para minimizar la sobrecarga del armado de paquetes y no introducir demoras inaceptables, se toman “ventanas” de 10 a 30ms. Las muestras de voz de cada una de estas ventanas consecutivas se acumulan y con ellas se forman los “paquetes de voz” (Joskowicz & Sotelo, 2005).

Las señales de voz en paquetes de datos que se transmiten por una red IP son encapsuladas en RTP (*Real Time Protocol*). Este protocolo se monta sobre UDP (*User Datagram Protocol*), el que a su vez se monta sobre IP, el cual, en la LAN, viaja típicamente sobre Ethernet (Joskowicz & Sotelo, 2005). En el extremo receptor los paquetes se vuelven a ensamblar y convertir en señales vocales.

El protocolo RTP, basado en el RFC 3550, establece los principios de un protocolo de transporte sobre redes que no garantizan calidad de servicio para datos “de tiempo real”, como por ejemplo voz y video. Cada paquete RTP consiste en una cabecera y los datos de voz. La cabecera contiene números de secuencia, marcas de tiempo, y monitoreo de entrega. Las aplicaciones típicamente utilizan RTP sobre protocolos de red “no confiables”, como UDP. Los “bytes” obtenidos de cada conjunto de muestras de voz o video son encapsulados en paquetes RTP, y cada paquete RTP es a su vez encapsulado en segmentos UDP. RTP soporta transferencia de datos a destinos múltiples, usando facilidades de “*multicast*”, si es provisto por la red. El RFC 3550 establece, además, un protocolo de control, RTCP (*Real Time Control Protocol*), encargado de enviar periódicamente paquetes de control entre los participantes de una sesión.

UDP es un protocolo de transporte de datagramas en el que no se asegura la llegada de paquetes, ni su orden, por lo que debido a esto, en una comunicación de voz se pueden producir problemas. El transporte de voz sobre IP se ve afectado, entre otros, por los siguientes factores que deben ser muy tenidos en

cuenta a la hora de diseñar una infraestructura de VoIP para minimizarlos lo máximo posible. Los principales factores son:

- Pérdida de paquetes: Se producen en las redes IP, principalmente por congestión en la red o por fallos de comunicación y por pérdidas, no referidas solo a la pérdida completa del paquete, que no llega a su destino, sino a la llegada de paquetes después de un tiempo determinado, lo que provoca que el paquete sea inservible y es por tanto descartado.
- *Jitter*: El *Jitter* es la variación en el retardo. En términos simples, es la diferencia entre el tiempo en que llega un paquete y el tiempo en que se cree que llegará el paquete. Entrando más en el funcionamiento de TCP/IP sabemos que los paquetes no llegan a su destino en orden y mucho menos a una velocidad constante, pero el audio tiene que tener una velocidad constante. Para obtener una buena calidad se recomiendan valores de *Jitter* menores de 100 ms.
- Retardo o Latencia: El retardo es la diferencia que existe entre el momento en que una señal es transmitida y el momento en que llega a su destino (Sierra & Rodríguez, 2008).

Para suavizar el efecto perjudicial de jitter, antes mencionado, es necesaria la presencia de un buffer en el receptor, cuya tarea consiste en recuperar el sincronismo de los paquetes; de tal forma que se pueda recuperar la periodicidad con que fueron transmitidos.

1.2 Mecanismos de buffer de reproducción

Existe una relación evidente entre el tamaño del *buffer* y su capacidad para recuperar el sincronismo entre los paquetes. Cualquier paquete que arribe con una demora superior a la prevista en el *buffer* de reproducción es descartado. Un *buffer* grande permite absorber una gran variación en la demora con una mínima razón de pérdidas de paquetes en el receptor. Al mismo tiempo, introduce una demora adicional en la conexión que puede afectar de forma

apreciable la calidad del servicio. Un buffer pequeño no introduce retardos adicionales significativos pero aumenta la Razón pérdida de paquetes (figura 1.1).

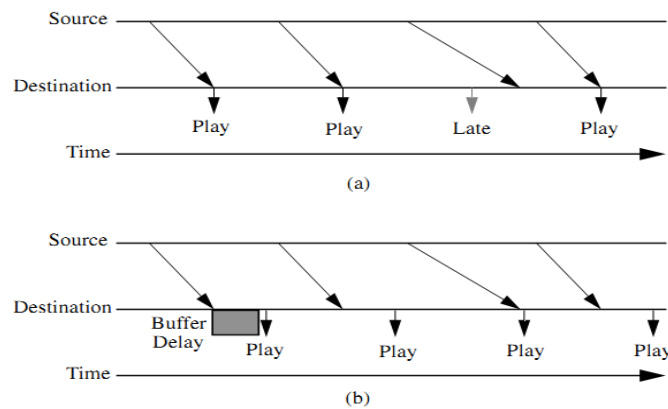


Figura. 1.1 Problema del instante de reproducción: a) paquetes que arriban tarde, b) solución usando un buffer en el receptor (DeLeon & Sreenan, 1999).

Los mecanismos de buffer de reproducción se clasifican dentro de dos grandes grupos, atendiendo a si el *buffer* es fijo o adaptativo. Para la técnica de *buffer* fijo, la demora de extremo a extremo se mantiene constante durante toda la comunicación. Esta solución no es consistente con la variabilidad de la demora en las redes de paquetes y trae consigo pérdidas de calidad, de modo que no existe un tamaño fijo óptimo para el buffer de reproducción. Por el contrario, con la técnica de *buffer* adaptativo, es posible ajustar la demora a las condiciones de la red. Esto evita que se introduzca una demora excesiva cuando las condiciones son favorables y viceversa. Para lograrlo, es necesario monitorear la conversación y adecuar el tamaño del *buffer*.

La mayoría de los algoritmos de *buffer* de reproducción adaptativos asumen: 1) que la demora total de la red no debe exceder un máximo aceptable y 2) el tamaño del *buffer* de *jitter* que se escoge debe resultar en una Razón de pérdida de paquetes determinada (Atzori, 2006).

Las técnicas adaptativas pueden clasificarse de acuerdo al momento en que se ajusta el *buffer* de reproducción.

La vertiente intra-ráfagas modifica la demora de extremo a extremo durante la conversación, ya sea dentro del período de actividad o durante el de silencio (y no necesariamente al principio de la ráfaga).

Aunque acomodar la demora de reproducción durante los periodos de actividad es ventajoso en el caso en que la demora de red varíe atendiendo a una dinámica muy alta, también implica un procesamiento complejo de la señal de audio.

Cuando el ajuste se realiza inter-ráfagas, el cambio del tamaño del *buffer* se produce solo durante los intervalos de silencio. Cualquier variación en la demora de reproducción es introducida por la expansión o compresión artificial de los períodos de silencio al comienzo de la ráfaga. Este tipo de ajuste provee efectividad limitada cuando las ráfagas son largas y la variación de la demora de red entre ellas es grande, no obstante los algoritmos de *buffer* de reproducción más utilizados son los adaptativos pues permiten establecer un tamaño de *buffer* según el comportamiento de la red y reaccionar rápidamente a cambios persistentes en el rendimiento la red a través de métodos de predicción.

Aun cuando se han propuesto diferentes métodos de predicción en mecanismos de buffer de reproducción, hasta la fecha no existe consenso en cuanto a un único algoritmo que se aplique por todos los fabricantes (Alejandro & C. A. R. López, 2012).

1.3 Métodos de predicción.

Los mecanismos de reproducción, en general, requieren para determinar el instante de reproducción de un método de predicción, el cual estime la demora del siguiente paquete. La búsqueda de un método de predicción adecuado parte del análisis del comportamiento matemático de la demora y variación de la demora en redes IP. Se puede tratar la demora y la variación de la demora como una serie de tiempo, es decir, una secuencia de datos típicamente medidos en instantes sucesivos de tiempo y espaciados en intervalos de tiempo uniformes.

De acuerdo a esto, las formas de predicción en algoritmos de buffer de reproducción descrito en (Ramjee *et al.* 1994) están basado en el método de análisis de serie de tiempo autorregresivo (AR) donde la demora estimada para el

siguiente paquete, la variación de la demora y la demora de extremo a extremo se obtienen por medio de las expresiones (1.1) y (1.2) respectivamente.

$$d_i = \alpha d_{i-1} + (1 - \alpha) n_i \quad (1.1)$$

$$\begin{cases} v_i = \alpha v_{i-1} + (1 - \alpha) |d_i - n_i| \\ D_i = d_i + \beta v_i \end{cases} \quad (1.2)$$

Donde n_i es el retraso del paquete actual, D_i es la demora de extremo a extremo, β es el factor de seguridad usado para definir la relación de compromiso entre la demora de extremo a extremo y la pérdida de paquetes fijado originalmente a 4 y α es un factor de peso igualado a 0.998002 en el algoritmo original. Del valor de α depende si el predictor le da más peso a la historia más antigua o a las observaciones recientes (Ramjee *et al.* 1994). De acuerdo al valor de α seleccionado el filtro será ágil (α bajo) o estable (α alto), pero usar un valor fijo del parámetro α impide al predictor cumplir con ambos requerimientos.

Como ninguna de las dos propiedades es deseable todo el tiempo, en (Kim & Noble, 2001) se proponen el uso de un filtro Flip-Flop, lo cual no es más que dos filtros, uno ágil y otro estable. Un controlador emplea el filtro ágil cuando es posible, pero regresa al estable cuando las observaciones son inusualmente ruidosas.

Siguiendo la idea de variar el parámetro α para conseguir que el filtro sea ágil cuando sea posible, pero estable cuando sea necesario en (Narbutt & Davis. 2005) se propone usar un α que varía de acuerdo a determinada función que, hasta donde se conoce, no se ha publicado.

Como métodos de predicción también se han ido ganando favor los estimadores basados en DIAR (*Diferencial Integrated Moving Average*), ARMA (*Autoregressive Moving Average*) y GARCH (*Generalised Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*).

Recientemente se ha sugerido el uso de la transformada Wavelet (Zhong-bo, 2008) como base para los métodos de predicción. Ampliamente empleada para el procesamiento de imágenes y en el campo de la Biomédica.

1.4 Transformada Wavelet.

Una “Wavelet” es una forma de onda de duración limitada, que además tiene un valor promedio de cero. Las wavelets son funciones matemáticas que separan los datos en diferentes componentes frecuenciales, y luego estudian cada componente con una resolución adecuada a su escala (Montoro, 2005).

La Transformada Wavelet es una herramienta matemática desarrollada a mediados de los años 80. Esta Transformada es eficiente para el análisis local de señales no estacionarias y de rápida transitoriedad y, al igual que la Transformada de Fourier con Ventana, mapea la señal en una representación de tiempo-escala. El aspecto temporal de las señales es preservado. La diferencia está en que la Transformada Wavelet provee análisis de multiresolución con ventanas dilatadas. El análisis de las frecuencias de mayor rango se realiza usando ventanas angostas y el análisis de las frecuencias de menor rango se hace utilizando ventanas anchas. La Transformada Wavelet se define como:

$$W_f(s, \tau) = \int f(t) \psi_{s, \tau}^*(t) dt. \quad (1.3)$$

Las Wavelets son generadas a partir de la traslación y cambio de escala de una misma función wavelet $\psi(t)$, llamada la “*Wavelet madre*”, y se define en 1.4. Estas funciones permiten reconstruir la señal original a través de la Transformada Wavelet inversa (Sheng, 1996).

$$\psi_{s, \tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t - \tau}{s}\right) \quad (1.4)$$

Donde s es el factor de escala, y τ es el factor de traslación.

Las wavelets $\psi_{s, \tau}(t)$ generadas de la misma función wavelet madre $\psi(t)$ tienen diferente escala s y ubicación τ , pero tienen todas la misma forma. Se utilizan siempre factores de escala $s > 0$. Las Wavelets son dilatadas cuando la escala $s > 1$, y son contraídas cuando $s < 1$. Así, cambiando el valor de s se

cubren rangos diferentes de frecuencias. Valores grandes del parámetro s corresponden a frecuencias de menor rango, o una escala grande de $\psi_{s, \tau}(t)$. Valores pequeños de s corresponden a frecuencias de menor rango o una escala muy pequeña de $\psi_{s, \tau}(t)$ (Daubechies, 1992).

La Transformada Wavelet no es solamente local en tiempo, sino también en frecuencia. De acuerdo con las aplicaciones específicas, se utilizan diferentes tipos de transformadas wavelet. Para las señales continuas se utiliza la Transformada wavelet continua y desarrollos en series de wavelets; para las señales discretas en el tiempo se emplea la Transformada Wavelet discreta (DWT) (Rioul & Vetterli, 1991).

La DWT se utiliza en el procesamiento de señales “*multirate*” o de tasa de muestreo múltiple, donde se combinan diferentes frecuencias de muestreo. La DWT se relaciona con esquemas de codificación sub-bandas y gracias a esta propiedad se utiliza en la codificación (compresión) de señales e imágenes (Rioul & Vetterli, 1991).

La Transformada de Wavelet Discreta (DWT), proporciona suficiente información tanto para el análisis como para la sintaxis de la señal original, ya que descarta información redundante de la señal y evita la aparición de señales falsas. (Montoro, 2005).

Dado que las señales de voz que se transmiten en una red IP están discretizadas, la DWT se emplea como base para el método de predicción sustentado en la Transformada Wavelet que se explora en este trabajo.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación se profundiza en algunos métodos de predicción comenzando por los cuatro propuestos por Ramjee y un predictor propuesto recientemente sustentado en la Transformada Wavelet Dinámica el cual se implementará en Matlab.

Para la evaluación es necesario contar con trazas, que reflejen el comportamiento de la demora. Las trazas pueden ser obtenidas por medio de pruebas de campo, por emulación o por simulación, siendo esta última la forma empleada en este trabajo. Las trazas son obtenidas de acuerdo a la Recomendación G1050 de la UIT-T y reflejan niveles de severidad que van desde entornos nobles hasta otros más críticos.

El criterio de evaluación con el cual se mide el desempeño de determinado método de predicción más comúnmente aceptado es el Modelo E definido por la ITU – T G.107 para la estimación de la calidad de las llamadas de voz IP, un modelo donde a partir de parámetros de la red se obtiene una variable intermedia, el factor R, que luego es convertido a un valor MOS (*Mean Opinion Score*), el cual en una escala de uno a cinco refleja el nivel de satisfacción del usuario con la aplicación de VoIP.

2.1 Matlab versión 7.6

Matlab (MATrix LABoratory) es un sistema interactivo basado en matrices para desarrollo científico y de ingeniería. Esta aplicación se concibe inicialmente como “laboratorio de matrices” y en la actualidad tiene capacidades superiores a la concepción original, además posee varias librerías especializadas denominadas *toolbox*. Este programa es una de las aplicaciones más útiles que existen para la puesta a punto de algoritmos y métodos numéricos en distintas aplicaciones de ingeniería.

La función fundamental de este software en el desarrollo del proyecto recae en la implementación de un algoritmo como predictor para buffer de reproducción y el cálculo del factor R. Inicialmente se implementó el algoritmo expuesto en (Zhong-bo *et al.*, 2008); a este algoritmo se le realizaron modificaciones que tenían como objetivo mejorar el desempeño de este predictor. El software seleccionado se justifica por la versatilidad y la posibilidad de graficar los resultados para su mejor comprensión. Esta herramienta permitió, una vez obtenido los resultados, calcular el factor R, que es convertido posteriormente en un valor MOS.

2.2 Métodos para la obtención de trazas.

Un problema común en cuanto a los algoritmos es la forma en que los mismos se evalúan. Tradicionalmente se han seguido dos alternativas. Usando trazas reales obtenidas en escenarios concretos, o mediante simulación de eventos discretos. Cada uno de los cuales tiene sus puntos a favor y en contra.

2.2.1 Obtención de trazas a través de pruebas de campo.

Las pruebas de campo constituyen un método para la obtención de trazas que pueden ser muy útiles en la evaluación de un algoritmo cualquiera, pero para aplicar este método es necesario tener una red con las características del escenario donde se desee realizar la evaluación. Generalmente las trazas representan escenarios puntuales y el resultado dice en última instancia como es el desempeño del algoritmo en ese escenario. Otro inconveniente es la poca flexibilidad con respecto a los parámetros, lo que resultaría interesante tener en cuenta en el momento de exponer los resultados.

2.2.2 Obtención de trazas por emulación.

La emulación es un método muy usado en la actualidad por sus potencialidades. Mediante este se pueden diseñar diversos experimentos. El principal inconveniente está en que el acceso a los principales *testbed* está restringido o es muy costoso. Algunos de los *testbed* de más renombre en el campo de la investigación son Orbit, MobiNet, APE, MobiEmu.

2.2.3 Obtención de trazas por simulación.

La obtención de trazas por simulación se ha usado por varios investigadores debido a sus palpables potencialidades a la hora de comparar resultados, pues con este método se pueden variar parámetros de manera fácil y sin ningún costo y de ahí se pueden obtener valiosos análisis comparativos.

2.3 Recomendación G1050 de la UIT-T.

En el año 2007 se propuso un modelo que estadísticamente evalúa el desempeño de la transmisión multimedia sobre redes IP, la Recomendación G1050 de la UIT-T. Es un modelo estadístico en el que se le asignan probabilidades de ocurrencia a los elementos y deterioros de la red. Los resultados que se obtienen de aplicar esta Recomendación se expresan en términos de cobertura del modelo. Es importante destacar que este modelo se enfoca en el impacto de las deficiencias en el desempeño a nivel de red (nivel IP).

Los parámetros y deficiencias que afectan la calidad de servicio y el desempeño de la red IP, declarados en la Recomendación, son los siguientes:

- Arquitectura de la red.
- Tipo de enlace de acceso.
- QoS controlada por enrutamiento de borde.
- Tamaño de la MTU.
- Fallas de la red.
- Fallas de los enlaces.
- Conmutación de rutas.
- Reordenamiento de paquetes.

- Pérdida de paquetes y tramas.
- Latencia (demora en un sentido).
- Variación de la demora (*jitter*).
- Características del tráfico (congestión, ancho de banda, utilización, carga de la red, reparto de carga).

Los fabricantes de equipos de comunicaciones y los proveedores de servicios están interesados en una especificación que les permita determinar la eficiencia de redes IP características. Los evaluadores están interesados en un conjunto simple de experimentos con los que puedan medir la eficiencia de los equipos de comunicaciones de diferentes fabricantes. Por lo cual el objetivo principal de la Recomendación es definir un modelo independiente de la tecnología que sea representativo de una red IP, que pueda ser simulada con una complejidad razonable y que facilite tiempos de evaluación prácticos.

Se especifica un modelo de red IP y entornos útiles para evaluar y comparar diferentes equipos de comunicaciones conectados a una red convergente de área amplia. Los flujos IP procedentes de cualquier tipo de dispositivo pueden ser evaluados usando este modelo. Entre los que están los teléfonos IP, incluidos los “*softphones*”.

Los entornos de prueba combinan elementos de una LAN (*Local Area Network*), elementos de acceso y del núcleo de la red en una manera realista para crear los deterioros de la capa de red que llevan a experimentar pérdida de paquetes o variación de la demora.

Debido a que el enlace de acceso puede ser asimétrico y los paquetes que viajan en una dirección pueden encontrar secciones del modelo en un orden diferente a aquellos que viajan en la otra dirección, los daños en cada dirección pueden ser diferentes. La red IP se modela como una concatenación de cinco segmentos. Cada segmento introduce su propio aporte a la pérdida de paquetes y a la variación de la demora. El esquema de extremo a extremo para el modelo se ilustra en la figura 2.3.

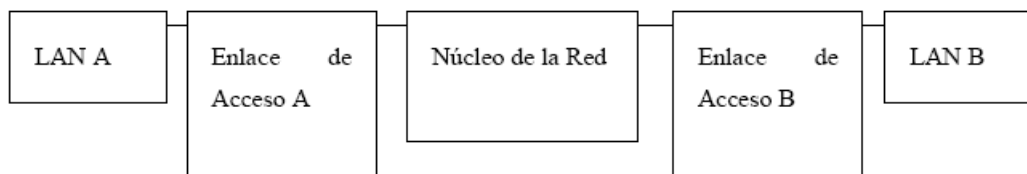


Fig. 2.3 Diagrama de Red asociado al modelo propuesto en la Recomendación G1050 (Roque, 2011).

Otros parámetros que afectan la demora de extremo a extremo, el *jitter* y la calidad de la aplicación incluyen:

- Tamaño del paquete.
- Velocidad de generación de los paquetes en la fuente asumiendo flujos isócronos.
- Algoritmos de compresión.
- Algoritmos PLC (*Packet Loss Concealment*).
- Tamaño y tipo del *buffer* de *jitter*.

Detección de actividad de voz.

2.3.1 Características de las trazas obtenidas.

A partir de la implementación del modelo propuesto en la Recomendación G.1050 se obtuvieron 8 trazas. Cuatro de ellas se muestran en la figura 2.4. Las trazas están compuestas por 12 000 paquetes lo que corresponde a cuatro minutos de conversación. La tabla 2.1 resume la combinación de parámetros que se utilizaron para generar las 8 trazas. Cada traza está asociada a un nivel de severidad diferente. De la figura 2.4 se aprecia que, como era de esperar, la demora y la variación de la demora se incrementan en la medida en que sube el nivel de severidad. Otros detalles sobre las características de las trazas de voz son las siguientes:

- Tamaño del paquete: 200 bytes (140 bytes corresponden a 20 ms de audio más 40 byte de cabecera) simulando el códec G.711.
- Inserción de momentos de silencio, en las trazas obtenidas por el modelo propuesto por la Recomendación G.1050, con la Recomendación P-59.

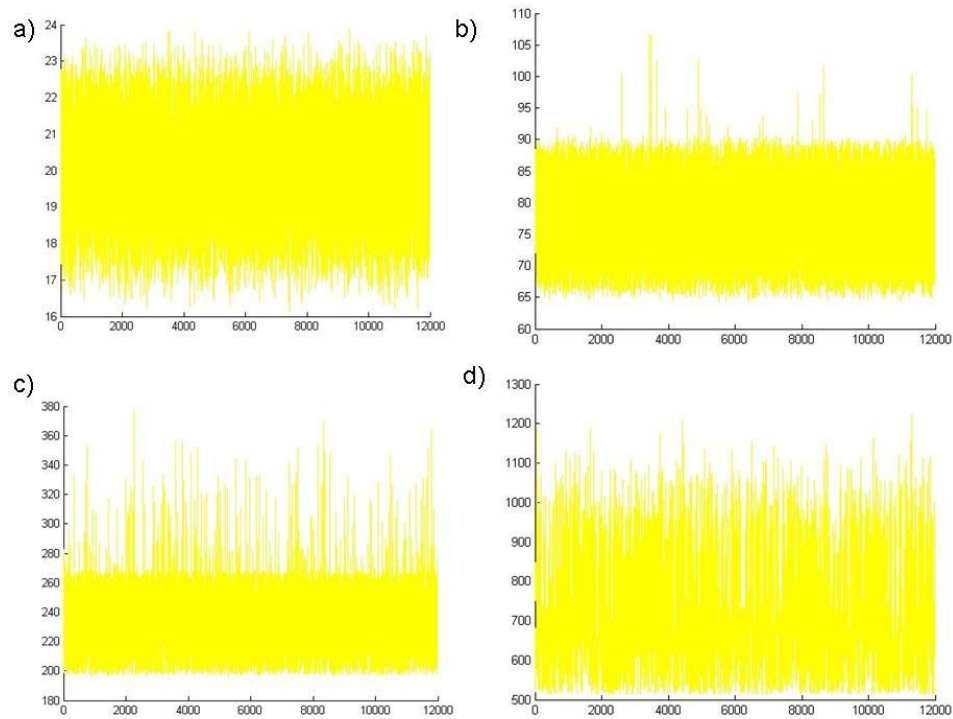


Fig. 2.4 Cuatro de las 8 trazas obtenidas a partir del modelo: a)-nivel 1, b)-nivel 3, c)-nivel 5, d)-nivel 7.

Tabla 2.1 Detalles de las Trazas.

Deterioro	Traza							
	1	2	3	4	5	5	7	8
Ocupancia de la red LAN (%)	1	2	3	5	8	12	16	20
Ocupancia de la red por Acceso (%)	0	1	2	4	8	15	30	50
MTU (bytes)	512	512	1508	1508	1508	1508	1508	1508
Intervalo de cambio de ruta (s)	0	3600	1800	900	480	240	120	60
Demora de cambio de ruta (ms)	0	2	4	8	16	32	64	128
Demora del núcleo de la red (ms)	16	32	64	128	196	256	512	768
Jitter (pico a pico) (ms)	5	10	24	40	70	100	150	500
Intervalo de fallo de enlace (s)	0	3600	1800	900	480	240	120	60
Duración del fallo de enlace (ms)	0	64	128	256	480	800	1600	3000
Pérdida de paquetes (%)	0	0.01	0.02	0.04	0.01	0.2	0.5	1
Reordenamiento de paquetes (%)	0	0.00025	0.0005	0.001	0.005	0.001	0.05	0.1

2.4 Algoritmos de Ramjee.

Aunque se han propuesto muchas formas para el cálculo del instante de reproducción, el trabajo presentado por *Ramjee* en 1994 es uno de los más explorados. Para este algoritmo el ajuste de parámetros se realiza entre ráfagas de audio. Para el primer paquete de cada ráfaga la demora de extremo a extremo se obtiene a partir de (2.1).

$$D_0 = d_i + \Omega v_i \quad (2.1)$$

Donde d_i es la demora estimada para el siguiente paquete, v_i es la variación de la demora y Ω es el factor de seguridad usado para definir la relación de compromiso entre la demora de extremo a extremo y la pérdida de paquetes. Su valor fue fijado originalmente a 4.

Para los demás paquetes de esa misma ráfaga la demora de extremo a extremo se obtiene por medio de (2.2), donde t_i es una marca de tiempo colocada por el transmisor al paquete.

$$D_i = t_i + D_0 \quad (2.2)$$

Para obtener el estimado de la demora *Ramjee* propuso cuatro algoritmos. Después de obtener el estimado de la demora empleando uno de los cuatro algoritmos de *Ramjee*, la variación de la demora para cualquiera de ellos se calcula según la expresión (2.3), en la que n_i es la demora de red experimentada por el paquete i , y el factor de peso α es seleccionado de acuerdo al método que se emplee.

$$v_i = \alpha v_{i-1} + (1 - \alpha) |d_i - n_i| \quad (2.3)$$

En el primero de los algoritmos de *Ramjee* la demora para el paquete i es calculada usando un mecanismo propuesto por (Jacobson, 1988) para estimar el tiempo RTT (*Round-Trip-Time*) en conexiones TCP (*Transport Control Protocol*). Este algoritmo es básicamente un filtro recursivo lineal que se caracteriza por el factor α , que pondera las observaciones pasadas o las recientes.

El segundo algoritmo es una pequeña modificación del primero que tiene como objetivo lograr que el mecanismo reaccione más rápidamente cuando la demora en la red se incrementa. La idea es usar diferentes valores de α , uno para la tendencia hacia el incremento del retardo, y el otro para la tendencia a la disminución del retardo.

El tercer algoritmo tiene un enfoque un poco diferente. Se fundamenta en utilizar el retardo mínimo de todos los paquetes recibidos en la ráfaga de audio anterior ($k-1$) como el retardo medio.

El cuarto algoritmo incluye la detección de picos de retardo. Un pico constituye un aumento repentino y elevado del retraso de red de extremo a extremo y está seguido de una serie de paquetes que llegan casi simultáneamente, conduciendo a la finalización del pico.

Los primeros algoritmos no se adaptan lo suficientemente rápido en el caso de los picos, tomando mucho tiempo para aumentar sus estimaciones del retardo y para disminuirla cuando el pico se acaba. Este nuevo método tiene dos modos de operación, dependiendo de si se ha detectado un pico. Para cada paquete que llega al receptor, el algoritmo comprueba el modo actual y en caso necesario, cambia su modo. Si un paquete llega con un retardo mayor que el umbral dado (por ejemplo un cierto múltiplo del actual retardo), el algoritmo cambia al modo de pico. La detección de la terminación del pico hace uso de una variable “*var*” para ajustar la pendiente del pico. Cuando su valor es bastante pequeño, el algoritmo regresa al modo normal.

2.5 Método de predicción basado en la Transformada Wavelet.

Tomar la diferencia en una serie de tiempo inevitablemente introduce errores que limitan la precisión de la predicción. El uso de la Transformada Wavelet puede mejorar el rendimiento de los predictores de series de tiempo no estacionarias debido a su habilidad para capturar las características de la variación en el tiempo.

La Transformada Wavelet Dinámica para una señal $f(t)$ queda definida, según (Zhong-bo *et al.*, 2008) como:

$$DWTf(j, b) = 2^{-j/2} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \varphi^*[2^{-j}(t-b)] dt$$

Donde j y b son los parámetros de dilatación y ubicación respectivamente y $\varphi(t)$ es la función Wavelet básica dada.

Con la Transformada Wavelet Dinámica, son extraídas de la señal original los componentes de detalle y los de aproximación. En principio, es similar al análisis de Fourier, pero en lugar de usar senos y cosenos para la descomposición de la señal original, se emplean funciones que capturen mejor el comportamiento local de una serie de tiempo no estacionaria. Filtros paso alto y paso bajo apropiados son aplicados a la señal en cada nivel para producir dos secuencias en el siguiente nivel. Cada una de las nuevas secuencias tendrá la misma longitud que la original. En la figura 2.2 se ilustra la descomposición en tres niveles de la señal $f(t)$, que puede ser representada a partir de la suma de una componente de aproximación y tres componentes de detalle: $f(t) = a_3 + d_3 + d_2 + d_1$. Las componentes de aproximación capturan las características de bajas frecuencias de los datos, y en las componentes de detalle se reflejan las de altas frecuencias.

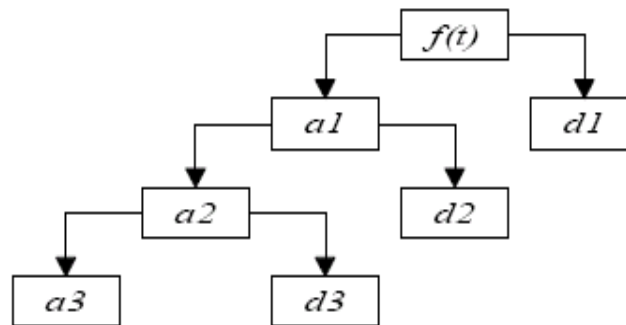


Fig. 2.1 Descomposición Wavelet de tres niveles de $f(t)$ (Zhong-bo *et al.*, 2008).

El método de predicción que se sustenta en el empleo de la Transformada Wavelet Dinámica propuesto en (Zhong, 2008) puede ser descrito en los siguientes pasos:

- 1- Se descompone la serie de tiempo de la demora en dos niveles con la Transformada Wavelet usando la función Wavelet básica *Daubechies db3*, de modo que la señal original queda dividida en dos componentes de

detalle y una de aproximación: $n(i) = a_2 + d_2 + d_1$. Donde $n(i)$ es la serie de la demora original, a_2 y d_2 son la componente de aproximación y la de detalle respectivamente del segundo nivel, y d_1 es la componente de detalle del primer nivel. En la figura 2.2 se muestra un ejemplo de descomposición Wavelet. Aparecen tanto la componente de aproximación como las de detalle, además de la señal original.

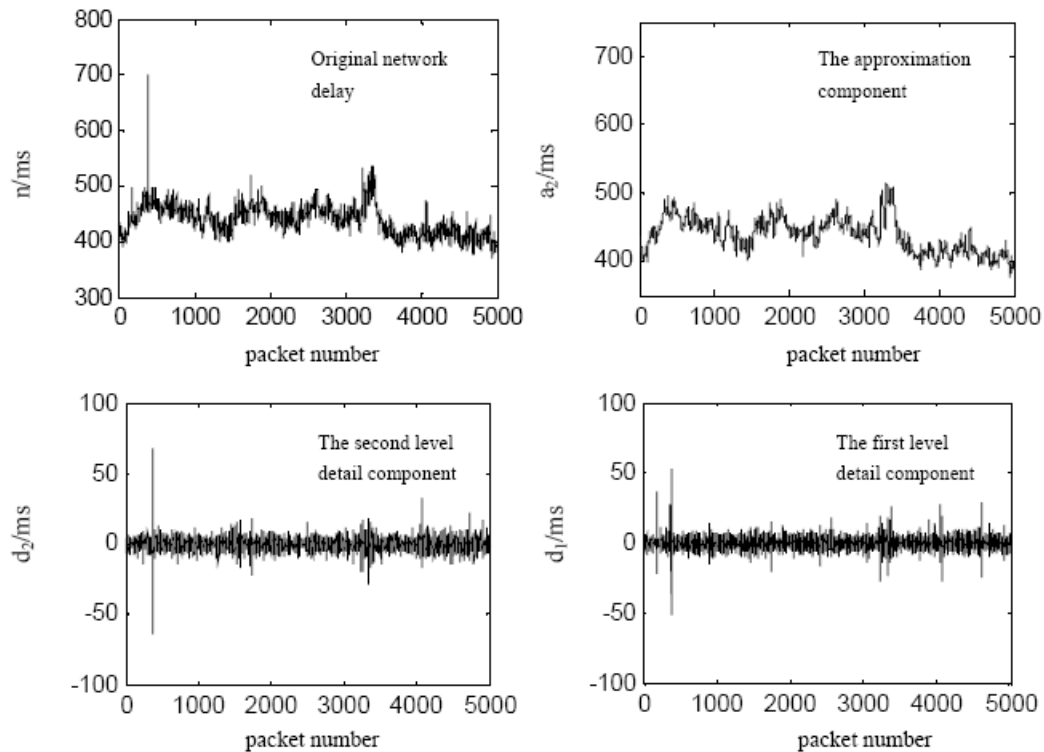


Fig. 2.2 Serie de tiempo de la demora y las componentes resultantes de aplicarle la Transformada Wavelet (Zhong-bo *et al.*, 2008).

- 2- Se aplica a cada componente de detalle un filtro AR (autorregresivo). Usar los métodos de predicción con las componentes individuales permite que la precisión de la predicción sea mayor, debido a que las disímiles componentes capturan diferentes características de los datos originales.

Para la componente de detalle del segundo nivel, se emplea el filtro descrito en (2.4).

$$s^i = \alpha_2 s^{i-1} + (1 - \alpha_2) d_2^i \quad (2.4)$$

Donde s^i es el estimado AR de la componente de detalle del segundo nivel para el paquete i , d_2^i es la componente de detalle del segundo nivel para el paquete i y el factor de peso α_2 se toma con valor 0.1; de forma tal que se adapte a los cambios rápidos en la red.

El filtro propuesto para la componente de detalle del primer nivel de descomposición queda definido en la ecuación (2.5).

$$m^i = \alpha_1 m^{i-1} + (1 - \alpha_1) |d_1^i| \quad (2.5)$$

En (2.5) se escoge α_1 con valor 0.98; con el fin de otorgarle estabilidad al predictor, m^i es el estimado AR de la componente de detalle del primer nivel para el paquete i y d_1^i es la componente de detalle del primer nivel para el paquete i . Se usa el valor absoluto de d_1^i para reducir la probabilidad de desbordamiento del *buffer*.

3- Se obtiene la demora de reproducción a partir de las componentes de detalle filtradas y la componente de aproximación según la expresión (2.6), en la que a_2^i es la componente de aproximación del segundo nivel de descomposición para el paquete i ; s^i es el estimado AR de la componente de detalle del segundo nivel para el paquete i ; m^i es el estimado AR de la componente de detalle del primer nivel para el paquete i y Ω es el factor de seguridad, usado para ajustar la demora de extremo a extremo y la Razón de pérdida de paquetes.

$$D_i = a_2^i + s^i + \Omega m^i \quad (2.6)$$

Este método de predicción basado en la transformada wavelet fue desarrollado inicialmente por (Zhong-bo et al., 2008).

Sobre esta base se desarrolló un código en Matlab para analizar y mejorar dicho mecanismo de predicción. Entre los cambios realizados para obtener mejoras está, la variación de los valores de los factores de peso α_1 y α_2 y el factor de seguridad Ω en el cálculo de la ecuación (2.4) y (2.5), así como la obtención de a_2^i , estimador AR, de los componentes de aproximación de nivel 1. La variación

de estos parámetros debe ser la adecuada con el fin de obtener un resultado óptimo; para lograr esto se variaron cada uno de los parámetros de forma independiente y se analizó su comportamiento individual y en conjunto.

2.5.1 Variación del factor de seguridad.

En el algoritmo propuesto por (Zhong-bo et al., 2008) se utiliza un factor de seguridad Ω fijo, expresión (2.6), al igual que en el trabajo presentado por Ramjee en 1994, expresión (2.1). En otro trabajo realizado por (C. A. R. López et al. 2010) se propone un Ω variable, es decir desarrolla un algoritmo que varia Ω según el comportamiento de las demoras. Una de las pruebas a realizar es en este trabajo es variar Ω hasta obtener un valor óptimo para el algoritmo WTAR.

2.5.2 Variación de los factores de peso.

Los factores de peso, son parámetros que se le fijan a los filtros y de esta forma definen si el predictor va ser más ágil o más estable según convenga, Ramjee propone en uno de sus algoritmos un filtro recursivo lineal que pondera las observaciones pasadas o las recientes, en el WTAR se trabaja con dos factores, α_1 y α_2 uno para componentes de detalle uno y otro para los componentes de detalles dos, expresiones (2.4 y 2.5) (Zhong-bo et al., 2008). Los componentes de detalle de una descomposición Wavelet son los valores de la descomposición que responden a los cambios bruscos y los de aproximación son los de una respuesta más suave, por lo tanto se decidió variar α_1 y α_2 para lograr valores óptimos en función de obtener un mejor compromiso de estabilidad y agilidad.

2.5.3 Pruebas con los componentes de aproximación en forma autorregresiva.

En (Zhong-bo et al., 2008) después de la descomposición son obtenidos los componentes de detalle, estos son utilizados en la expresiones (2.4 y 2.5) para la obtención de los estimadores autorregresivos si y mi y los componentes de aproximación son utilizados solo en la obtención de la demora de reproducción según la expresión (2.6). Se propone la obtención de otro estimador autorregresivo, a^i utilizando los componentes de aproximación y sustituirlo en la expresión (2.6).

2.6 Formas subjetivas de evaluación del buffer de reproducción.

De forma subjetiva la calidad de audio puede ser evaluada directamente (*Absolute Category Rating-ACR*), o en forma comparativa contra un audio de referencia (*Degradation Category Rating-DCR*).

Con evaluaciones directas (del tipo ACR) se califica el audio con valores entre uno y cinco, siendo cinco “Excelente” y uno “Malo”. El valor obtenido con las técnicas ACR puede estar sujeto al tipo de experimento realizado. Por ejemplo, si se utilizan varias muestras de buena calidad, una en particular puede ser calificada peor que si esa misma muestra se presenta junto a otras de más baja calidad.

La metodología de evaluación subjetiva más ampliamente usada es el MOS (*Mean Opinion Score*), estandarizada en la recomendación ITU-T P.800. El MOS puede calcularse como el promedio de los ACR medidos entre un gran número de usuarios.

Si la evaluación es comparativa, (del tipo DCR), el audio se califica también entre uno y cinco, siendo cinco cuando no hay diferencias apreciables entre el audio de referencia y el medido y uno cuando la degradación es muy molesta. El promedio de los valores DCR es conocido como DMOS (*Degradation MOS*).

Adicionalmente, se puede evaluar la calidad del audio y la calidad de la conversación, las que pueden ser diferentes. La calidad de la conversación implica una comunicación bidireccional, donde, por ejemplo, los retardos juegan un papel muy importante en la calidad percibida.

Los métodos subjetivos son, en general, caros y lentos porque requieren un gran panel de usuarios. Son dependientes entre otros factores del país, del idioma y de las experiencias previas de los usuarios.

2.7 Formas objetivas de evaluación del buffer de reproducción.

De las formas anteriormente expuestas se obtienen el MOS (Mean Opinion Score) a partir de pruebas subjetivas, sin embargo, también puede ser obtenido por métodos objetivos que se fundamenten en la medida de parámetros de la red tales como la demora, la pérdida de paquete y el jitter. El cálculo del MOS se

basa en el Modelo E definido por la International Telecommunications Union-Telecommunication Standardization (UIT-T por sus siglas en inglés o ITU-T por sus siglas en español).

2.7.1 Modelo E.

El modelo E definido por la ITU – T G.107 es ampliamente aceptado como un método objetivo para la estimación de la calidad de las llamadas de voz IP. El modelo E usa un conjunto de parámetros de entrada para calcular una variable intermedia, el factor R, el cual es seguidamente convertido a un valor MOS.

Los parámetros de entrada que contribuyen en una manera aditiva a la estimación de la calidad son:

- R_0 : Representa la Relación señal a ruido básica (antes de que la señal ingrese en la red). Las fuentes de ruido independientes del sistema como el ruido ambiente, disminuyen este valor.
- I_s : Contiene todos los deterioros relativos a la grabación de la voz tales como, la distorsión de cuantización y volumen bajo o excesivo de la voz.

R_0 e I_s son intrínsecos a la señal de voz en la entrada de la red y no dependen de ésta.

- I_d : Abarca las degradaciones causadas por el retardo y el eco.
- $I_{e,eff}$: *Effective equipment impairment factor*. Representa las degradaciones producidas por los *codecs* y las pérdidas de paquetes causadas por la trayectoria de transmisión a través de la red.
- A : Factor de ventaja particular de la tecnología; lo que significa que el usuario está dispuesto a aceptar una peor calidad de voz a cambio de facilidad de acceso. Permite compensar los factores de degradación cuando existen otras ventajas de acceso para el usuario.

Todos estos parámetros se relacionan por medio de la ecuación:

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_{e,eff} + A \quad (2.7)$$

La ecuación (2.9) se puede reescribir en función de I_d y de $I_{e,eff}$ quedando de la forma:

$$R = 93.2 - I_d - I_{e,eff} \quad (2.8)$$

El MOS estimado para una conversación se puede obtener mediante el factor R a partir de (2.9):

$$MOS_{CQ} = \begin{cases} 1, & R < 0 \\ 1 + 0.035R + R(R - 60)(100 - R)7 \cdot 10^{-6}, & 0 < R < 100 \\ 4.5, & R > 100 \end{cases} \quad (2.9)$$

La tabla 2.2 muestra la relación que existe entre el valor del Factor R, el MOS y la satisfacción de los usuarios.

Tabla 2.2 Equivalencia entre el MOS estimado y el factor R.

<i>Nivel de satisfacción</i>	<i>Factor R (límite inferior)</i>	<i>MOS (límite inferior)</i>
Muy satisfecho	90	4.34
Satisfecho	80	4.03
Algunos usuarios insatisfechos	70	3.60
Muchos usuarios insatisfechos	60	3.10
Casi todos insatisfechos	50	2.58
No recomendado	0	1

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En este capítulo se expondrán los resultados de los experimentos realizados de variar los valores de los factores de seguridad y de peso, así como la utilización de los componentes de aproximación para el cálculo de un nuevo estimador autorregresivo. La evaluación se realiza usando el Modelo E a partir de los parámetros de la red. La forma que se utiliza para evaluar es la de calcular el factor R a partir de los parámetros promedios para cuatro minutos de conversación. Sin embargo, este valor promedio no arroja claridad en cuanto al comportamiento durante toda la conversación. Por esta razón en el trabajo se calcula el factor R “instantáneo” dividiendo el tiempo de conversación en segmentos de 10s (corresponden a 500 paquetes para *codec* G.711 con 20ms cada uno) y calculando el factor R a partir de los parámetros medios de cada segmento. Posteriormente se calcula el MOS a partir del factor R según la expresión (2.9). La valoración se realiza sobre la base de la comparación.

3.1 Pruebas realizadas

Las trazas obtenidas representan el comportamiento de la demora en entornos de red, que van desde ser muy favorables como en el caso de la traza de primer nivel (demoras inferiores a 25ms), hasta escenarios muy hostiles como refleja la traza de nivel siete, donde la demora alcanza valores en el rango de lo intolerable (demoras de más de 1s), perdiéndose la interactividad de la conversación por lo que los resultados de los experimentos que se recogen son de las pruebas realizadas con las trazas correspondientes a el nivel cinco de severidad, ya que arrojan mucha luz respecto al rendimiento de los predictores, porque este es un

nivel, en el que las demoras en la red tienen valores significativos, sin llegar a ser intolerables (Alejandro & C. A. R. López, 2012).

En experimentos realizados por (Alejandro & C. A. R. López, 2012) donde utiliza varios algoritmos de predicción para buffer de reproducción, obtiene mejores resultados cuando los valores del buffer son inicializados con valores diferentes de cero, por lo que en este trabajo, los valores de demora son inicializados con un incremento del 20% de la demora del primer paquete.

3.1.1 Experimento 1: Variación del factor de seguridad.

En los predictores antes mencionados se utiliza un factor de seguridad (Ω) con un valor igual 4, a excepción de lo expuesto por (C. A. R. López *et al.* 2010) que propone un factor de seguridad variable. En este experimento se le asignan valores progresivos al factor Ω de la expresión 2.6, utilizada en el cálculo de la demora en el algoritmo propuesto por (Zhong-bo *et al.*, 2008), en lo adelante algoritmo original. De los resultados obtenidos, Figura 3.1, se puede apreciar que la calidad percibida (escala MOS) varía en función de los valores de Ω .

Como se ilustra en la Figura 3.1, la calidad percibida se incrementa con el aumento del factor de seguridad (Ω), hasta alcanzar el valor de $\Omega = 6$. A partir de este valor el MOS promedio va decayendo. Obviamente, $\Omega = 6$ ofrece el mejor compromiso entre la perdida de paquetes y la demora adicional introducida por el buffer de reproducción. Nótese que, tanto la demora como la perdida de paquetes, impactan la calidad percibida y que las mismas se reflejan en la escala MOS.

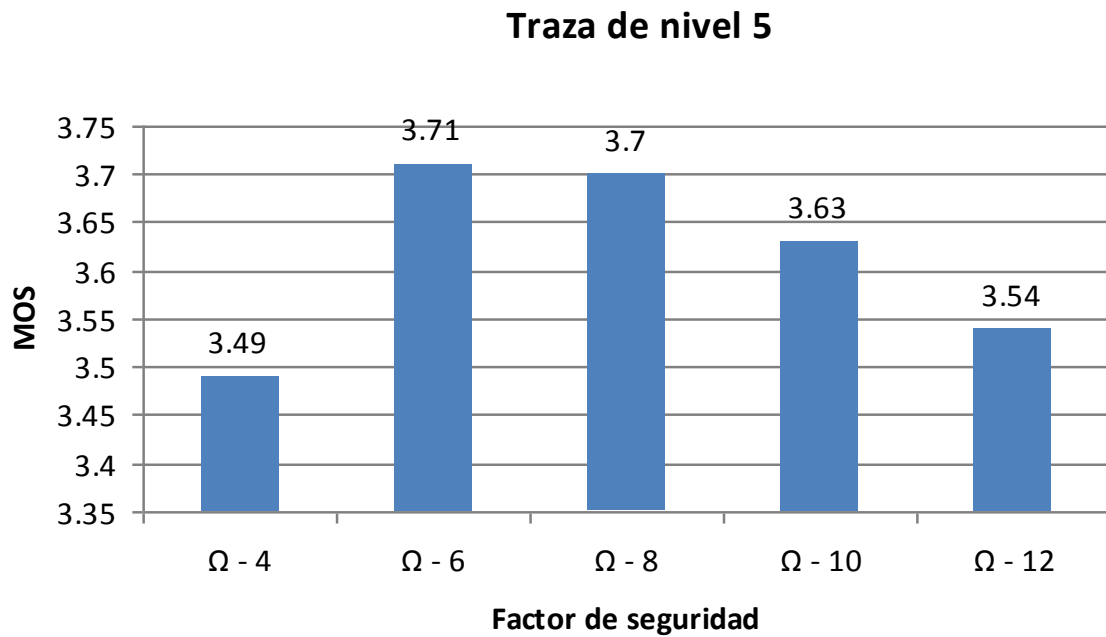


Figura 3.1. MOS promedio para distintos valores de Ω .

Es importante tener en cuenta que puede suceder, que el valor óptimo de Ω varíe para diferentes niveles de severidad. En (C. A. R. López *et al.* 2010) se obtienen diferentes valores de Ω óptimo para diferentes niveles de severidad y se explica dicho resultado atendiendo a los valores medios de la demora y a la variación de la demora en cada uno de dichos niveles.

En la Figura 3.2 se realiza una comparación, atendiendo al MOS instantáneo, entre el algoritmo original y los resultados obtenidos para diferentes valores de Ω en una traza de nivel 5 de severidad.

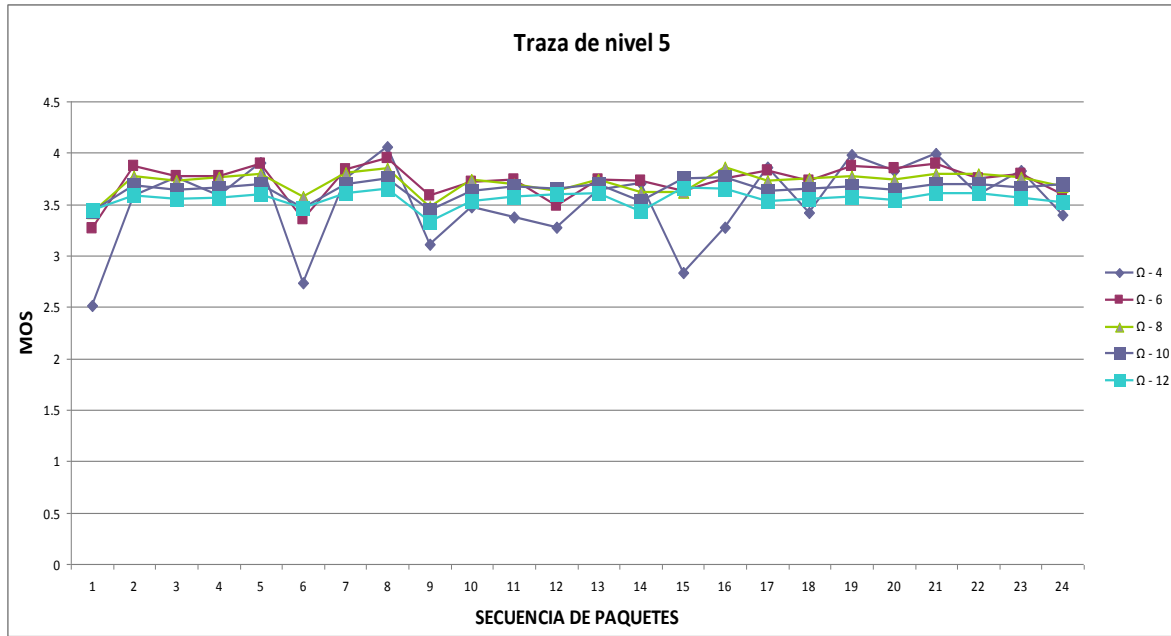


Figura 3.2. MOS instantáneo para distintos valores de Ω .

Cada valor de MOS instantáneo representa un intervalo de 10 segundos. El objetivo que se persigue en esta figura es el de permitir un seguimiento del comportamiento en el tiempo de los algoritmos en comparación.

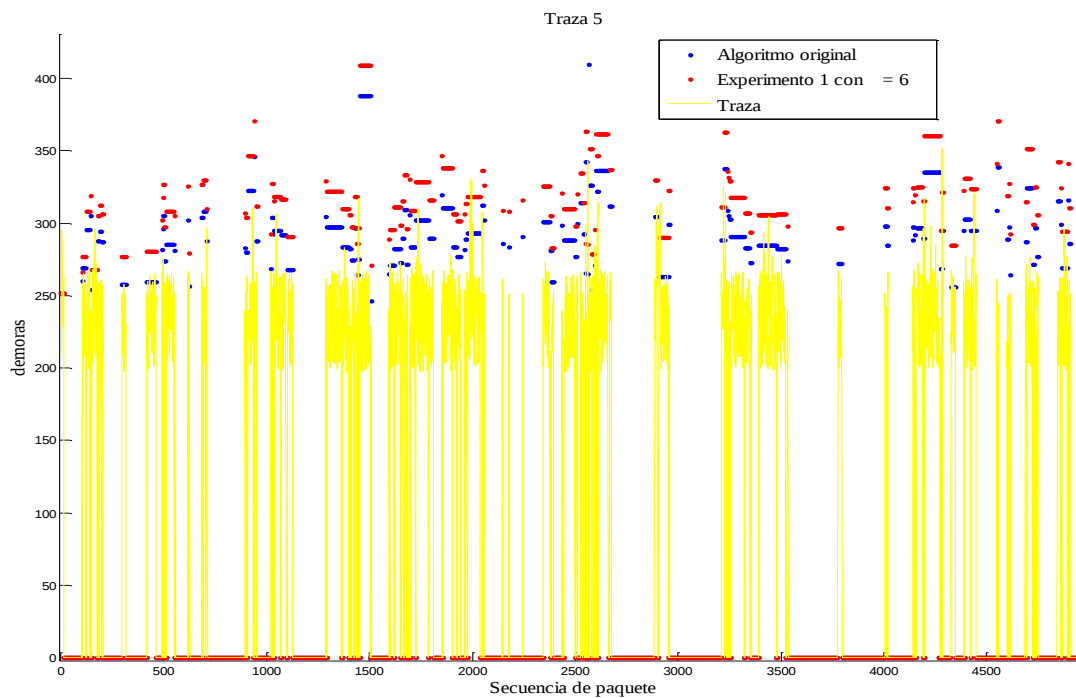


Figura 3.3. Comportamiento de Algoritmo Original y de Experimento 1 sobre el histograma de la demora para la traza de nivel cinco.

En la Figura 3.3 se observa el comportamiento del algoritmo original y el experimento 1 con un $\Omega = 6$. Obsérvese que el algoritmo modificado del experimento 1 tiende a sobrestimar la demora con respecto al algoritmo original, disminuyendo la pérdida de paquetes sin provocar un aumento excesivo en la demora adicionada por el buffer de reproducción. El equilibrio alcanzado entre la demora y la pérdida de paquetes, se traduce en un aumento en el factor R y por consiguiente del indicador MOS.

3.1.2 Experimento 2: Prueba del uso de los componentes de aproximación en forma autorregresiva.

Para este experimento se mantienen los valores originales propuestos por (Zhongbo et al., 2008) pero se le agrega el cálculo de una nueva variable, a_2^i que se determina al igual que si en la fórmula 2.4, solo que en vez de utilizar los valores de los componentes de detalles 2, son utilizados los componentes de aproximación A_2^i .

$$a_2^i = \alpha_2 a_2^{i-1} + (1 - \alpha_2) A_2^i \quad (3.1)$$

Donde a_2^i es el estimado autorregresivo de los componentes de aproximación. Al incorporar esta fórmula al algoritmo original, cuando se calcula el MOS promedio se obtienen mejores resultados, 3.56.

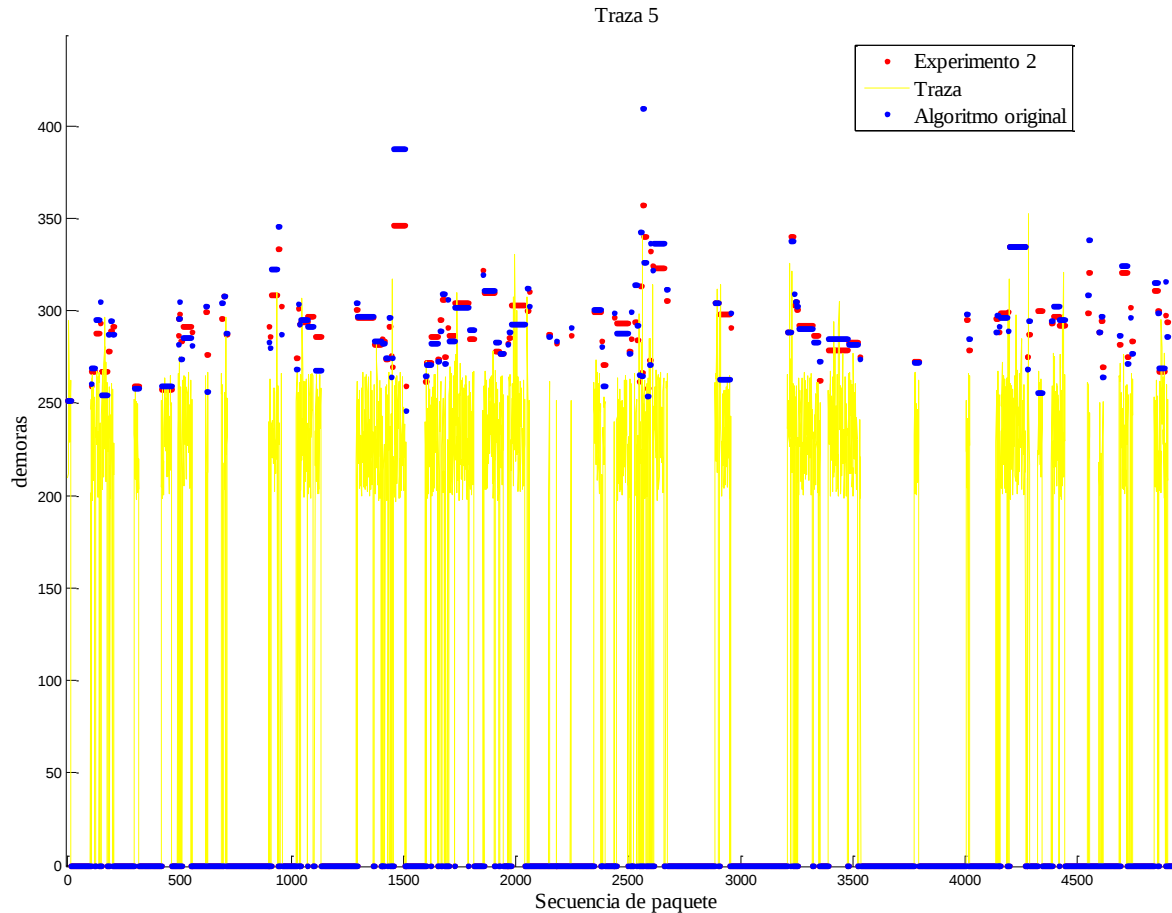


Figura 3.4. Comportamiento de Algoritmo Original y de Experimento 2 sobre el histograma de la demora para la traza de nivel cinco.

En la Figura 3.4 se puede ver la posición del buffer para ambos casos y obsérvese que con este nuevo experimento se ajusta más a las demoras introduciendo menos tiempo de espera, pero esto trae consigo el aumento de la pérdidas de paquetes que es uno de aspectos antes mencionados que afectan la calidad de la telefonía IP y por consiguiente el MOS.

Los resultados que se obtienen con este experimento superan a los del algoritmo original ya que se obtienen un MOS promedio de 3.56, pero no supera al experimento 1 donde se obtienen un MOS promedio de 3.71 antes expuesto.

3.1.3 Experimento 3: Variación de los factores de peso con los componentes de aproximación de forma autorregresiva y $\Omega = 6$.

Después de observar los resultados del experimento 1 y el experimento 2 que con el cálculo de la fórmula 3.1 y su sustitución en la fórmula 2.6 el predictor se ajusta más a las demoras pero como consecuencia aumenta la pérdida de paquetes, se propone, en este nuevo experimento, usar las modificaciones de los experimentos antes mencionados y variar los valores de los factores de peso que definen la agilidad y estabilidad del predictor o sea que pondera las observaciones pasadas o las recientes.

Inicialmente en esta prueba se tomaron los valores expuesto por (Zhong-bo *et al.*, 2008) para los factores de peso, y se fueron variando estos valores hasta lograr un valor del MOS promedio que superara los experimentos anteriores. Después de realizar varias pruebas se determinó que con $\alpha_1 = 0.98$ y $\alpha_2 = \alpha_3 = 0.6$ se obtuvo el mejor MOS promedio, 3.75 y se logra un mejor compromiso entre las demoras introducidas y la razón de pérdidas de paquete, que este último solo alcanza a un 0.26%.

En el cálculo del estimado autorregresivo de los componentes de detalles 1, m^i , se utiliza un $\alpha_1 = 0.98$ y en el calculo de el estimador autorregresivo de los componentes de detalles 2, s^i y de aproximación 2, a^i , se utiliza $\alpha_2 = \alpha_3 = 0.6$ respectivamente.

En la Figura 3.5 aparece el comportamiento de los predictores original y el experimento 3 sobre el histograma de la demora para la traza de nivel cinco de severidad. Nótese como con este experimento se logra que el predictor se torne un poco más estable sin dejar de adaptarse en buena medida a los cambios que sufre la red.

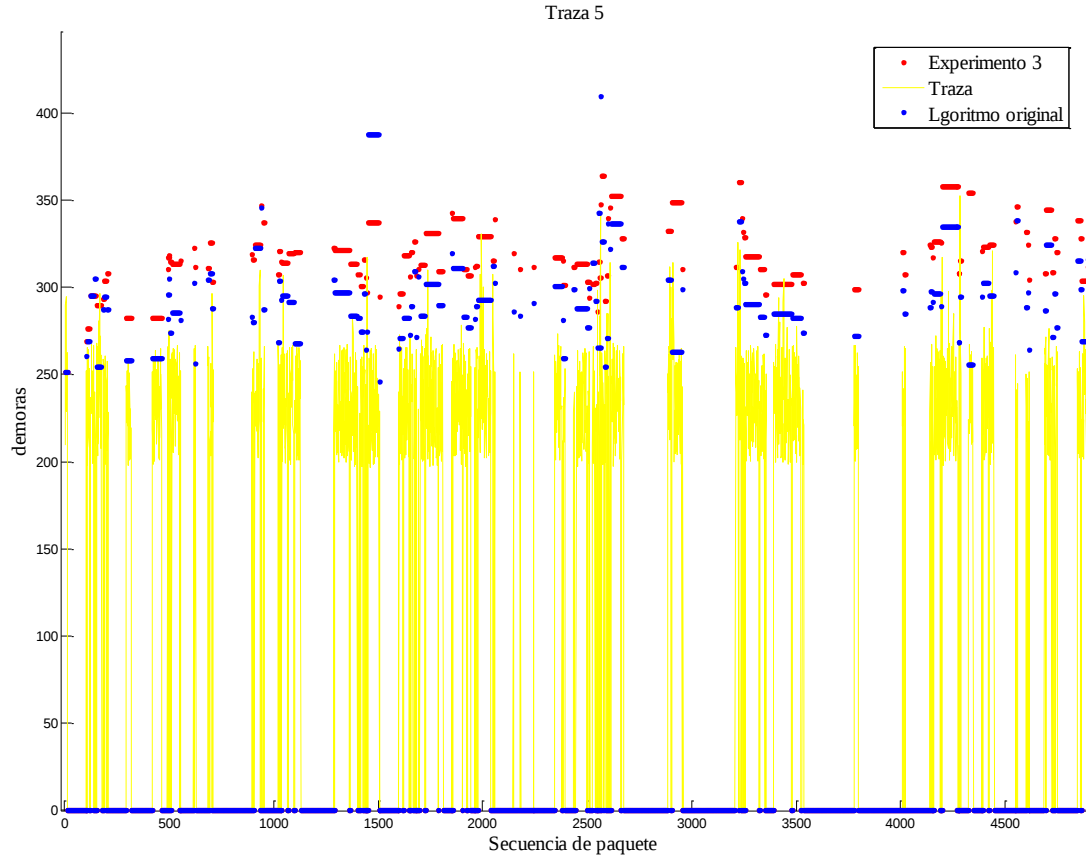


Figura 3.5. Comportamiento de Algoritmo Original y de Experimento 3 sobre el histograma de la demora para la traza de nivel cinco.

En la Figura 3.6 están expuestos los valores del MOS instantáneo, y véase que en más del 90% de la conversación este algoritmo está en el rango de 3.55 a 3.95 que, por lo establecido en la Tabla 2.2, está en un nivel de satisfacción de, “Algunos usuarios insatisfechos”.

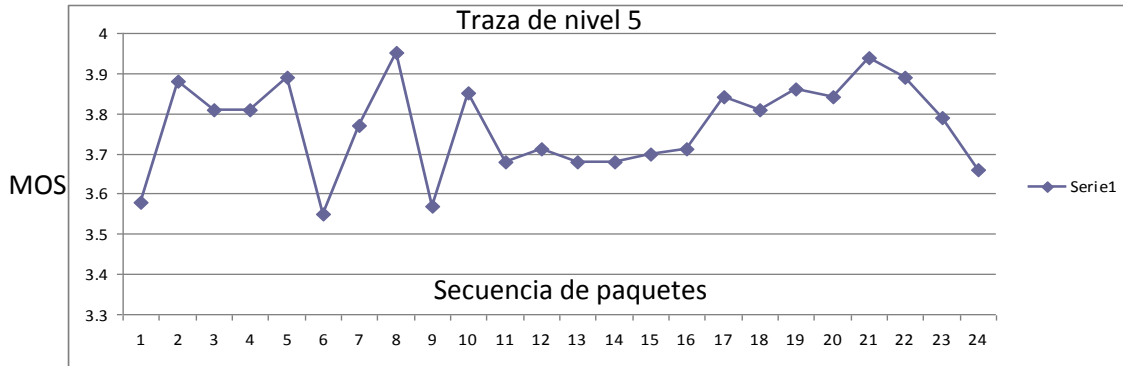


Figura 3.6. MOS instantáneo con los componentes de aproximación de forma autorregresiva, $\Omega = 6$ y $\alpha_1 = 0.98$ y $\alpha_2 = \alpha_3 = 0.6$.

Por lo tanto, con las variaciones propuestas, se obtiene una mejor respuesta del algoritmo de predicción, reflejada en los resultados del MOS promedio e instantáneo calculados a partir de factor R.

3.2 Comparación de los resultados.

Tras analizar el algoritmo original y las respectivas modificaciones antes realizadas, se puede decir que con el experimento tres fueron obtenidos los mejores resultados como se aprecia en la Figura 3.7. En esta figura se reflejó de forma comparativa el algoritmo original y los tres experimentos antes expuestos.

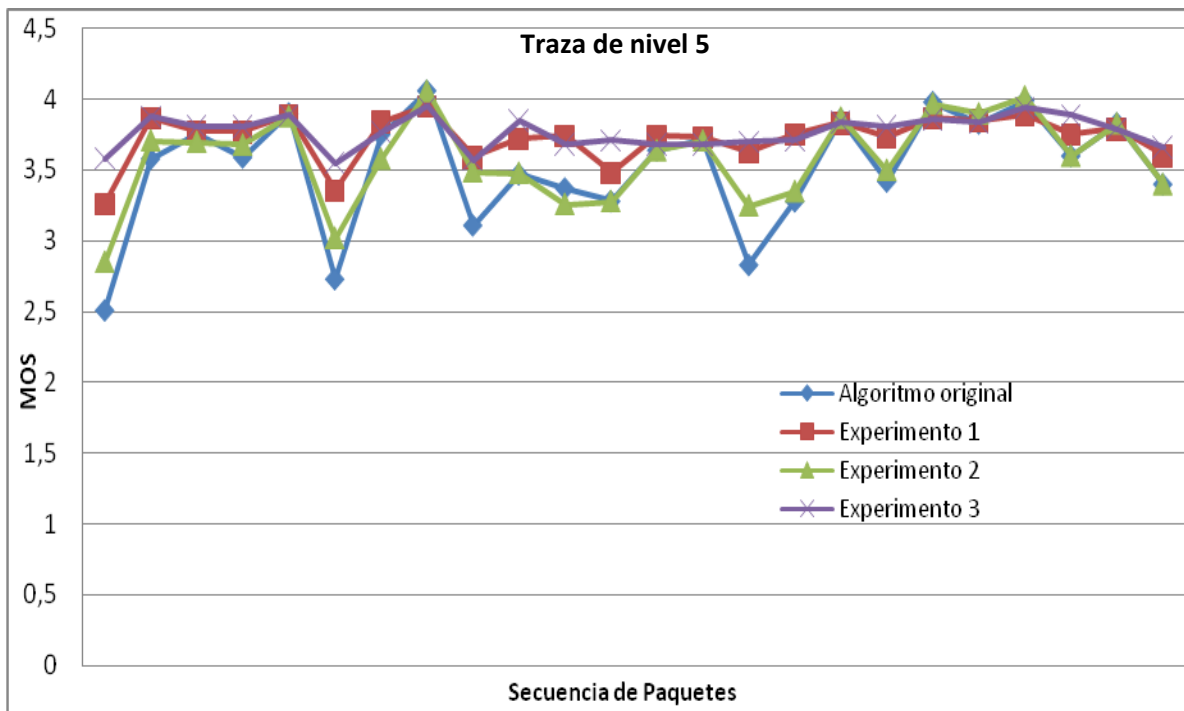


Figura 3.7. MOS instantáneo para el algoritmo original y los 3 experimentos.

Véase que en la mayoría de los cambios que se experimentan en la conversación, el experimento 3, es el que mejor responde, con una mejora sustancial con respecto al algoritmo original como se aprecia en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Resumen de los resultados para la traza de nivel cinco de severidad del algoritmo original y el experimento 3.

<i>Nivel de satisfacción</i>	<i>Factor R (límite inferior)</i>	<i>MOS (límite inferior)</i>	<i>Algoritmo original</i>	<i>Experimento 3</i>
Muy satisfecho	90	4.34	No se alcanza.	No se alcanza.
Satisfecho	80	4.03	4,1%	No se alcanza.
Algunos usuarios insatisfechos	70	3.60	45,8%	91,6%
Muchos usuarios insatisfechos	60	3.10	41,6%	8,3%
Casi todos insatisfechos	50	2.58	8,3%	Nunca cae hasta aquí.
No recomendado	0	1	Nunca cae hasta aquí.	Nunca cae hasta aquí.

El algoritmo original posee un 8.3% del tiempo de conversación en la categoría de “Casi todos los usuarios insatisfechos”, cuando el Experimento 3 nunca cae hasta ahí. El 87% del tiempo de conversación cuando es usado el algoritmo original está distribuida, casi de forma equitativa, en las casillas de “Muchos usuarios insatisfechos” y “Algunos usuarios insatisfechos”, cuando el Experimento 3 se ubica en un 91.6%, para casi la totalidad de su desempeño, en el peldaño de “Algunos usuarios insatisfechos”.

Los resultados representados en la Tabla 3.1, muestran claramente que las modificaciones realizadas al algoritmo original, permiten elevar de forma apreciable la calidad de la conversación percibida por los usuarios.

En la figura 3.7 se puede observar el momento de reproducción del buffer, sobre el histograma de la demora para la traza de nivel cinco, de cada uno de los algoritmos antes expuestos. El algoritmo del experimento 3 es el que logra un mejor compromiso entre la pérdida de paquetes y las demoras introducidas.

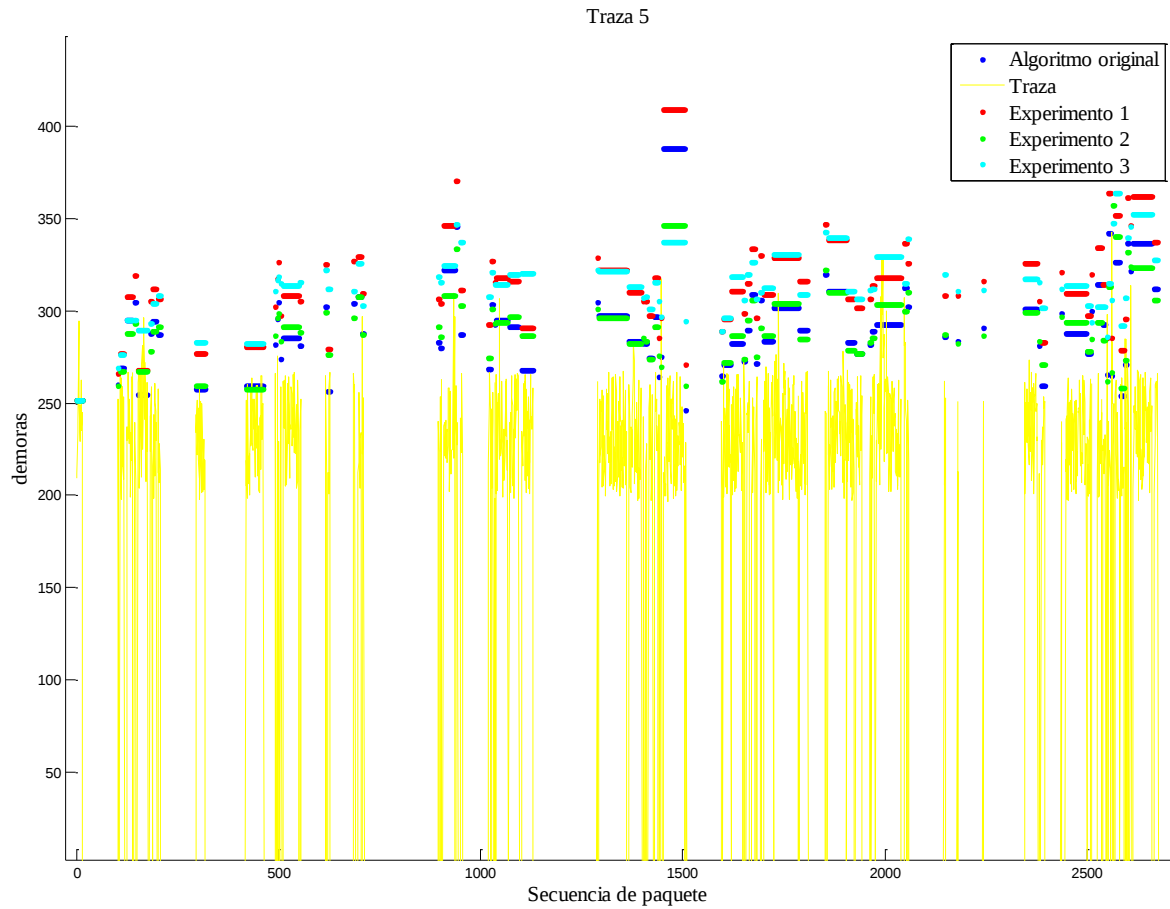


Figura 3.7. Comportamiento de los algoritmos sobre el histograma de la demora para la traza de nivel cinco.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

En este trabajo de diploma se hizo la evaluación, mediante simulación, de variaciones realizadas al algoritmo de predicción, empleado en mecanismos de buffer de reproducción, para aplicaciones de voz sobre IP expuesto por (Zhong-bo *et al.*, 2008), arribándose a las siguientes conclusiones:

1. El factor de seguridad con un valor ajustado para trazas de diferentes niveles de severidad logra un compromiso adecuado entre la pérdida de paquetes y las demoras introducidas por el buffer de reproducción.
2. El Modelo E constituye una herramienta adecuada para la evaluación del impacto en la calidad percibida por los usuarios, en función del desempeño de diferentes estrategias para el ajuste del buffer de reproducción.
3. El desempeño del Algoritmo original con las modificaciones realizadas en el experimento 3, muestra resultados donde el MOS se ve favorecido cuantiosamente.
4. Los resultados alcanzados estimulan la realización de estudios posteriores con respecto al uso de la Transformada de Wavelet como predictor en mecanismos de buffer de reproducción.

Recomendaciones

La Transformada Wavelet en el terreno de la telefonía IP, con su uso adecuado, se obtienen resultados positivos, pero su implementación todavía puede ser más explorada en aras de mejorar este servicio, por lo que se recomienda:

1. El uso de la Transformada de Wavelet como predictor en mecanismos de buffer de reproducción impone nuevas exigencias en cuanto a capacidad de procesamiento en el terminal de VoIP. Se recomienda realizar estudios en este sentido.
2. Analizar el desempeño de este predictor con otras Wavelet Madres.
3. Estudiar el trabajo, de la Transformada Wavelet, como predictor en mecanismos de buffer de reproducción, a otros niveles de descomposición.
4. Experimentar si para otros niveles de severidad se mantiene un $\Omega = 6$, como optimo, en el desempeño del predictor.

BIBLIOGRAFIA

- ALEJANDRO DIAZ & C. A. R. López, D. 2012. "Evaluación de métodos de predicción en mecanismos de buffer de reproducción." Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Eléctrica.
- ATZORI, L. 2006. Playout Buffering IP Telephony: A Survey discussing Problems and Approaches. *IEEE Communications Surveys&Tutorials*, Vol. 8, pp. 36-46.
- BASTERRETCH, J.F. 2007. Dispositivos Móviles. Trabajo de Adscripción. Universidad Nacional del Nordeste Facultad de Ciencias Exactas, Naturales y Agrimensura. Argentina.
- C. A. R. Lopez, V. A. Reguera, E. M. G. Fernandez and W. Godoy, Classical Playout Buffer Algorithm Revisited, Proc. SBRC 2010, pp. 673-682, May. 2010, available at http://sbrc2010.inf.ufrgs.br/anais/data/pdf/trilha/st14_02_artigo.pdf.
- COMER, D. 2007. Redes globales de información con Internet y TCP/IP Principios básicos, protocolos y arquitectura. Vol. 1, pp. 9.
- DE LEON, P. & SREENAN, C. 1999. An Adaptive Predictor for Media Playout Buffering.
- GARITA RIVAS, C. 2005. Parámetros actuales y nuevas tendencias en Calidad de Servicio (QoS) en el mercado de la Telefonía sobre IP (VoIP). Universidad de Costa Rica Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Eléctrica.

- HERNÁNDEZ, O. & TZINTZUN, R. E. Comportamiento y estudio dinámico de aplicaciones de VoIP en una red de interconexión de área metropolitana. Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ingeniería.
- I DAUBECHIES. 1992. "Ten Lectures on Wavelets". The Society for Industrial and Applied Mathematics.
- ITU-T 2007. G.1050. *SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS*.
- JOSKOWICZ, J. & SOTELO, R. 2005. Medida de la calidad de voz en redes IP. Available: <http://iie.fing.edu.uy/~josej/docs/Medida%20de%20la%20calidad%20de%20voz%20en%20redes%20IP.pdf>.
- KIM, M. & NOBLE, B. 2006. Mobile Network Estimation. Available: http://www.google.com.cu/url?sa=t&rct=j&q=Mobile+Network+Estimation&source=web&cd=1&ved=0CFkQFjAA&url=http%3A%2F%2Fcite-seerx.ist.psu.edu%2Fviewdoc%2Fdownload%3Fdoi%3D10.1.1.90.1600%26rep%3Drep1%26type%3Dpdf&ei=r0rbT8n6B-q_6AGqlc2-Cw&usq=AFQjCNGXGFbJrs04VyXjkzgrn8kVb5G0oA [Accessed 29 marzo 2012].
- MONTORO GARCIA, M. 2005. "Sistema móvil de monitoreo para el filtrado de imágenes a color". Escuela Superior de Mecánica y Eléctrica. México D.F.
- MOON, S., KUROSE, I. & TOWSLEY, D. 1998. Packet Audio Playout Delay Adjustment: Performance Bounds And Buffer Optimization VoIP Networks. *ACM Springer Multimedia System*, Vol. 6, pp. 17-28.
- NARBUTT, M. & MURPHY, L. 2004. Improving Voice Over IP Subjective Call Quality. *EEE Commun. Letters*, Vol. 8, No. 5, pages 308-10.
- RAMJEE, R., KUROSE, J., D., T. & H., S. 1994. Adaptive Playout Mechanisms for Packetized Audio Applications in Wide-Area Networks. *INFOCOM*. Toronto, Canada.

-
- RIOUL O & VETTERLI M. 1991. Wavelet and Signal Processing. IEEE SP Magazine
- SIERRA RODRÍGUEZ, A. 2008. Instalación de un sistema VoIP corporativo basado en Asterisk. Proyecto Fin de Master. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación Universidad Politécnica de Cartagena.
- Y. SHENG. 1996. "The Transforms and Applications Handbook". CRC Press.
- ZHONG-BO, L., TAO, T., SHENG-HUI, Z. & JING-MING, K. 2008. Wavelet Transform Based Adaptive Payout Algorithm for VoIP.