

# Resultados de las pruebas estáticas distribuidas del proyecto CEPOS

Alberto Cabellos, UPC

acabello@ac.upc.edu

*Resumen: Este documento presenta los resultados de las pruebas estáticas del proyecto CEPOS. El objetivo de dichas pruebas es evaluar el rendimiento de la aplicación de videoconferencia Isabel con diferentes tecnologías de acceso: Ethernet, WiFi y UMTS. La evaluación consiste en medir las métricas más importantes respecto al rendimiento de redes, OWD, IPDV y pérdida de paquetes. Dicha evaluación se realiza tanto cliente a cliente (extremo a extremo) como cliente a flow-server (el nodo central de la red overlay creada por Isabel). Finalmente también se analiza el rendimiento del flow-server de Isabel.*

## INTRODUCCIÓN

El proyecto CEPOS (Centro de Provisión de Servicios de Red Interdominio) pretende definir una arquitectura de provisión de servicios de nueva generación, que permita construir un centro de provisión de servicios de nueva generación. La arquitectura combinará las propuestas de los principales organismos internacionales, y se centrará en las capas de servicios sobre una red heterogénea que combine redes fijas, inalámbricas y celulares. Además se definirá un Centro de Servicios de Nueva Generación, que en combinación con la arquitectura permita ofrecer servicios a usuarios finales con independencia del tipo de red en el que se encuentren.

Parte de los objetivos del proyecto consisten en realizar unos experimentos distribuidos con diferentes tecnologías de acceso: WiMAX, UMTS, IEEE 802.11 y Ethernet. El objetivo es usar la aplicación de videoconferencia Isabel [1] con las diferentes tecnologías de acceso y estudiar el comportamiento de la misma, así como evaluar parámetros de QoS (OWD, pérdida de paquetes y jitter) y de movilidad (tiempo de handover de nivel 2 y tiempo de handover de nivel 3). Dichos experimentos se realizarán usando la metodología de pruebas pasivas. Se capturarán los paquetes pertenecientes a los flujos de Isabel tanto en los terminales como en el servidor central. Posteriormente se computarán los parámetros bajo estudio usando los “timestamps” de los paquetes.

En la primera fase del proyecto se desplegó un testbed distribuido usando diferentes tecnologías de acceso: Ethernet, WiMAX, WiFi y UMTS y se sincronizaron todos los terminales usando NTP. Posteriormente se realizaron las pruebas preliminares entre UPV y UPC con Isabel y se ha capturó todo el tráfico. Dichas pruebas tenían como objetivo comprobar el correcto funcionamiento del testbed: estimar el error en la sincronización de los clientes así como validar la metodología y el software utilizado. Los resultados de las pruebas preliminares demostraron que el testbed funcionaba correctamente y que el error de sincronización era menor a 1ms. [5].

En esta segunda fase del proyecto, y cuyos resultados se presentan en este informe, el objetivo es estudiar los parámetros que indican el rendimiento de la red: OWD, IPDV y Pérdida de Paquetes estáticamente, es decir, sin provocar “handovers”. Dicha evaluación servirá para conocer el rendimiento de Isabel, y de forma genérica de una aplicación de videoconferencia con diferentes tecnologías de acceso. La evaluación se realiza cliente a cliente (extremo a extremo) así como cliente a flow-server. Isabel es una aplicación de videoconferencia multi-punto-multi-punto que utiliza una red “overlay” para transmitir la información. El flow-server es el nodo que se encarga de re-enviar la información a los clientes. En nuestro testbed, el flow-server es el centro de la red overlay.

## METODOLOGÍA

La figura 1 muestra el testbed distribuido desplegado en el proyecto CEPOS. Todos los terminales están conectados a una red cableada de control y sincronización NTP (para más información consultar [2]). El testbed también incluye un flow-server de Isabel. Cada terminal además dispone de un punto de captura usando Wireshark [3]. Los paquetes capturados en dichos puntos serán procesados a posteriori usando un software desarrollado por la UPC.

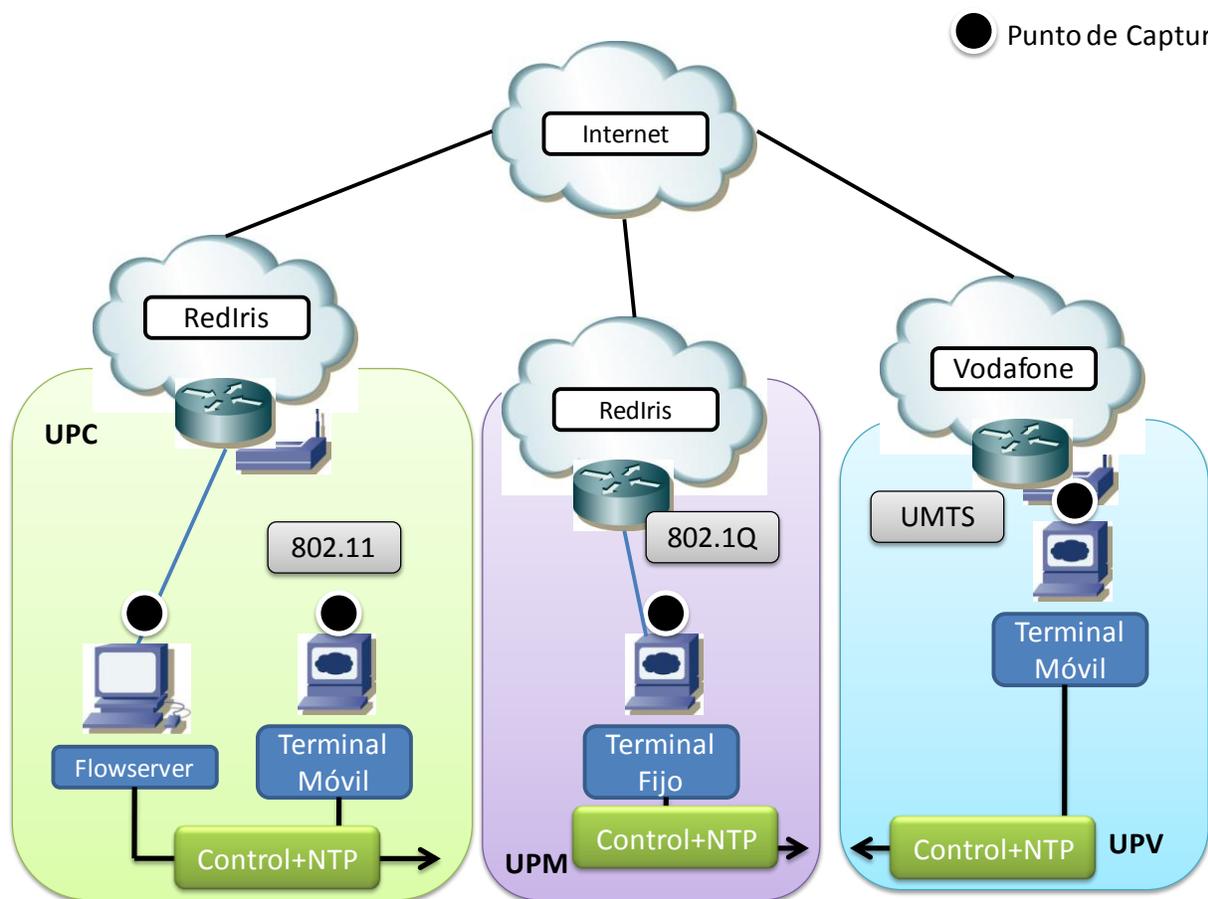


Figura 1.- Testbed distribuido del CEPOS

Las pruebas realizadas consistieron en 2 fases.

1.- **Verificación de la sincronización:** Para comprobar la correcta sincronización de los diferentes terminales del testbed se mandan ICMP Echo-Request desde los terminales hasta el flow-server. Los paquetes se capturan tanto en los terminales como en el flow-server. Después se compara el RTT estimado por la aplicación “Ping” con el retardo extremo a extremo calculado con las capturas.

2.- **Captura del tráfico de Isabel:** Todos los clientes (UMTS, WiFi, Ethernet) se conectan al flow-server de UPC y se captura todo el tráfico tal y como indica la figura 1. En concreto se prueban los siguientes modos de funcionamiento de Isabel (diferentes modos se corresponden con diferentes características de tráfico):

- Todos los videos pequeños
- Ethernet, video grande.
- UMTS, video grande.
- WiFi, video grande.
- Todos los videos pequeños.

## APLICACIÓN DESARROLLADA

Se han desarrollado dos aplicaciones, la primera aplicación es capaz de extraer métricas de red cliente a flow-server, es decir, a nivel IP. La segunda aplicación desarrollada extrae las métricas de red cliente a cliente (extremo a extremo) y es capaz de leer las cabeceras RTP (Real Time Protocol) que utiliza Isabel.

La primera aplicación desarrollada para procesar los paquetes está basada en la librería Net::Pcap [4] y está escrita en Perl. La aplicación recibe como entrada dos ficheros con trazas en formato PCAP (el formato nativo de Wireshark). Dichos archivos se corresponden a los paquetes capturados en un terminal y en el flow-server. La aplicación lee ambos ficheros y busca coincidencias entre paquetes, es decir, busca paquetes idénticos en ambos ficheros. Los paquetes se comparan teniendo en cuenta los siguientes campos (sólo se procesan los paquetes TCP y UDP):

- Protocolo
- Dirección origen
- Dirección destino
- Puerto origen
- Puerto destino
- Hash MD5 del contenido

Una vez la aplicación ha detectado el mismo paquete en ambos ficheros extrae ambos “Timestamps” (el del terminal y el del flow-server) y asigna dicha información al flujo al que pertenece. Los flujos se identifican por: Protocolo/Dirección Origen/Dirección Destino/Puerto Origen/Puerto

Destino. Finalmente la aplicación generará un archivo por flujo con la siguiente información: OWD, Jitter, Timestamp de Salida, Timestamp de Llegada, Identificador de Flujo (Protocolo/Dirección Origen/Dirección Destino/Puerto Origen/Puerto Destino).

La segunda aplicación desarrollada es similar a la anterior, recibe por la entrada dos archivos y busca coincidencias utilizando los siguientes campos:

- Puerto origen UDP
- Puerto destino UDP
- SSRC (RTP)
- Sequence Number (RTP)
- CSRC (RTP)
- Hash MD5 del contenido

Analizando las cabeceras RTP la aplicación es capaz de encontrar paquetes coincidentes aunque tengan diferentes cabeceras IP. Es importante recordar que el flow-server actúa como un enrutador de nivel aplicación y que reemplaza la cabecera de nivel de red y de transporte. Una vez la aplicación ha detectado el mismo paquete en ambos ficheros extrae ambos “Timestamps” (el de ambos clientes) y actúa igual que la anterior aplicación, mostrando por pantalla la misma información.

## RESULTADOS DE SINCRONIZACIÓN

La tabla 1 muestra los diferentes tiempos de RTT calculados por la aplicación “Ping” y derivados por las trazas (estimado). Los valores que se muestran son las medias de las diferentes pruebas correspondientes a la fase 1.

Calculando la diferencia entre el RTT estimado por la herramienta “Ping” y el calculado a través de las trazas podemos estimar el error de sincronización para cada uno de los clientes que conforman el testbed del CEPOS. Como podemos ver los tres terminales tienen un error menor a **1ms**. Teniendo en cuenta que los retardos entre los diferentes clientes son ordenes de magnitud mayores que el error de sincronización estimado, se puede considerar que los resultados obtenidos en este testbed serán válidos. Finalmente en la última fila se presenta el error estimado según NTP. Como se puede apreciar NTP subestima el error de sincronización.

	UMTS	Ethernet	WiFi
RTT Real (ping)	219,32ms	16,72ms	3,84ms
RTT Estimado (OWD)	218,9ms	16,63ms	3,8ms
Error Estimado	<b>0,43ms</b>	<b>0,09ms</b>	<b>0,03ms</b>
Error Estimado por NTP	0,02ms	0,03ms	0,02ms

**Tabla 1.-** Errores de sincronización estimados

## RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS CON LOS TERMINALES

En esta sección se presentan los resultados de las primeras pruebas estáticas distribuidas del proyecto CEPOS. Los resultados se dividen en, pérdida de paquetes, resultados cliente a flow-server, resultados extremo a extremo y finalmente evaluación del rendimiento del flow-server.

### PÉRDIDA DE PAQUETES

La tabla 2 muestra el PLR (Packet Loss Ratio) según la tecnología de acceso utilizada y el sentido, las filas indican el origen mientras que las columnas el destino. Tanto el cliente Ethernet como el cliente WiFi tiene una tasa de pérdida de paquetes menor al 1% en ambos sentido. Sin embargo la red de acceso UMTS pierde cerca del 45% de los paquetes en el canal de bajada mientras que alrededor del 5% en el canal de subida. Tal y como veremos posteriormente esto impide a las aplicaciones con requisitos de tiempo real operar con una tecnología como UMTS.

Video	UMTS	ETH	WIFI
UMTS		2.21%	2.21%
ETH	43.95%		0.04%
WIFI	42.85%	0.03%	

Audio	UMTS	ETH	WIFI
UMTS		9.82%	9.76%
ETH	67.39%		0.64%
WIFI	43.19%	0.31%	

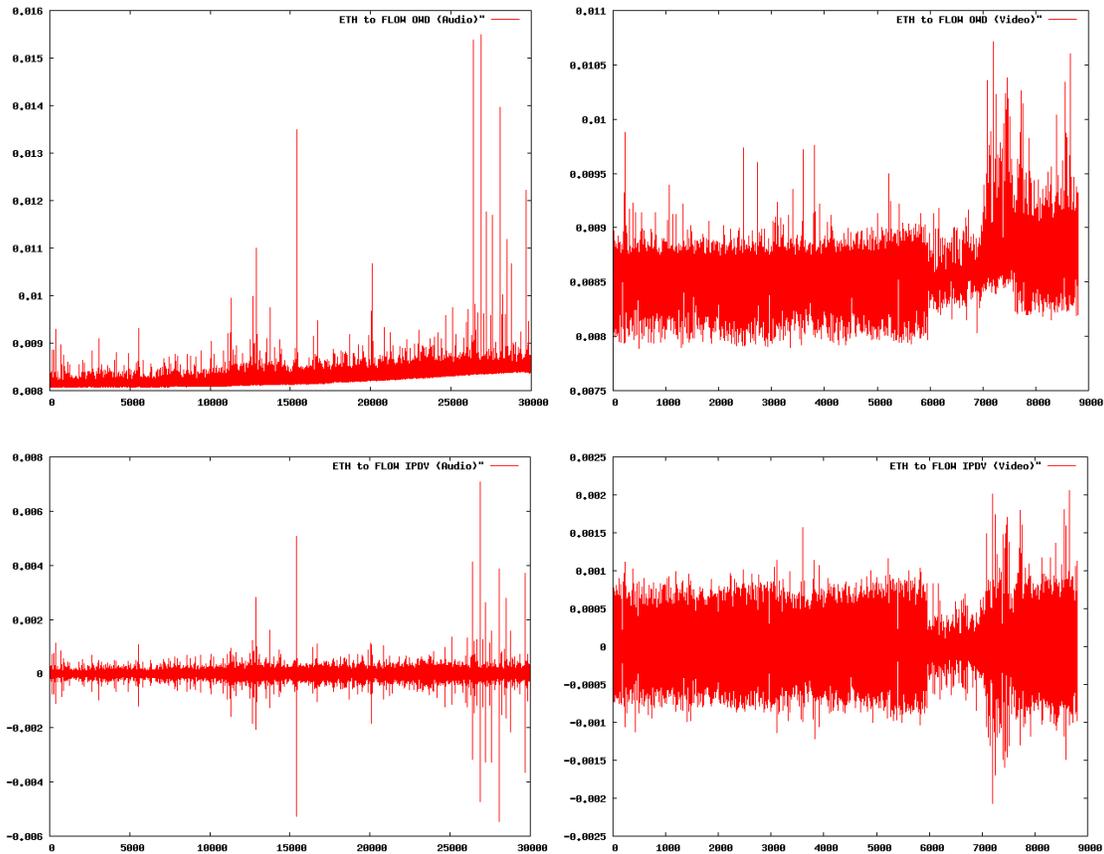
**Tabla 2.-** Pérdida de paquetes según la tecnología de acceso usada.

## RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS CLIENTE A FLOW-SERVER

En esta sección se presentan el cálculo de las diferentes métricas de red (OWD, IPDV, Pérdida de Paquetes) entre los diferentes clientes y el flow-server. Dichos resultados muestran el rendimiento de las diferentes tecnologías de acceso.

### Cliente Ethernet

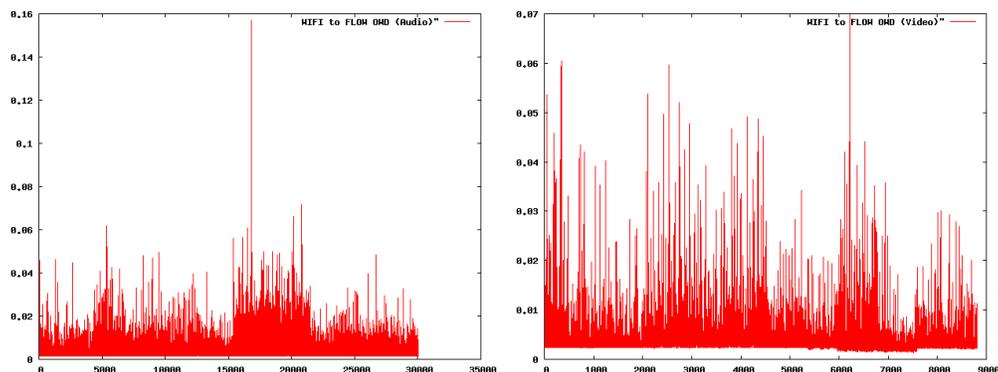
La figura 2 muestra la evolución de las métricas de red (OWD y IPDV) a lo largo de la sesión de Isabel del cliente Ethernet. Tal y como se esperaba el retardo es casi siempre menor a los **10ms** con una variación **mínima** (IPDV). La línea ascendente que se puede ver en el retardo del flujo de Audio (y en el de Video) se debe a una desviación del reloj entre ambas máquinas. La variación es menor a **1ms** durante toda la duración de la prueba (1 hora aproximadamente) y se debe a que los retardos entre el cliente y el flow-server son minimos. Esta variación es asumible y forma parte del error de sincronización calculado.

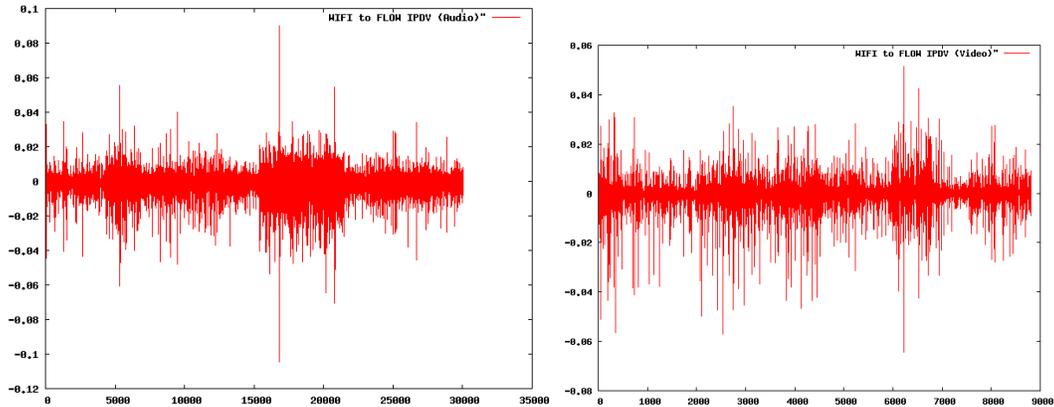


**Figura 2.-** Retardo (OWD) y Variación del retardo (IPDV) entre el cliente Ethernet y el flow-server. (Eje X: Retardo (s), Eje Y: Número de secuencia)

### Cliente WiFi

La figura 3 muestra el OWD y el IPDV para los flujos de audio y video entre el cliente WiFi y el flow-server. Tal y como muestra la figura el rendimiento de la red inalámbrica es aceptable para una aplicación con requisitos de tiempo real como Isabel. El retardo medio es de aproximadamente de **14ms** y la variación del retardo (IPDV) es casi constante, con variaciones de hasta **20ms**. La figura también muestra que el retardo del video es más variable que el del audio, esto se debe a que el tamaño de los paquetes de video es variable, mientras que el de audio es fijo.

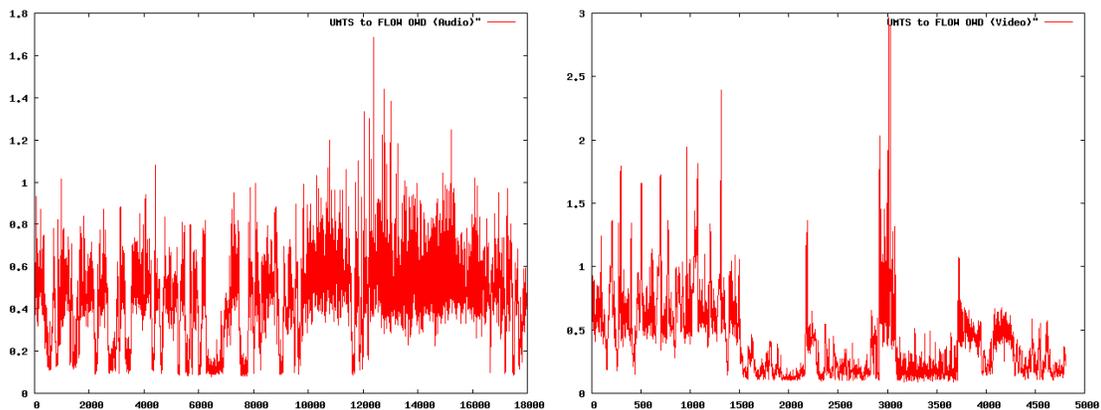


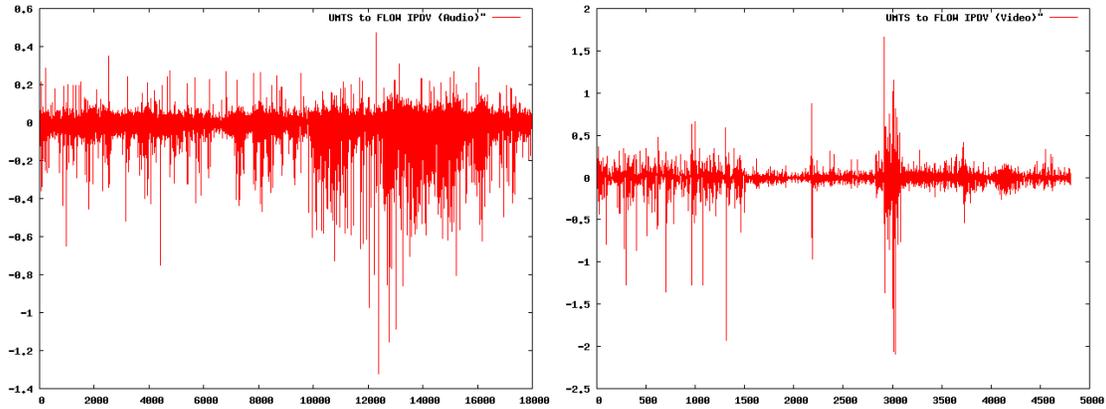


**Figura 3.-** Retardo (OWD) y Variación del retardo (IPDV) entre el cliente WiFi y el flow-server. (Eje X: Retardo (s), Eje Y: Número de secuencia)

### Ciente UMTS

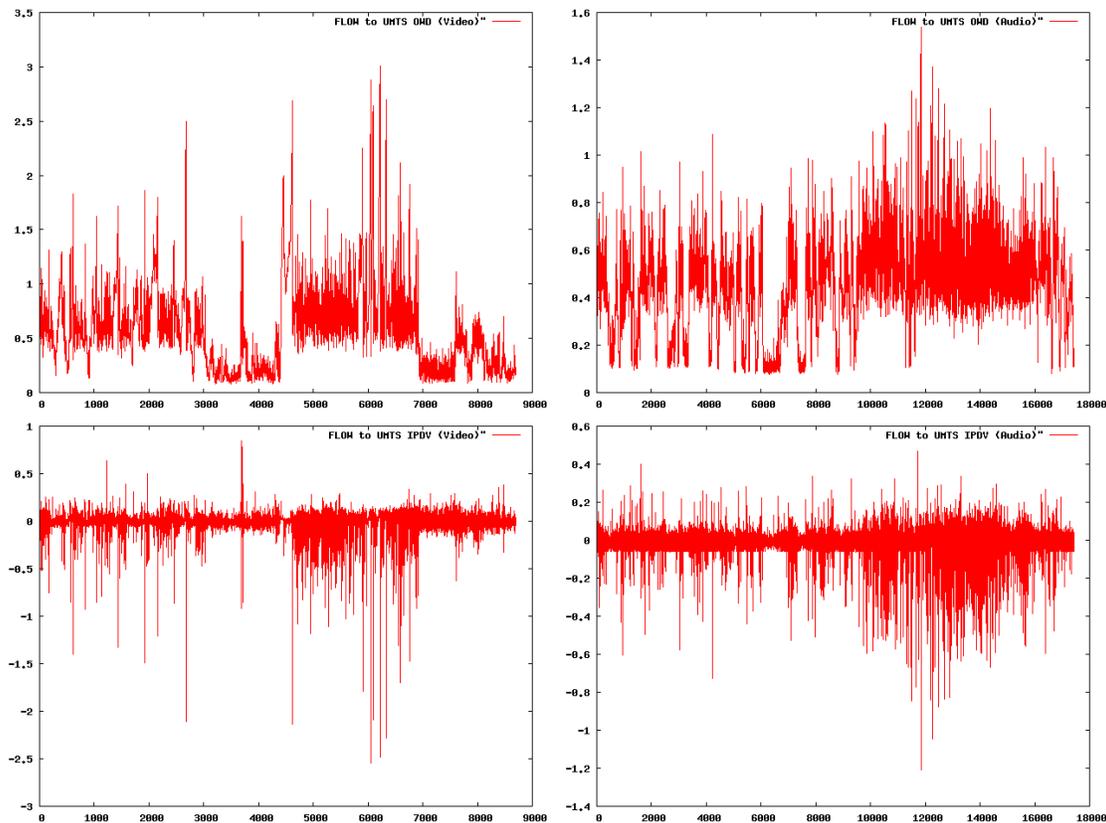
Finalmente la figura 4 muestra las métricas de red en el enlace entre el cliente UMTS y el flow-server (canal de subida). Tal y como muestra la figura los retardos son considerablemente altos. El retardo medio es de **470ms**. En este caso la variación del retardo es también muy alta, con variaciones medias de unos **200ms** para ambos flujos. Estos resultados (así como la tasa de pérdida de paquetes mencionada anteriormente) desaconsejan el uso de esta tecnología de acceso para una aplicación de videoconferencia como Isabel. Además durante las pruebas la calidad del audio y del video no fueron aceptables para comunicarse con fluidez.





**Figura 4.-** Retardo (OWD) y Variación del retardo (IPDV) entre el cliente UMTS y el flow-server. (Eje X: Retardo (s), Eje Y: Número de secuencia)

Por el contrario, el canal de bajada de UMTS, es decir, del flow-server al UMTS (figura 5) muestra retardos aún mayores y de hasta 2s en algunos casos. Este comportamiento asimétrico debe estudiarse con mayor profundidad en informes posteriores.

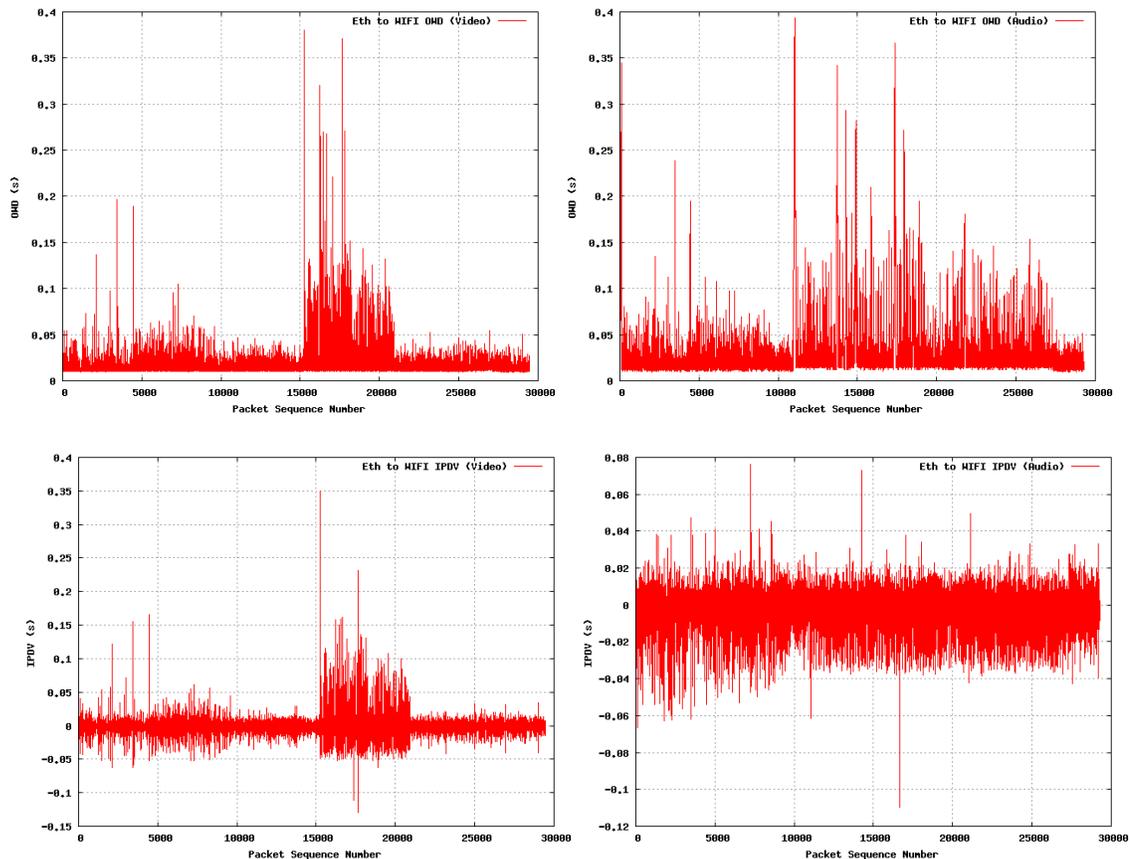


**Figura 5.-** Retardo (OWD) y Variación del retardo (IPDV) entre el flow-server y el cliente UMTS. (Eje X: Retardo (s), Eje Y: Número de secuencia)

## RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS EXTREMO A EXTREMO

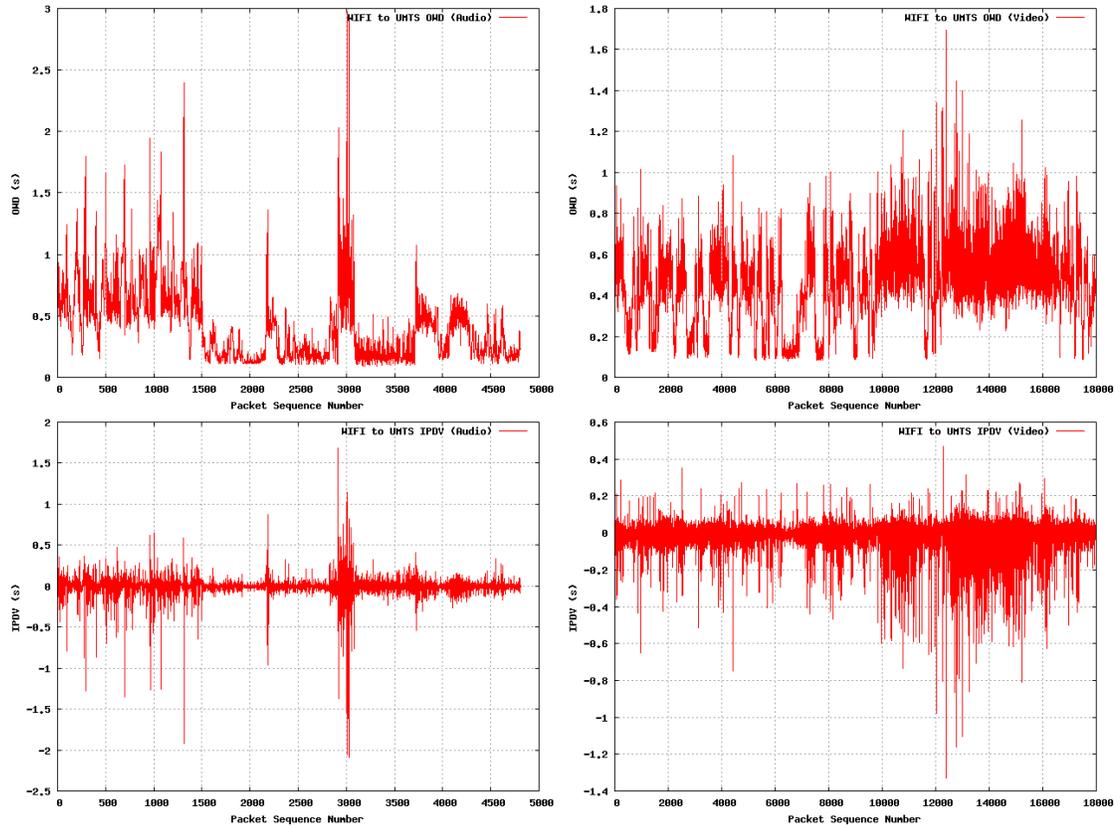
En esta sección se presentan el cálculo de las diferentes métricas de red (OWD y IPDV) extremo a extremo. Dichos resultados muestran el rendimiento de las diferentes tecnologías cuando interactúan entre sí.

La figura 6 muestra el OWD y el IPDV extremo a extremo entre el cliente Ethernet y el WiFi. Tal y como esperábamos el retardo entre ambos terminales es adecuado para una aplicación con requisitos de tiempo real. El retardo medio es de **18,36ms** para el video y **32,31ms** para el audio. Puntualmente se registran retardos de hasta 350ms. Este aumento del retardo puntual se detecta tanto en el cliente Ethernet como en el WiFi así que probablemente se deba a una congestión puntual de la red.



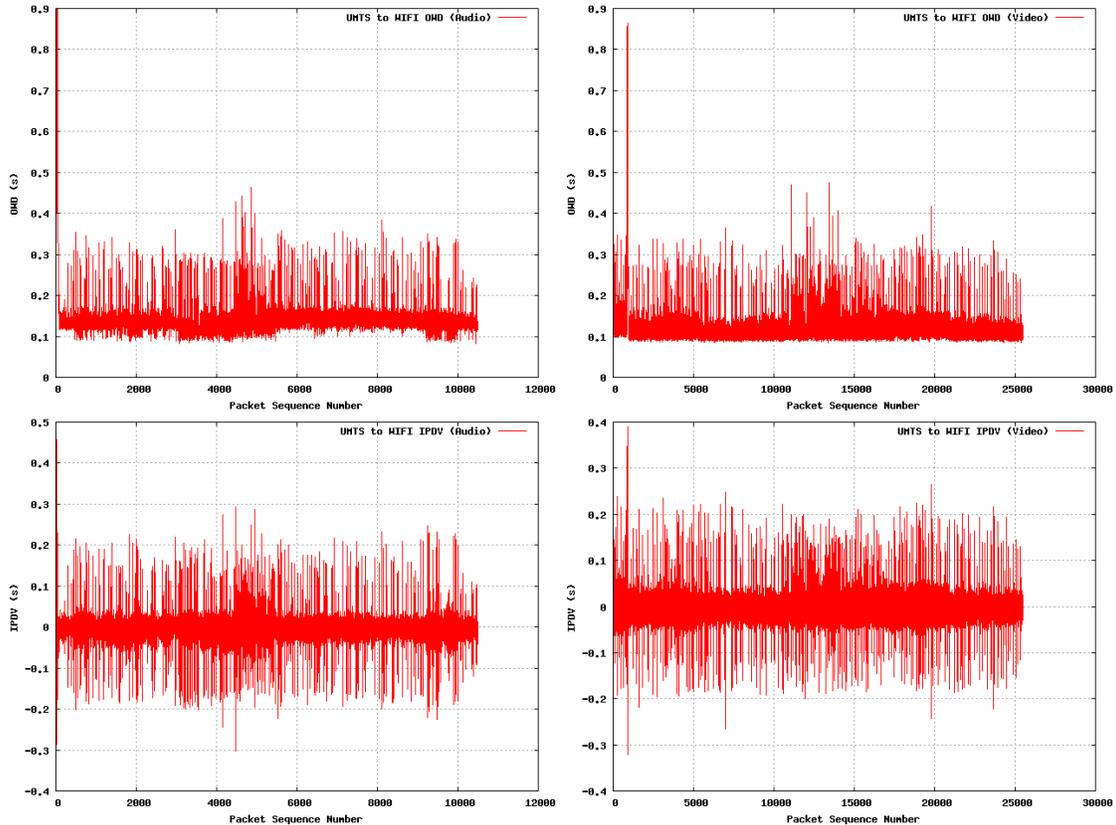
**Figura 6.-** OWD y IPDV entre el cliente Ethernet y el WiFi.

La figura 7 muestra el retardo extremo a extremo entre el cliente WiFi y el cliente UMTS, tal y como apuntaban los resultados anteriores los retardos son demasiado elevados para una aplicación como Isabel. Los resultados anteriores muestran que este elevado retardo es ocasionado por la red UMTS, en este caso en concreto el retardo medio se sitúa en **458ms** para el video y **413ms** para el audio con variaciones del retardo de hasta **1s**. Tal y como comentábamos anteriormente estas métricas muestran que UMTS no es una tecnología adecuada para aplicaciones como Isabel.



**Figura 7.-** Retardo (OWD) y Variación del retardo (IPDV) entre el cliente UMTS y el WiFi.

Si miramos el sentido inverso, es decir entre el cliente UMTS y el cliente WiFi (figura 8) vemos como el canal de subida de UMTS se comporta mejor que el de bajada (figura 7). En este caso el retardo medio para el video es de **122.11ms** mientras que para el audio es de **145.03ms**. La variación del retardo se comporta como en el anterior caso, centrado en el cero y con variaciones de aproximadamente **20ms**. La tabla 2 muestra también que el canal de subida pierde menos paquetes que el canal de bajada.



**Figura 8.-** Retardo (OWD) y Variación del retardo (IPDV) entre el cliente WiFi y el UMTS.

Finalmente la tabla 3 muestra los retardos medios entre los clientes (extremo a extremo). Tal y como hemos comentado anteriormente los clientes Ethernet y WiFi tienen retardos aceptables para flujos con requisitos de tiempo real mientras que el cliente UMTS sufre de retardos asimétricos dependiendo de si es el canal de subida o de bajada. En el canal de subida el retardo medio se sitúa alrededor del centenar de milisegundos mientras que en el canal de bajada es de casi 0.5s. Por el contrario los valores medios del IPDV no se muestran puesto que son siempre 0s. Esto se debe a que las variaciones de retardo son siempre alrededor de 0s.

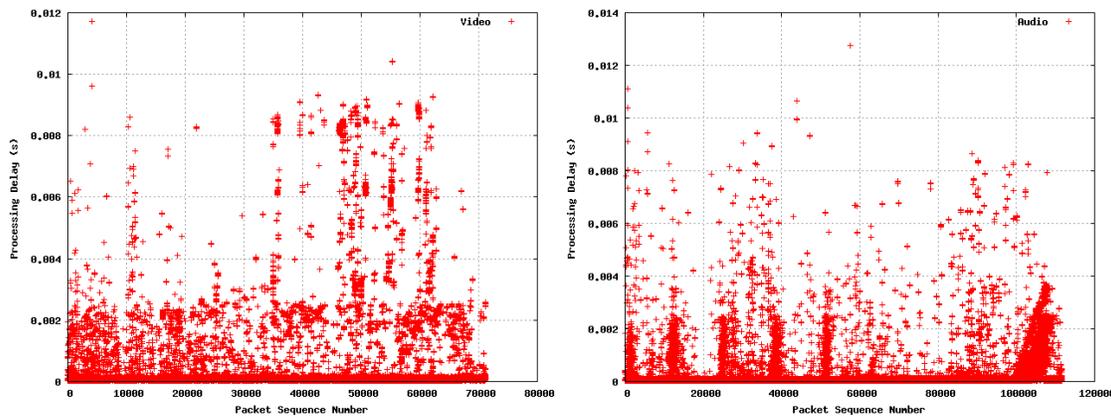
Audio	UMTS	ETH	WIFI	Video	UMTS	ETH	WIFI
UMTS		120,86ms	122,11ms	UMTS		144,47ms	145,03ms
ETH	461,47ms		18,36ms	ETH	546,33ms		32,31ms
WIFI	458,65ms	13,57ms		WIFI	413,21ms	14,21ms	

**Tabla 3.-** Retardos medios entre los diferentes clientes, las filas indican el origen mientras que las columnas el destino.

## RENDIMIENTO DEL FLOW-SERVER

En esta sub-sección se evalúa el rendimiento del flow-server. En este caso se han capturado todos los paquetes enviados y recibidos por el flow-server y se han buscado paquetes coincidentes (entre la recepción y la transmisión). Así pues las métricas mostradas se corresponden con el tiempo de procesamiento de los paquetes por parte del flow-server así como su tiempo de transmisión.

La figura 9 muestra el retardo en procesar los paquetes de audio y de video por parte del flow-server. En este caso el flow-server tarda una media de **1.56ms** en procesar y transmitir los paquetes de audio y de video. Se pueden apreciar unos patrones en los paquetes de audio, dichos flujos no tienen relación con los diferentes modos (o con cambios de modo) y es posible que se deban a cambios de contexto en el kernel de la máquina donde corre el flow-server.



**Figura 9.-** Tiempo de procesado por parte del flow-server de los paquetes de audio y video.

## CONCLUSIONES

El presente documento muestra los resultados de las pruebas estáticas del testbed del CEPOS. Dichas pruebas tienen como objetivo evaluar el rendimiento de una aplicación de videoconferencia como Isabel utilizando diferentes tecnologías de acceso.

Los resultados muestran que tanto para el cliente Ethernet como para el cliente WiFi los retardos, la variación del retardo y las pérdidas son aceptables y permiten una comunicación fluida. Sin embargo, los resultados del cliente UMTS indican que los paquetes se retrasan de forma asimétrica dependiendo de si el canal es de bajada o de subida. Concretamente en el canal de bajada el retardo medio se sitúa alrededor del medio segundo y las pérdidas alrededor del 50% mientras que en el canal de subida el retardo es de centenares de milisegundos y las pérdidas del 5%.

## REFERENCIAS

[1] Aplicación de Videoconferencia ISABEL <http://isabel.dit.upm.es/>

[2] Albert Cabellos, Jose Nuñez, Jordi Domingo, Estudio de la Desincronización de un Reloj no Disciplinado mediante Pruebas Activas. Informe del proyecto CEPOS, 2007

[3] Wireshark (online) <http://www.wireshark.org/>

[4] Sébastien Aperghis-Tramoni (online) <http://search.cpan.org/dist/Net-Pcap/>

[5] Albert Cabellos, Resultados de las pruebas estáticas distribuidas del proyecto CEPOS, Informe del proyecto CEPOS, 2007