

Capítulo V

Comportamiento dinámico

5.1 Introducción

Medir los parámetros de red nos ayudan a caracterizar el tráfico existente, la utilización y el flujo del mismo. Hacer este tipo de mediciones es un paso crucial pues ayuda a analizar el estudio del desempeño de la red. Se realizó la evaluación de la red en diferentes escenarios para observar el comportamiento y rendimiento del equipo y así poder dar una idea de cuál es la mejor forma de implementar servicios VoIP en una red.

Las medidas se deben de hacer para routers, switches y enlaces en el peor de los casos, esto es cuando la red está más saturada. Con las herramientas de medición se pueden obtener diversos tipos de medidas y estadísticas.

Para poder saber de que es capaz nuestra red y qué tipo de desempeño podemos esperar debemos establecer los umbrales recomendados y siempre pensar en el posible crecimiento de la red. Los umbrales recomendados son:

- Retraso de principio a fin menor de 150 ms.
- Pérdida de paquetes menor a 1 %.

Por estas consideraciones es de suma importancia no utilizar por completo todos los recursos de red.

VoIP es limitado por dos métricas importantes: la primera es el ancho de banda disponible, y la segunda, el retardo de inicio a fin. El número de llamadas de VoIP en la red está directamente relacionado con estas métricas.

5.2 Cálculo de ancho de banda para una llamada VoIP

El cálculo de ancho de banda para una llamada VoIP es de suma importancia, ya que con él se puede estimar el ancho de banda necesario en un enlace para poder brindar un servicio con una calidad adecuada. Para ello se debe tomar en cuenta el número de llamadas simultáneas que se harán en la red, evidentemente pensando en que la red puede crecer y también que hay otro tipo de tráfico circulando en ella.

Para el cálculo del ancho de banda requerido en una llamada VoIP se toma en cuenta lo siguiente:

- Códec utilizado.
- Tamaño de encabezados de capa 3 y capa 4.
- Implementación de cRTP [1],[3] Y [4]
- Tamaño de encabezado capa 2, ya sea PPP, Frame Relay, Ethernet, etc.
- Implementación de VAD (detección de actividad de voz).

Para el cálculo de ancho de banda utilizado al realizar una llamada VoIP se llevan a cabo los siguientes pasos:

1. Calcular el tamaño del paquete de voz, incluyendo datos y encabezados de capa 4, 3 y 2.

$$L_{paquete} = Payload\ voz + Enc. 4 + Enc. 3 + Enc. 2$$

Donde:

Payload voz = Depende del códec utilizado.

Enc. 4 + Enc. 3 = Enc. IP + Enc. UDP + Enc. RTP = 20 + 8 + 12 = 40 bytes

Enc. 2 = Encabezado PPP = 6 bytes + 1 byte de termino de trama

Para el códec G.711, que fue el más utilizado, el tamaño del paquete de voz es:

$$L_{paquete} = 160 + 40 + 7 = 207 \text{ bytes}$$

NOTA: Si no se cuenta con un enlace de ancho de banda mayor de 512 kbps es conveniente aplicar cRTP (el cual se explica en el capítulo II), esta compresión reduce los encabezados de capa 3 y 4 a 4 o 2 bytes.

2. Obtener el tamaño del paquete de voz en bits.

$$L_{pbits} = L_{paquete} * 8 \text{ bits/byte}$$

Para el códec G.711:

$$L_{pbits} = 207 \text{ bytes} * 8 \frac{\text{bits}}{\text{byte}} = 1\,656 \text{ bits}$$

3. Calcular los paquetes de voz enviados por cada segundo.

$$PPS = (\text{bit rate del códec}) / (\text{payload de voz en bits})$$

En el caso del códec G.711:

$$PPS = \frac{64 \text{ kbps}}{160 * 8 \text{ bits}} = 50 \text{ ms}$$

4. Finalmente se procede al cálculo del ancho de banda de una llamada, el cual se calcula multiplicando el tamaño del paquete de voz por el número de paquetes enviados por segundo:

$$BW_{VoIP} = (L_{pbits})(PPS)$$

El ancho de banda requerido para una llamada que utiliza el códec G.711 es:

$$BW_{VoIP} = (1\,656 \text{ bits})(50 \text{ ms}) = 82.8 \text{ kbps}$$

En la tabla 5.1 se muestra el ancho de banda requerido para realizar una llamada utilizando diferentes códecs.

Códec	Bit Rate [Kbps]	Tamaño de trama de voz [bytes]	Paquetes por segundo [bytes]	Encabezado (capas 3 y 4) IP/UDP/RTP	Encabezado capa 2 PPP [bytes]	Ancho de banda total [Kbps]
G.711	64	160	50	40	7	82.8
G.726	32	80	50	40	7	50.8
G.729	8	20	50	40	7	26.8
G.723.1	6.3	24	33.3	40	7	18.9
G.723.1	5.3	20	33.3	40	7	17.9

Tabla 5.1 Ancho de Banda de Códecs [1] y [28]

5.3 Escenarios

Los escenarios planteados a continuación tuvieron la finalidad de contrastar el desempeño de VoIP en la red propuesta usando técnicas básicas de calidad de servicio en los diferentes dispositivos involucrados en ella.

5.3.1 Características de una llamada entre dos dispositivos VoIP sin QoS

Objetivo

Con la red implementada, es importante conocer las características de las llamadas realizadas a través de ella y así saber si es funcional o no para los fines requeridos.

Justificación

Analizar y caracterizar una llamada VoIP en una red sin QoS, para realizar ajustes pertinentes a fin de alcanzar la calidad de llamada deseada.

Procedimiento

1. Una vez implementada la red, se realizaron llamadas entre dispositivos pertenecientes a la misma VLAN, es decir, Teléfono IP – Teléfono IP y Softphone – Softphone. Todo esto en un extremo de la red.
2. Posteriormente en un solo extremo de la red se realizaron llamadas entre VLAN's.
3. Se procedió a establecer llamadas entre dispositivos extremos de la red.
4. Se repitieron los pasos anteriores incrementando el número de llamadas simultáneas.

Resultados

Después de realizar las primeras llamadas notamos que era posible establecer una llamada y entender el mensaje de la otra persona sin ningún problema, mientras fuera realizada entre dispositivos en un extremo de la red, perteneciera o no a la misma VLAN. Sin embargo, las llamadas que involucraban dispositivos de extremo de red requerían de un esfuerzo entre considerable y moderado para poder entender el mensaje de la otra persona, por lo que calificamos nuestra primera llamada de punto a punto entre la red con un MOS de entre 2.5 y 3.

Al aumentar el número de llamadas el impacto sólo fue apreciable entre llamadas de punto a punto.

Llamada	Esfuerzo para entender el mensaje
Entre dispositivos de la misma VLAN	Bajo
Entre dispositivos de diferente VLAN	Bajo
Entre dispositivos extremos	Moderado (Ruidosa)

Tabla 5.2 Comparación de llamadas entre diferentes puntos

Conclusiones

Debido a que las llamadas realizadas en los mismos extremos no sufren un retraso considerable, no hay degradación en la calidad de llamada, sin embargo en las llamadas de punto a punto de red probablemente se supere el umbral de los 150 ms o haya pérdida de paquetes por lo que es recomendable aplicar técnicas de calidad de servicio y comparar la calidad de la llamada.

5.3.2 Análisis del MOS con IxChariot en la red sin calidad de servicio.

Objetivo

Con el fin de observar gráficamente lo que ocurría en nuestra red nos apoyamos usando la herramienta IxChariot que nos permitió simular y analizar la calidad de éstas en un caso con múltiples llamadas simultáneas, evidentemente sin llegar a saturar la red, además de que se inyectó tráfico de background para observar el comportamiento de la misma en un escenario típico de un ambiente empresarial.

Justificación

Usando el IxChariot podemos comparar resultados de manera gráfica y así observar deficiencias de esta red sin calidad de servicio, obteniendo un valor numérico de retraso, pérdida de paquetes y *jitter*.

Procedimiento

Para poder ver gráficamente el MOS de las llamadas VoIP con un determinado número de llamadas el procedimiento básico es el siguiente:

1. Verificar que se tengan mínimo dos computadoras, una en cada extremo de la prueba y en cada una se debe tener instalado el IxChariot.
2. Abrir un nuevo *Test*.
3. Entrar al menú *Edit* y seleccionar *Add VoIP*
4. En la ventana emergente escribir en el *campo Endpoint 1 network address* la dirección IP de la PC1. Escribir la dirección IP de PC2 en el campo *Endpoint 2 network address*.
5. Seleccionar el tipo de códec a usar, en este caso el G.711.
6. En la pestaña *Test Setup* aparece el flujo de datos creado, se da click derecho y se selecciona la opción *Replicate*.
7. Un nuevo flujo aparecerá en la ventana, dar click derecho sobre éste y seleccionar la opción *Swap Endponit 1 and Endpoint 2*. Con estos dos flujos se tiene un par bidireccional.
8. Estos pares se duplican dependiendo del número de llamadas a representar.
9. Para el tráfico de background se simuló tráfico de Internet, para cada par configurado se seleccionó *Add Pair* del menú *Edit*, en la ventana emergente se realizó lo descrito en el paso 4, además de seleccionar el script adecuado para el tipo de tráfico simulado. En la tabla 5.2 se mencionan los sripts y puertos utilizados para simular este tráfico.

Script Filename	Protocolo	Puerto TCP/UDP	BW kbps
FTPget.scr	TCP	20	9
HTTPtext.scr	TCP	80	100
POP3.scr	TCP	110	100
SMTP.scr	TCP	25	100

Tabla 5.3 Scripts utilizados para tráfico de background en el IxChariot

1. Seleccionar los pares creados y dentro del menú *Run* seleccionar *Run Options*.
2. En la ventana emergente seleccionar la opción *Run for a fix duration* y escribir un valor de 2 minutos. Dar *OK*.
3. Dar click sobre *Run (Una figura de una persona corriendo)*. El programá inicializará los flujos y posteriormente envía tráfico de forma continua durante el periodo de tiempo señalado.
4. Al haber transcurrido el tiempo establecido de la prueba, el mensaje de *Run to completion* deberá aparecer en la parte inferior de la pantalla.
5. Dar click en las pestañas para observar los datos arrojados por el programa.
6. Luego de ver los resultados arrojados anteriormente, se procede a añadir un par bidireccional y repetir la prueba. Se debe repetir este procedimiento tantas veces como circuitos de voz se añadan.
7. Se realizó una llamada real, para comprobar la calidad real de una llamada.

Resultados

La gráfica arrojada por el programa fue la mostrada en la figura 5.1, en la cual se muestra el MOS estimado de las llamadas simultáneas simuladas.

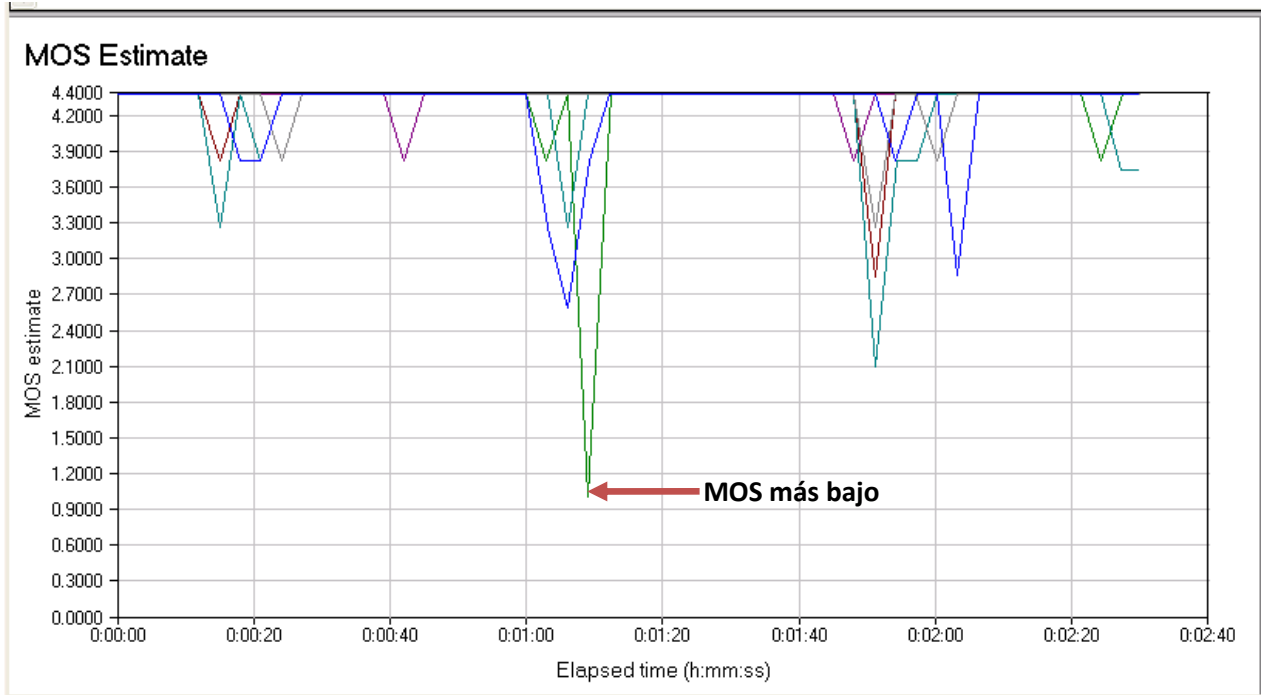


Figura 5.1 MOS estimado IxChariot

Otros resultados arrojados fueron:

Número de pares	End-to-end Delay [ms]	Jitter [ms]	% Bytes perdidos
16	178	0	1.214

Tabla 5.4 Valores para 16 pares.

Conclusiones

En la gráfica se puede observar que al agregar más pares de voz y tráfico de background el MOS para el tráfico VoIP oscila entre 3.3 y 4.4 con el punto más bajo en 1.2, lo que llega a ser una buena calidad de llamada, sin embargo, no es constante y al revisar los demás datos podemos observar que el retardo punto a punto sobrepasa el umbral de los 150 ms, además de que existe pérdida de datos. Al realizar la llamada real, la voz sufría retardo además de que su calidad no era buena.

5.3.3 Implementación de QoS

Objetivo

En base a los resultados es necesario mitigar algunos problemas y poder obtener la calidad de llamada deseada por lo que se implementaron algunos mecanismos básicos de calidad de servicio en los routers y los switches de la red.

Justificación

Los cuatro parámetros importantes que definen la calidad de servicio como ya mencionamos son el ancho de banda, retraso, jitter y pérdida de paquetes. Para poder gestionar dichos parámetros de forma eficiente debemos hacer uso de la prioridad y gestión de tráfico por medio de colas.

Procedimiento

Existen diferentes alternativas para implementar la calidad de servicio, la que se utilizó por su extendida escalabilidad y flexibilidad son los servicios diferenciados o “*Differentiated Services*” (DS) pues trabaja en base a la clasificación y marcado de los paquetes transmitidos en la red.

En la implementación de los servicios diferenciados debemos distinguir dos tipos de routers dentro de nuestra red:

- Los routers frontera que se encargan de la clasificación y marcado del tráfico.
- Los routers internos que evitan la congestión por medio de políticas.

En nuestro diagrama de red podemos identificar estos dos tipos de routers, en la figura 5.2 se señalan los routers frontera o externos y los routers internos.

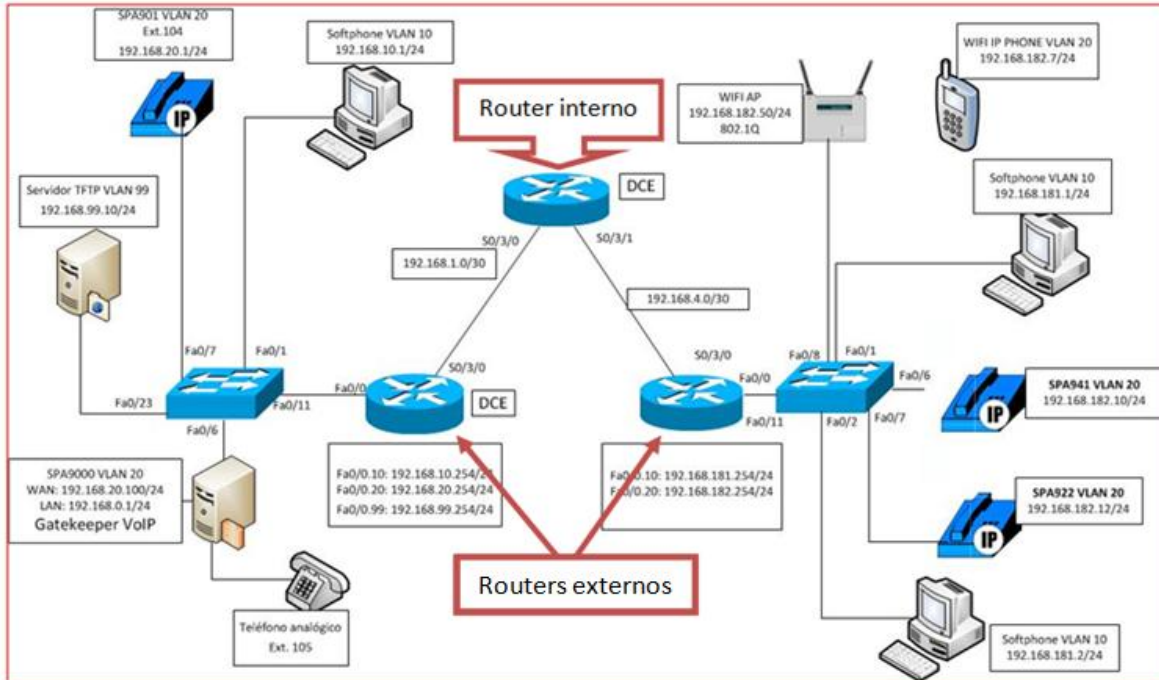


Figura 5.2 Identificando los tipos de routers

Existen varias técnicas para el marcado de los paquetes, en la capa de red la más utilizada es la DSCP (*Differentiated Service Code Point*) realizada en base al RFC 2474[23] que utiliza un campo DiffServ en el encabezado IP para definir la prioridad y el tipo de servicio. Se utilizan los tres primeros bits para marcar la prioridad y los siguientes para definir las estrategias de descarte. Los routers de frontera de la red clasifican los paquetes y los marcan ya sea con una prioridad IP o con un valor DSCP en el campo de DiffServ.

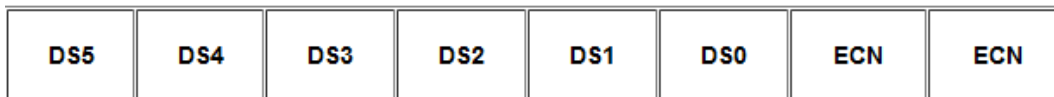


Figura 5.3 Campo DiffServ

Los valores estandarizados para DSCP se presentan en la siguiente tabla:

111110	Reservado (routing y control)	011110	Assured Clase 3 Preced. Alta
111100	Reservado (routing y control)	011100	Assured Clase 3 Preced. Media
111010	Reservado (routing y control)	011010	Assured Clase 3 Preced. Baja
111000	Reservado (routing y control)	011000	Configurable por el usuario
110110	Reservado (routing y control)	010110	Assured Clase 2 Preced. Alta
110100	Reservado (routing y control)	010100	Assured Clase 2 Preced. Media
110010	Reservado (routing y control)	010010	Assured Clase 2 Preced. Baja
110000	Reservado (routing y control)	010000	Configurable por el usuario
101110	Expedited (Premium)	001110	Assured Clase 1 Preced. Alta
101100	Configurable por el usuario	001100	Assured Clase 1 Preced. Media
101010	Configurable por el usuario	001010	Assured Clase 1 Preced. Baja
101000	Configurable por el usuario	001000	Configurable por el usuario
100110	Assured Clase 4 Preced. Alta	000110	Configurable por el usuario
100100	Assured Clase 4 Preced. Media	000100	Configurable por el usuario
100010	Assured Clase 4 Preced. Baja	000010	Configurable por el usuario
100000	Configurable por el usuario	000000	Best Effort (Default)

Tabla 5.5 Valores estandarizados para DSCP

Los servicios para cada DSCP corresponden a las siguientes características:

- Expedited Forwarding o Premium: Es el que da más garantías. Equivale a una línea dedicada lo cual garantiza tasa de pérdidas, retardo y jitter.
- Assured Forwarding: Sin fijar garantías, asegura trato preferente. Define cuatro clases y tres niveles de descarte según la prioridad.
- Best effort con prioridad: Sin garantías, pero tiene trato preferente al best effort sin prioridad.
- Best effort sin prioridad: Ninguna garantía.

En capa dos (los switches) el método de marcado se realiza en base a una extensión del 802.1Q como se ve en la siguiente figura:

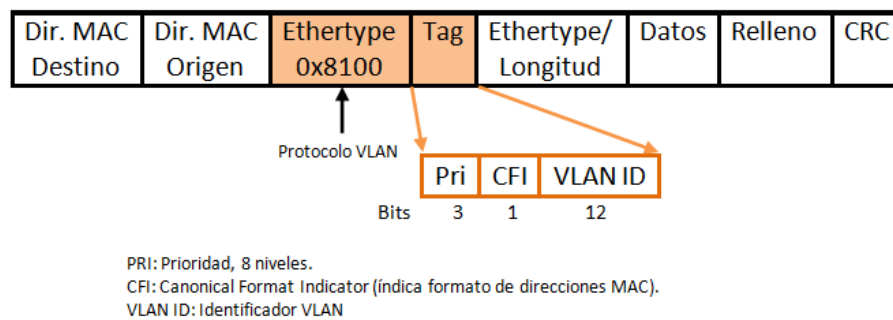


Figura 5.4 Extensión estándar protocolo 802.1Q

En el proceso de priorización y gestión las colas son gestionadas en las interfaces de salida. Para el caso de los routers cisco, las colas de las interfaces de salida con velocidad superior a un T1/E1 utilizan FIFO (*First In First Out*). Si la velocidad de salida es inferior a un T1/E1, se utiliza WFQ (*Weigthed Fair Queueing*), la cual busca organizar el tráfico de tal forma que el de menor volumen (de tiempo real) lo pone al principio de la cola, debido a que son más sensibles al retardo y penaliza las sesiones más grandes. El resto del ancho de banda es repartido equitativamente entre el resto del tráfico de alta prioridad. El problema que tiene WFQ es que no es escalable, por lo que se utiliza CB-WFQ (*Class Based WFQ*) que consiste en clasificar y aplicar una política de calidad de servicio a las diversas clases existentes del tráfico en la red.

La forma de clasificar el tráfico con CB-WFQ puede ser de la siguiente forma:

- Interfaces de entrada/salida
- Prioridades
- Flujos (protocolo, puertos, direcciones origen-destino)
- VLANs

Configuración de CB-WFQ (*Class Based Weigthed Fair Queueing*) clasificación y marcado en LAN por las políticas de los seriales

CB-WFQ marca en los routers de frontera el tráfico que procede de la LAN y con ayuda de los routers internos el tráfico que circula por los enlaces seriales trata de seguir las políticas implementadas. Los pasos a seguir para la implementación de CB-WFQ son:

1. La versión de IOS deberá ser mayor a la IOS 12.2 para llevar a cabo la configuración. En los routers cisco 2811 debemos habilitar un modo de conmutación rápida de los paquetes, llamada CEF (*Cisco Express Forwarding*).

(config)#ip cef

2. Se clasificó el tráfico en 4 diferentes clases: voip, alta, media y baja, a cada una de ellas se les asignó un tipo de tráfico.
 - Para el tráfico VoIP se configuraron listas de acceso, las cuales fueron asignadas a dicha clase.
 - Clase alta: Se le asignó el tráfico del protocolo HTTP.
 - Clase media: Se le designó el tráfico del protocolo Telnet.
 - Clase baja: Fue designado el tráfico del protocolo FTP.

```

Class Map match-all voip (id 1)
Match access-group 118

Class Map match-all baja (id 2)
Match protocol ftp

Class Map match-all alta (id 3)
Match protocol http

Class Map match-any class-default (id 0)
Match any

Class Map match-all media (id 8)
Match protocol telnet

```

Figura 5.5 Clasificación del tráfico

3. Ahora bien, una vez realizada la clasificación de tráfico se procede al marcado, el cual se lleva a cabo mediante la declaración de una política (*policy-map LAN*), en la cual se le asigna un valor según DSCP (comentado anteriormente) a cada clase:

Clase	Valor de servicio DSCP	Servicio DSCP	Características
voip	ef	Expedited Forwarding	Prioridad 5
alta	af31	Assured Forwarding	Clase 3
media	af21	Assured Forwarding	Clase 2
baja	af11	Assured Forwarding	Clase 1

Tabla 5.6 Valores de servicio DSCP asignados a cada clase

En la figura 5.6 se muestran los valores con los cuales se puede marcar los paquetes en una red, se puede observar al escribir el comando `(config-pmap-c)#set ip dscp?` en el programa de emulación de terminal preferido, en este caso HyperTerminal.

```
(config-pmap-c)#set ip dscp ?
<0-63> Differentiated services codepoint value
af11 Match packets with AF11 dscp (001010)
af12 Match packets with AF12 dscp (001100)
af13 Match packets with AF13 dscp (001110)
af21 Match packets with AF21 dscp (010010)
af22 Match packets with AF22 dscp (010100)
af23 Match packets with AF23 dscp (010110)
af31 Match packets with AF31 dscp (011010)
af32 Match packets with AF32 dscp (011100)
af33 Match packets with AF33 dscp (011110)
af41 Match packets with AF41 dscp (100010)
af42 Match packets with AF42 dscp (100100)
af43 Match packets with AF43 dscp (100110)
cs1 Match packets with CS1 (precedence 1) dscp (001000)
cs2 Match packets with CS2 (precedence 2) dscp (010000)
cs3 Match packets with CS3 (precedence 3) dscp (011000)
cs4 Match packets with CS4 (precedence 4) dscp (100000)
cs5 Match packets with CS5 (precedence 5) dscp (101000)
cs6 Match packets with CS6 (precedence 6) dscp (110000)
cs7 Match packets with CS7 (precedence 7) dscp (111000)
default Match packets with default dscp (000000)
ef Match packets with EF dscp (101110)
```

Figura 5.6 Valores de servicio DSCP

Para un estudio más detallado ver referencia [26].

4. La política de marcado descrita anteriormente, será configurada en las interfaces FastEthernet de los routers 1 y 3, debido a que son routers de frontera, mediante el siguiente comando:

```
service-policy input LAN
```

5. Ya que el tráfico que entra a los routers frontera se tratará en las interfaces de salida de los mismos, es decir en las interfaces seriales, se debe realizar una clasificación en base al valor DSCP con el cual estarán marcados los paquetes:

```
Class Map match-all baja-dscp (id 4)
  Match ip dscp af11 (10)

Class Map match-all voip-dscp (id 5)
  Match ip dscp ef (46)

Class Map match-all alta-dscp (id 6)
  Match ip dscp af31 (26)

Class Map match-all media-dscp (id 7)
  Match ip dscp af21 (18)
```

Figura 5.7 Clasificación en base a valor DSCP

6. Una vez hecho el paso 5, se definen las políticas para cada clase de tráfico, en ellas se detalla el trato que recibirán dichas clases:

Clase	Características configuradas	Descripción
voip-dscp	priority 32 6000	Se le asigna una cola de prioridad estricta (LLQ)[1], de 32 kbps y un buffer de 6000 bytes
alta-dscp	bandwidth percent 20 random-detect dscp-based	Tiene activado un mecanismo de descarte inteligente, el cual descarta paquetes con menor valor de DSCP para evitar colisiones, es conocido como WRED(Weighted Random Early Discard). Los paquetes marcados de esta forma tendrán disponible el 20% del ancho de banda disponible.
media-dscp	bandwidth percent 10 random-detect dscp-based	Tendrán disponible el 10% del ancho de banda y también aplican WRED.
baja-dscp	bandwidth percent 5 random-detect dscp-based	Disponible el 5% del ancho de banda y aplican WRED.

Tabla 5.7 Políticas para el trato de tráfico

7. Finalmente la política anterior es aplicada en todas las interfaces Seriales de los routers que hay en la red.

5.3.4 Comportamiento del MOS y los parámetros relacionados con QoS

Objetivo

Verificar que la calidad de servicio implementada en la red entregue una calidad de llamada aceptable.

Justificación

Por medio de la priorización de tráfico se puede obtener una calidad de llamada aceptable sin importar que la red tenga tráfico de algún otro tipo.

Procedimiento

1. Primero haremos streaming abriendo la aplicación VLC media player. En dos computadoras, una que fungió como servidor y otra como cliente.
2. En la barra de tareas seleccionamos *archivo* y del menú desplegable seleccionamos *abrir*.

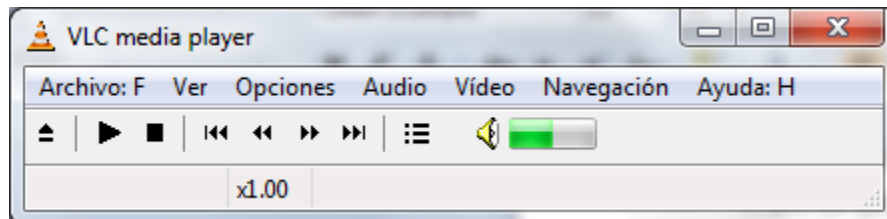


Figura 5.8 Paso 2

3. Seleccionamos el archivo a reproducir y en la casilla de *opciones avanzadas* seleccionamos *Volcar* y damos click en *Opciones*.

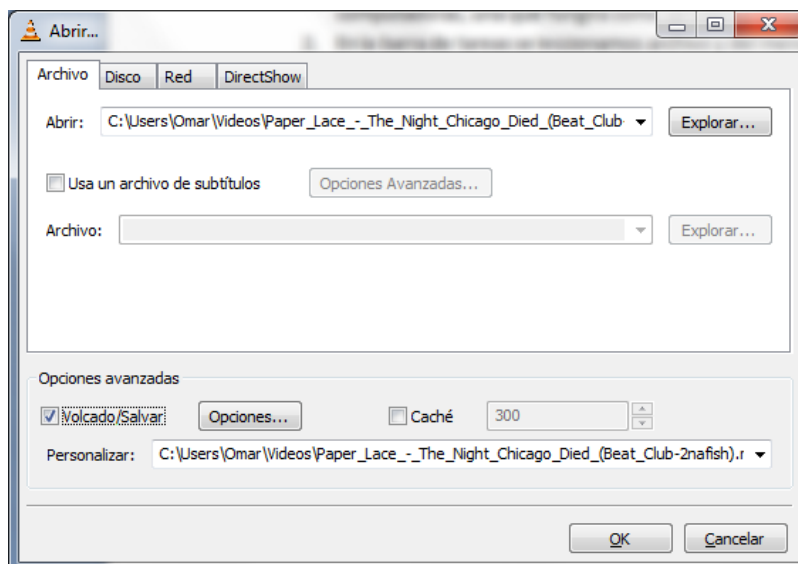


Figura 5.9 Paso 3

- En la ventana de la figura 5.10 se muestran los parámetros a introducir, siendo el protocolo UDP el que se usará y la dirección 192.168.181.2 representa la computadora desde la cual se podrá ver el video en el otro extremo de la red.

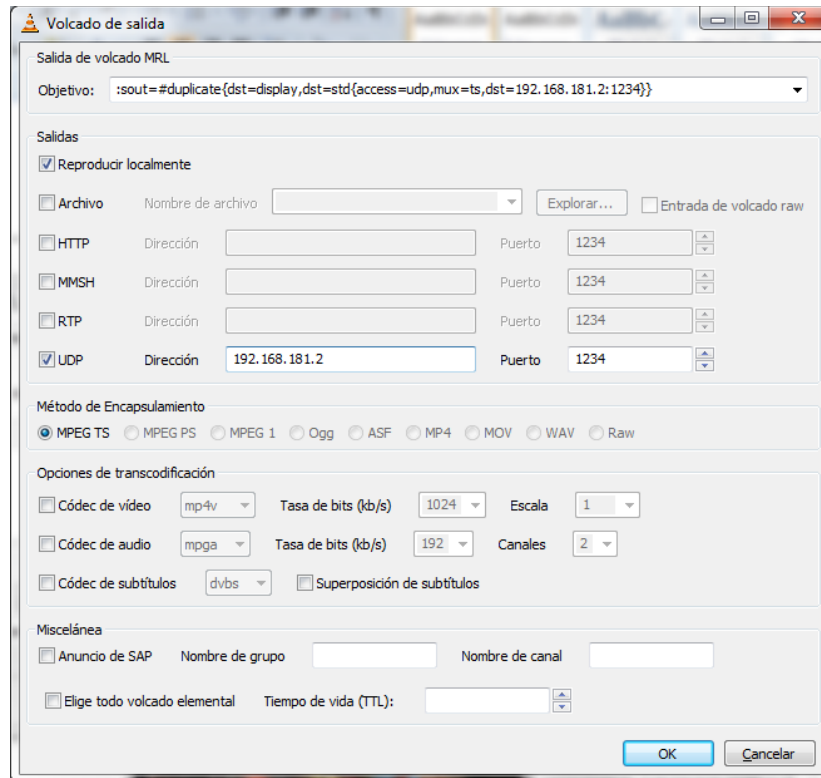


Figura 5.10 Paso 4

- Dar *OK* y el video empezará a reproducirse desde la PC que funge como servidor.
- En la otra computadora seleccionar de la barra de tareas seleccionamos *Abrir* y del menú desplegable seleccionaremos *Volcado de red*.

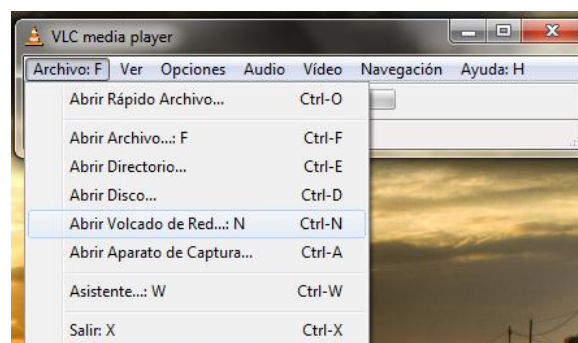


Figura 5.11 Paso 6

- Seleccionando sólo el protocolo UDP en la pestaña de red. Se da click en *OK* y el video se estará reproduciendo.

8. Al mismo tiempo se realizó una llamada VoIP de punto a punto de red.
9. Finalmente se inyectó más tráfico de VoIP por medio del IxChariot (ver prueba 5.2.2).

Resultados

La figura 5.12 nos muestra la calidad del video recibido al hacer streaming en la red.

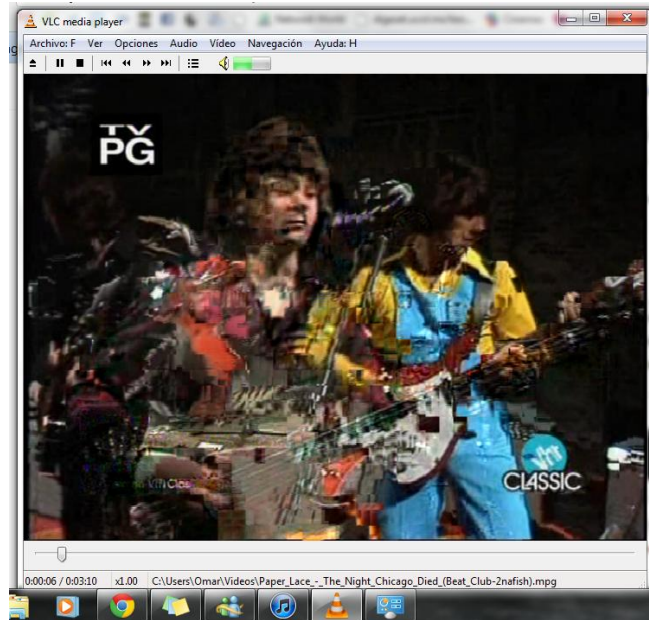


Figura 5.12 Video reproducido

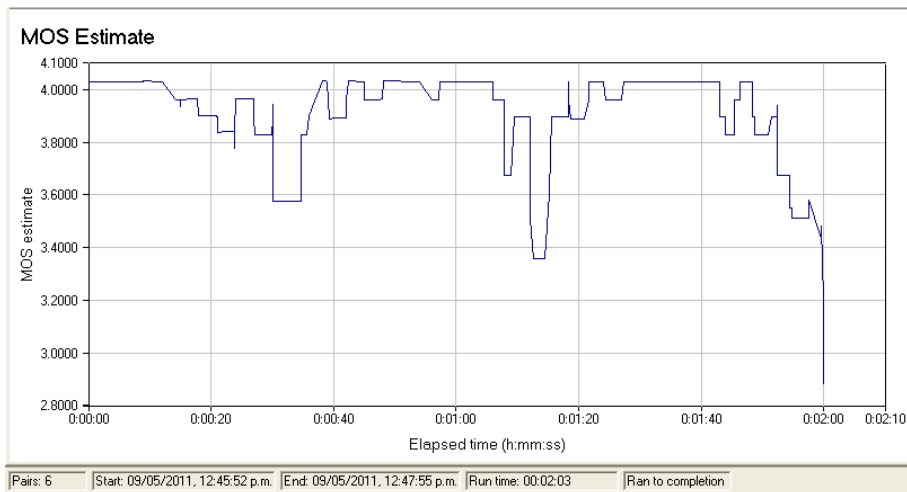


Figura 5.13 Paso MOS estimado con QoS

Otros resultados arrojados fueron:

End-to-end Delay [ms]	Jitter [ms]	% Bytes perdidos
146	0.70	0.588

Tabla 5.8 Parámetros medidos con QoS.

Conclusiones

Se puede notar que a partir de la implementación de servicio la calidad de llamada mejoró a pesar de la existencia de tráfico de otra índole, sin embargo, al hacer streaming de un extremo de la red a otro la calidad del video era muy mala, además de que sufría un retraso considerable. Se concluyó que al aplicar algunas técnicas de calidad de servicio para ciertos casos es suficiente para obtener una calidad de llamada deseada sin tener que cambiar algún componente de red.

5.3.5 Comparación del MOS teórico con el obtenido con IxChariot utilizando diferentes códecs.

Objetivo

Una vez implementada la red comparar los resultados de MOS arrojados por el IxChariot al simular tráfico VoIP que usan códecs diferentes con los investigados en la literatura. Además comparar el retraso adicional que se tiene al ocupar los diferentes códecs.

Justificación

Es importante conocer las características de nuestra red al desempeñarse con diferentes parámetros para poder comparar y escoger el escenario que convenga nuestro interés.

Procedimiento

1. Añadir un par de VoIP (ver prueba 2) utilizando uno de los siguientes códecs: G.711, G.726, G.729, G.723.1 (6.3 kbps) y G.723.1 (5.3 kbps).
2. Correr el test por 2 minutos.
3. Repetir un test para cada códec.
4. En un nuevo test definir pares de VoIP pero utilizando todos los códecs disponibles.
5. Correr el test por 2 minutos.

Resultados

Las gráficas para cada códec se presentan a continuación:

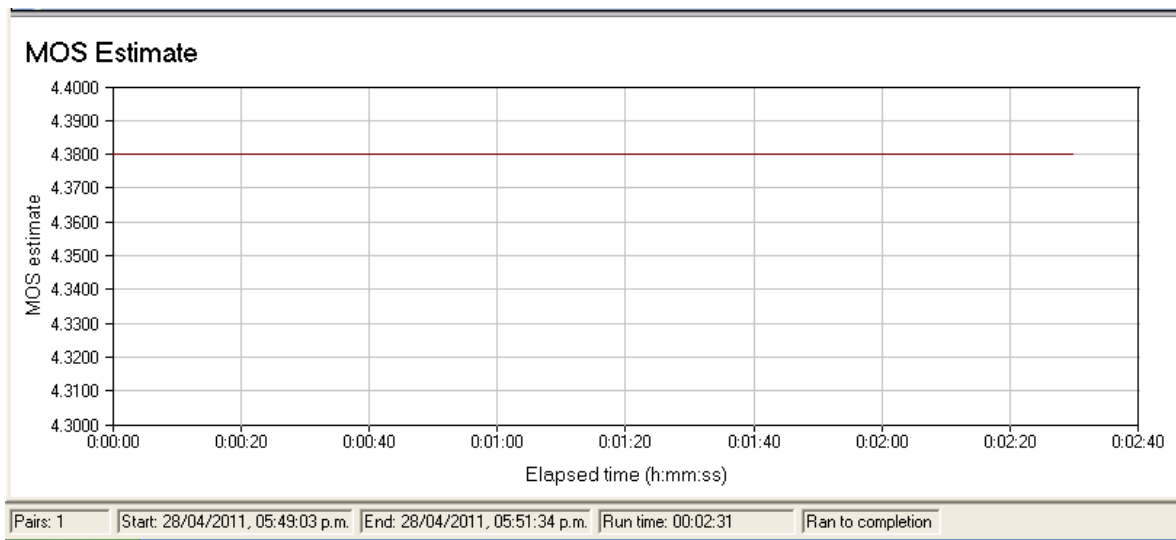


Figura 5.14 MOS para códec G.711

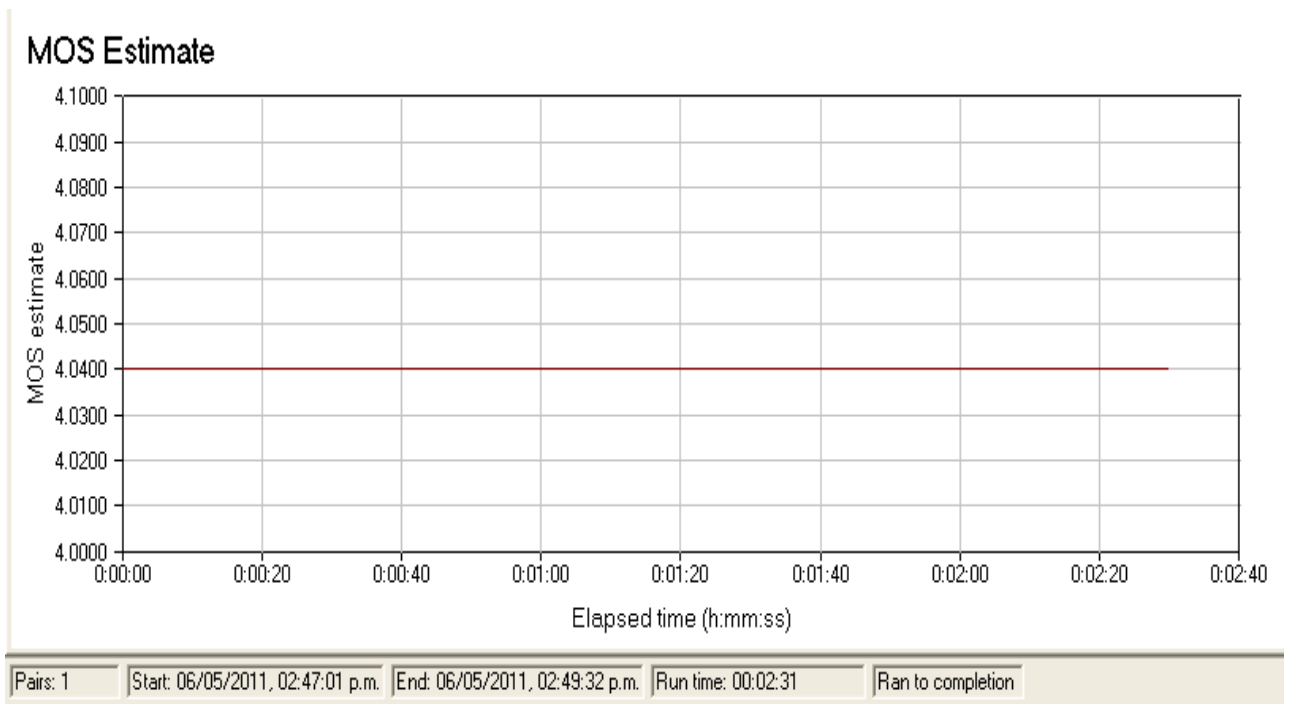


Figura 5.15 MOS para códec G.729

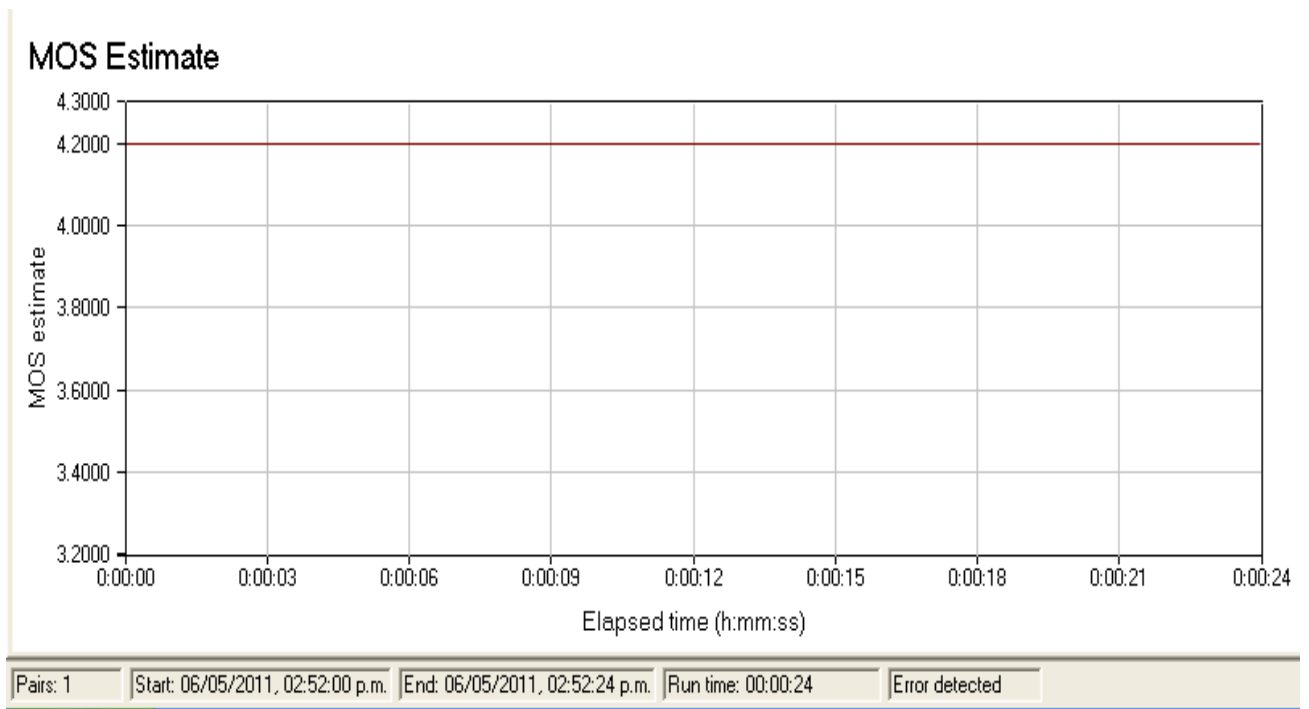


Figura 5.16 MOS para códec G.726 (32 kbps)

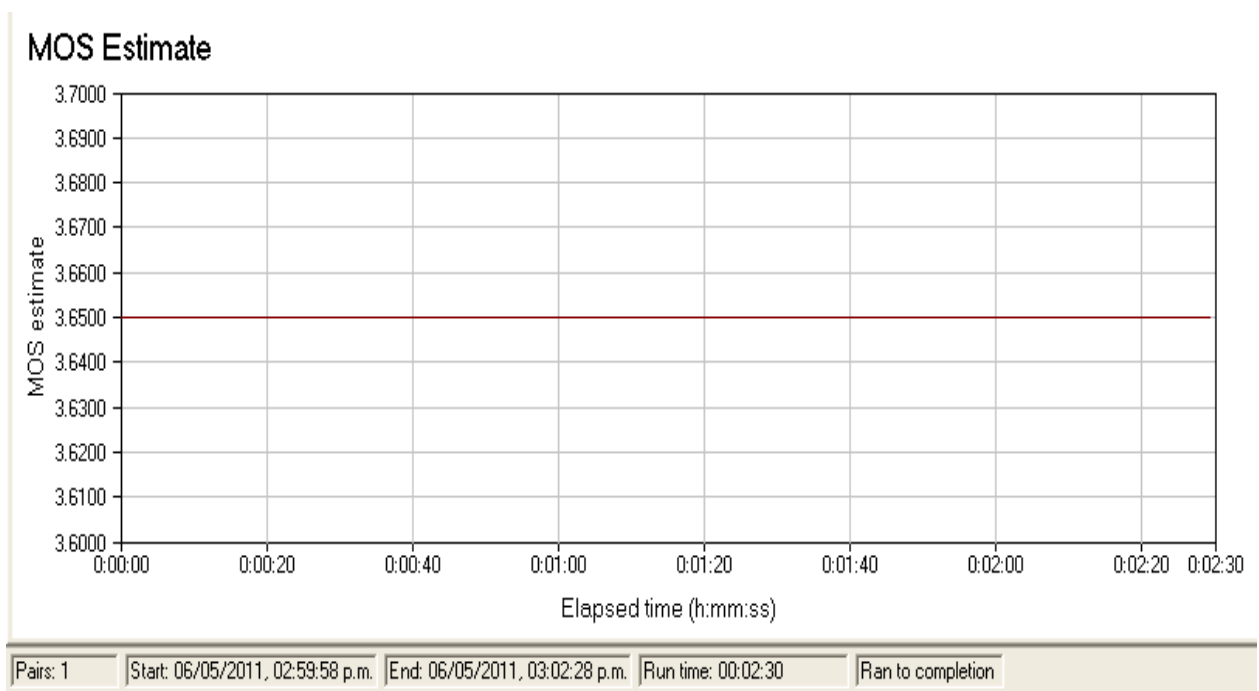


Figura 5.17 MOS para G.723.1 ACELP

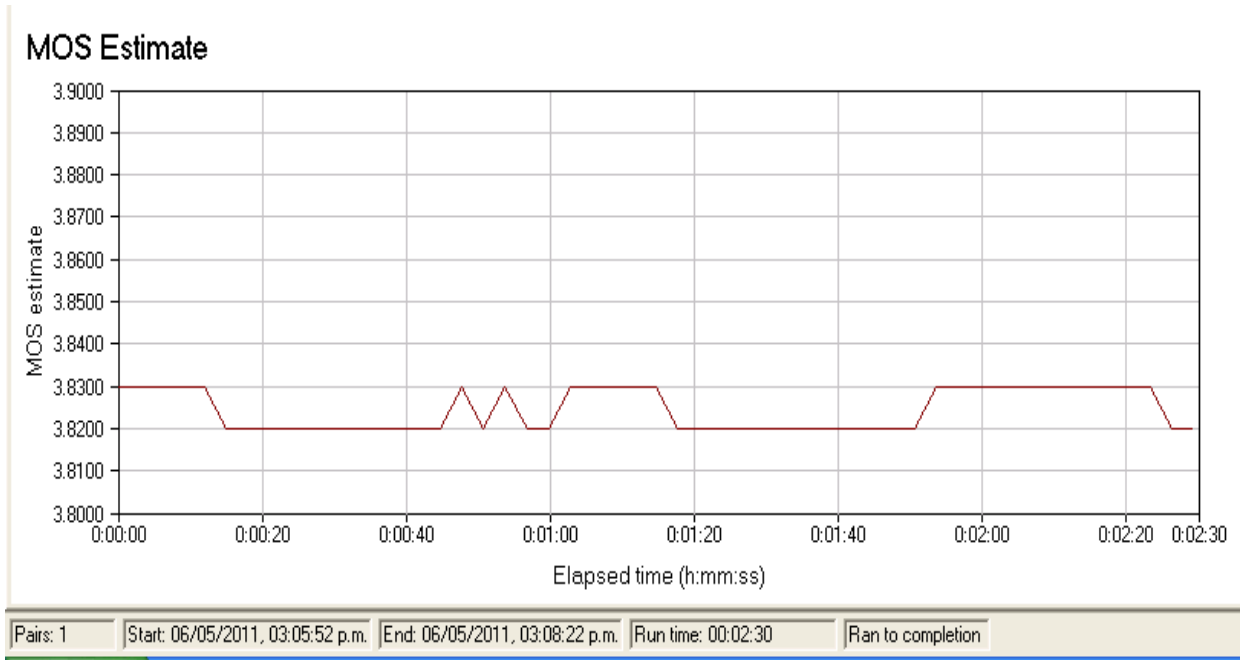


Figura 5.18 MOS con códec G.723.1 MP-MLQ

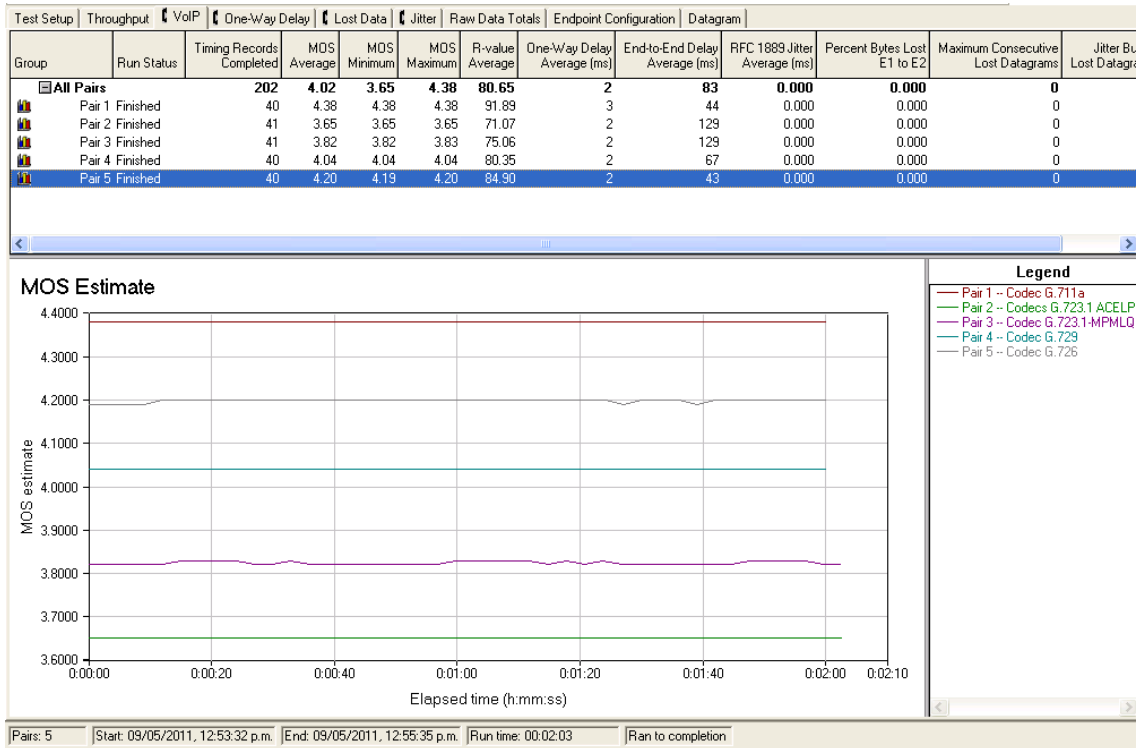


Figura 5.19 MOS para todos los códecs

Conclusiones

Códec	Bit Rate [Kbps]	Ancho de banda total [Kbps]	Retraso del algoritmo [ms]	Retraso calculado IxChariot [ms]	MOS	MOS calculado IxChariot
G.711	64	82.8	0.125	44	4	4.38
G.726	32	50.8	0.125	43	2.4 – 4	4.2
G.729	8	26.8	15	67	3.9	4.04
G.723.1	6.3	18.9	30	129	3.9	3.82
G.723.1	5.3	17.9	30	129	3.65	3.65

Tabla 5.9 Tabla comparativa de los resultados arrojados por cada códec

En los resultados se puede comprobar que la diferencia entre los resultados prácticos y los encontrados en la literatura son muy parecidos en cuanto a la calidad se refiere. Podemos observar también que si bien el códec G.711 es el que nos ofrece una mejor calidad de llamada no sería la mejor opción pues el códec G.726 nos ofrece prácticamente las mismas características sin introducir un retraso adicional considerable. Es también fácil de observar que en caso de querer realizar mayor número de llamadas el códec G.729 sería la mejor opción puesto que reduce el ancho de banda utilizada sin impactar en este caso el retardo punto a punto.