

## DESEMPEÑO DEL ENLACE DE TELECOMUNICACIONES PARA EL REPOSITORIO DIGITAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO (UNRC)

**Marcelo L. Gioda, Fernando Corteggiano, Hector E. Magnago, Ivana Cruz and Daniel Anunziata**

*Laboratorio de Redes de Telecomunicaciones, Universidad Nacional de Río Cuarto, Ruta 36 Km. 601  
Río Cuarto, Córdoba, Argentina, [mgioda@ing.unrc.edu.ar](mailto:mgioda@ing.unrc.edu.ar), <http://www.ing.unrc.edu.ar>*

**Keywords:** Digital Repository, Multimedia, Desempeño de la red de telecomunicaciones.

**Abstract.** El presente trabajo aplica los conceptos de control de admisión y control de ancho de banda para maximizar la Utilidad Total, tomada como figura de mérito del desempeño de un enlace de telecomunicaciones, con el objetivo de analizar los parámetros que deben tenerse en cuenta en el dimensionamiento del vínculo entre un Servidor Multimedia y una red externa. Se han considerado más de un tipo de servicio brindado de forma concurrente. Se ha previsto que el sistema emplee diferenciación de servicios, mediante la implementación de colas con prioridades, para disminuir los retardos y pérdidas de paquetes de los servicios de streaming adaptivo multimedia con respecto a las aplicaciones que solicitan descarga de archivos.

Se espera que los resultados obtenidos ayuden a seleccionar la tecnología y dimensionar la capacidad del enlace, necesario para la distribución de contenidos del Repositorio Digital de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC).

## 1 INTRODUCCIÓN

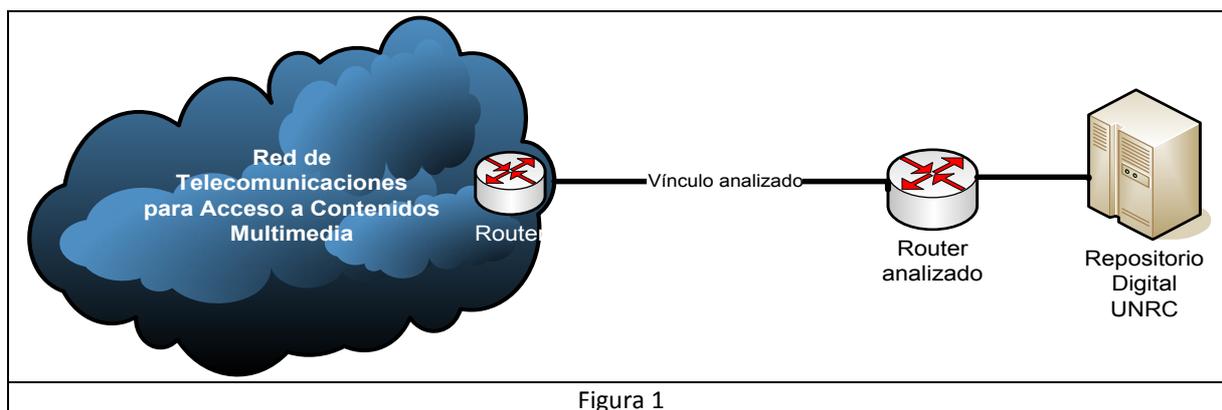
La Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC) proyecta crear un Repositorio Digital (Servidor y Base de Datos), y diseñar una adecuada estructura de red de telecomunicaciones para la correcta circulación y distribución de los contenidos del Repositorio.

El Repositorio Digital pondrá a disposición de toda la comunidad la producción científica y académica de la UNRC, además incluirá varias base de datos con contenidos multimedia de audio y video. Para tal fin es necesario desarrollar herramientas e instrumentos tecnológicos que permitan el adecuado dimensionamiento de una red de telecomunicaciones que vincule el Repositorio Digital de la UNRC con el exterior. Esto permitirá el acceso y distribución de los contenidos de una manera ágil y veloz.

El presente trabajo analiza parámetros y variables intervinientes en el desempeño de un enlace digital, con el objetivo de comprender las características a tener en cuenta en el dimensionamiento del vínculo de telecomunicaciones de un Servidor Multimedia con una red externa. Se espera que los resultados obtenidos ayuden a seleccionar el equipamiento y la capacidad del enlace necesarios para la distribución de contenidos del Repositorio Digital de la Universidad Nacional de Río Cuarto.

## 2 EL REPOSITORIO DIGITAL Y SU ENLACE CON EL EXTERIOR

La Figura 1 muestra el vínculo a analizar.



El vínculo analizado es el que garantiza la interconexión entre los contenidos del Repositorio Digital y la red de usuarios multimedia que desean acceder a dichos contenidos. Su adecuado dimensionamiento es fundamental para que la experiencia de acceder al servidor de contenidos no sea desalentadora. No son los mismos los requerimientos de velocidad de acceso para un texto almacenado en un servidor de correo electrónico que para un video con audio en tiempo real.

### 2.1 Los contenidos del Repositorio Digital

Si bien los servicios del Repositorio Digital pueden ser muy variados, en este análisis se han tomado las aplicaciones fundamentales a las cuales podrían acceder los usuarios: servicios multimedia en tiempo real y descarga de archivos.

Como servicios de streaming multimedia en tiempo real se considera a todo acceso a videos y audios que los usuarios ven y escuchan a medida que los paquetes van arribando al equipo cliente. Entre los anteriores, el servicio más exigente considerado aquí es el de streaming de aplicaciones multimedia, por ejemplo el acceso a videos bajo demanda (VoD

Video on Demand) almacenados en el Servidor del Repositorio.

Por descarga de archivos, se entiende aquel servicio que el usuario solicita y al cual no puede acceder o reproducir hasta que dispone de todo el archivo en su equipo. Se observa así que en la descarga pueden incluirse archivos no sólo de texto (tesis u otros), sino archivos multimedia que contienen audio, video o imágenes que no se podrán reproducir hasta que se descargue el archivo completo.

Hay variantes de los dos tipos de servicios (streaming y descarga de archivos). Por ejemplo el servicio ofrecido por YouTube ([www.youtube.com](http://www.youtube.com)) en Internet utiliza una variante de la descarga de archivos denominada “progressive download” (descarga progresiva) que no requiere la descarga completa del archivo antes de ser reproducido, ya que a medida que van llegando los datos del video multimedia este se va reproduciendo progresivamente. Si durante la descarga la velocidad del enlace se ve reducida, la reproducción del video se para hasta poder descargar más datos.

También existe la variante del servicio de streaming denominada streaming adaptivo, que por ejemplo emplea la codificación H.264 SVC (Scalable Video Coding) que es una mejora que toma como base la codificación de video mediante H.264 AVC (Advanced Video Coding). El streaming adaptivo permite variar la calidad del servicio (por ejemplo disminuyendo o aumentando la resolución horizontal y vertical del video) en tiempo real, adecuándola a la velocidad disponible en el enlace (Ozer, 2011).

Las aplicaciones de streaming de video actuales son de baja resolución de video y calidad de audio, debido fundamentalmente a que las velocidades que permiten los enlaces suelen ser también relativamente bajas. La técnica de velocidad constante (CBR o Constant Bit Rate) no es adecuada para la transmisión de los videos del tipo Full HD, pues esta definición tiene requerimientos de velocidad muy variables, necesitando altas tasas de transferencia cuando hay movimientos muy rápidos de la imagen pero mucha menos velocidad cuando la imagen se estabiliza en el tiempo. Los videos enviados con el servicio de streaming CBR requieren que la velocidad del enlace sea siempre un poco superior a la tasa definida como la de CBR de reproducción, por ello puede emplearse streaming CBR para bajas velocidades de acceso.

Cuando se proveen diferentes tipos de servicios a los cuales acceden una variedad de usuarios, que comparten un medio limitado como es el ancho de banda (la velocidad de transmisión) del vínculo de telecomunicaciones, se está obligado a dimensionar adecuadamente la capacidad a disponer en el enlace para que su utilización sea la óptima.

## 2.2 Los beneficios de la diferenciación de los servicios

Ambos servicios, streaming de video y descarga de archivos, requieren que se les asigne ciertas condiciones de desempeño en el enlace para que el usuario perciba que la calidad del servicio recibido es adecuada.

Si en un momento determinado, todos los usuarios que acceden al Repositorio Digital requieren el mismo servicio de descarga de archivos, es justo pensar que a cada uno de ellos se le asigne la misma velocidad de descarga ( $b$ ), es decir dividir la capacidad ( $C$ ) total de ancho de banda del enlace por la cantidad de usuarios ( $N$ ):

$$b = C / N \quad (1)$$

Los servicios de streaming de videos son más exigentes que los de descarga de archivos, al ser poco tolerantes a la pérdida de paquetes y al retardo en la transmisión. Por ejemplo, la reproducción de un documental por la red, requiere que los paquetes de audio y video estén

disponibles para su reproducción en el momento adecuado, sino se observan cuadrículados en la imagen, o su detención o, en el caso del audio, no es inteligible lo que se escucha.

Esta mayor exigencia de los servicios de streaming, lleva a una primera consideración: que se despliegue una estrategia de diferenciación en colas de espera (buffers) distintas, dándole prioridad a los paquetes de streaming multimedia en tiempo real en desmedro de los paquetes asociados a la descarga de archivos.

En (Heckmann, 2006) se modeliza este tipo de comportamiento de los vínculos, denominados “cuellos de botella”, en un apartado dedicado a los modelos de red con calidad de servicio. En base a ese modelo es que el presente trabajo analiza el desempeño que tendría el vínculo del Repositorio Digital de la UNRC.

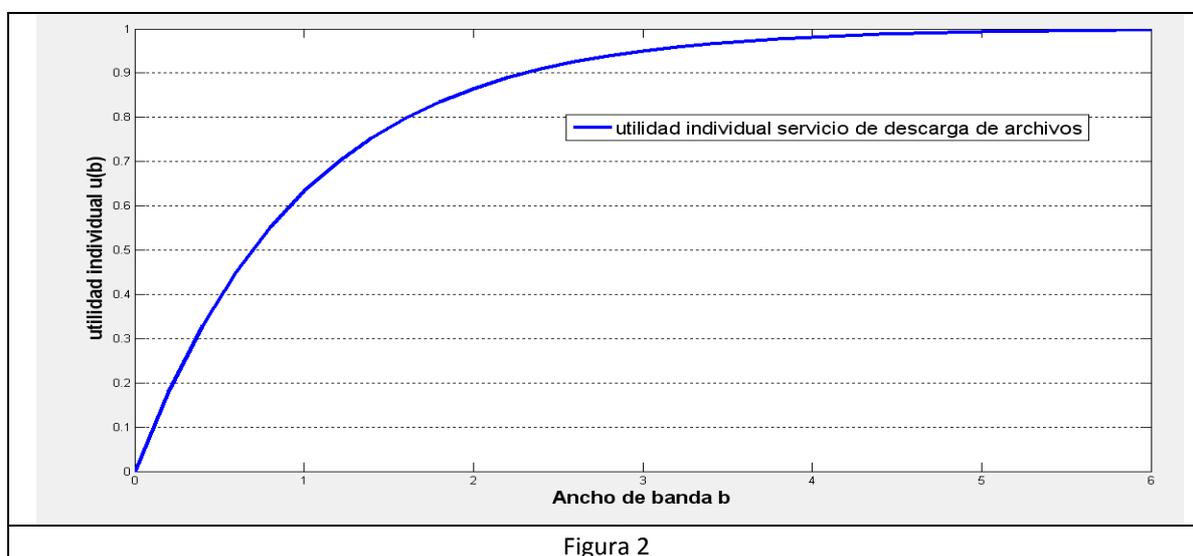
### 3 FUNCIONES DE UTILIDAD INDIVIDUAL Y TOTAL

El equipamiento y el enlace bajo análisis (ver Figura 1) son el router asociado al servidor del Repositorio Digital y el vínculo con la red de telecomunicaciones. En particular interesa dimensionar la capacidad ( $C$  en bit por segundo) del vínculo, asociada a la interface de salida del router, en función de la cantidad de tráfico solicitado por los usuarios de los diferentes servicios.

En una primera aproximación simplificada se supondrá que los usuarios acceden a un único servicio y que hay un número  $k$  de flujos idénticos servidos por un enlace con capacidad  $C$ . Siendo que el sistema es de alguna manera justo y asigna a cada flujo el mismo ancho de banda, este ancho de banda será  $b=C/k$ . Se utiliza el parámetro  $k$  (cantidad de flujos) en lugar del parámetro  $N$  (cantidad de usuarios) pues un mismo usuario podría mantener más de un flujo de acceso al Repositorio Digital (por ejemplo estar descargando varios archivos al mismo tiempo).

Para un usuario la utilidad del servicio al que accede representa una forma de evaluar su satisfacción con dicho servicio y en general crece con el ancho de banda que el enlace le brinda para acceder a ese servicio. Por lo tanto, la función de utilidad para cada flujo individual se denota como  $u(b)$  porque se entiende que depende del ancho de banda  $b$  asignado a ese flujo. La utilidad varía entre 0 (ninguna utilidad) y 1 (un servicio 100% útil).

En general el tráfico de transferencia de archivos tiene una función de utilidad cóncava, que disminuye su pendiente (el crecimiento de su función utilidad individual) a medida que más ancho de banda se tiene disponible (Figura 2).



Un ejemplo clarifica por qué el tráfico de transferencia de archivos disminuye su utilidad individual a medida que más ancho de banda se dispone. Tiene mayor utilidad aumentar en 20 Kbps el ancho de banda de un flujo que ya tiene 20 Kbps (pasa a disponer de 40 Kbps) que aumentarle 20 Kbps a un flujo que dispone de 20 Mbps (pasa a tener 20,02 Mbps). Al usuario que se le brinda el primer flujo nota claramente la mejora (pasa a tener el doble de ancho de banda) mientras que el segundo usuario casi no distingue (no aprecia utilidad) en que se le haya aumentado en 20 Kbps el ancho de banda.

El ejemplo anterior, permite entender por qué este comportamiento de la utilidad individual  $u(b)$  que aprecia un usuario, se representa con funciones cóncavas.

Si un flujo es rechazado por el control de admisión se le asignará cero ancho de banda  $b$  y tendrá una utilidad nula.

La Utilidad Total  $U$  (con mayúscula) es el beneficio o utilidad del conjunto de flujos considerados, representado matemáticamente por la suma de todas las utilidades individuales  $u(b)$ . La Utilidad Total es función de la cantidad  $k$  de flujos considerados:  $U(k)$ . Se entiende que si la máxima utilidad individual posible por flujo es 1, y la Utilidad Total es la suma de las utilidades individuales, entonces el máximo valor posible de  $U(k)$  es  $k$ .

Si la capacidad  $C$  de un enlace es dividida de igual manera entre los  $k$  flujos admitidos, entonces la función de Utilidad Total,  $U(k)$ , se puede expresar así:

$$U(k) = k \cdot u(C/k) = k \cdot u(b) \quad (2)$$

Se entiende que  $b=C/k$ , por estar dividido el ancho de banda total  $C$  entre todos los  $k$  flujos, suponiendo un sistema justo que asigna el mismo ancho de banda a todos los flujos.

Si la función  $u(b)$  es estrictamente cóncava, entonces la Utilidad Total  $U(k)$  es una función siempre creciente y en estos casos conviene permitir el acceso irrestricto al Repositorio Digital y no imponer un control de admisión, si lo que se busca es maximizar la Utilidad Total.

Las aplicaciones denominadas elásticas (que disminuyen el ancho de banda transmitido si observan pérdidas de paquetes por congestión en la red, por ejemplo) como la transferencia de archivos (mediante el empleo del protocolo TCP, por ejemplo, el cual tolera pérdidas, retrasos y alteración en el orden de los paquetes), tienen una función de utilidad individual  $u(b)$  cóncava pues cualquier ancho de banda adicional mejora la performance, aunque la mejora marginal decrece con  $b$ , para el mismo incremento de ancho de banda.

Por lo tanto conviene un sistema sin control de admisión cuando todo el tráfico es elástico del tipo de descarga de archivos.

Las aplicaciones estrictamente inelásticas, en el otro extremo, requieren un ancho de banda fijo, no toleran ninguna pérdida ni retraso en el arribo de los datos.

Si no se les brinda ese ancho de banda fijo, denominado  $\underline{b}$ , la utilidad o beneficio es cero y si se les da más ancho de banda que el necesario, no hay ningún beneficio extra. Por ejemplo, a un canal telefónico con tecnología PCM (Pulse Code Modulation) que requiere  $\underline{b}=64$  Kbps, si se le brinda menos de 64 Kbps no funciona (utilidad cero) y si se le otorga más ancho de banda, funciona igual (utilidad fija).

Si  $\underline{b}$  es el ancho de banda que necesita una aplicación inelástica, entonces se tendrá (Shenker 1995):

|   |  |     |
|---|--|-----|
| utilidad individual $u(b)$<br>$u(b)=0$ ; si $b < \underline{b}$<br>$u(b)=1$ ; si $b \geq \underline{b}$ | Utilidad Total $U(k)$<br>$U(k)=0$ ; si $k > C/\underline{b}$<br>$U(k)=k$ ; si $k \leq C/\underline{b}$ | (3) |
|---|--|-----|

En estos casos es claramente necesario un control de admisión que limite el acceso, para no superar el límite  $k=C/\underline{b}$ . Por ejemplo para un enlace telefónico que utiliza una trama E1 (32 Time Slots en total) el valor de  $C$  es 2,048 kbps y el de  $\underline{b}$  es de 64 kbps por canal telefónico.

El equivalente al tráfico inelástico a nivel de servicio de video es el que utiliza velocidad constante (CBR) pues si no está disponible esa tasa de bits se detiene la reproducción.

Entre los dos extremos (tráfico elástico y tráfico inelástico) están las aplicaciones con tráfico adaptivo, que adaptan la tasa de transmisión al ancho de banda disponible y toleran pérdida de paquetes y retardos si no son excesivos (aunque la calidad tiende a degradarse). Un ejemplo son los servicios de streaming adaptivos en tiempo real con codificación H.264 SVC (Scalable Video Coding).

La función de utilidad individual  $u(b)$  para estos casos, tiene forma de  $S$  inclinada, como puede apreciarse en la Figura 3 (Breslau and Shenker, 1998):

$$u(b)=1-\exp[-(b/\underline{b})^2/[0,62086+(b/\underline{b})]] \quad (4)$$

Se aclara que en las siguientes gráficas el ancho de banda  $b$  está normalizado con respecto a  $\underline{b}$ , de tal manera que la unidad de ancho de banda ( $b=1$ ) surge cuando  $b = \underline{b}$ .

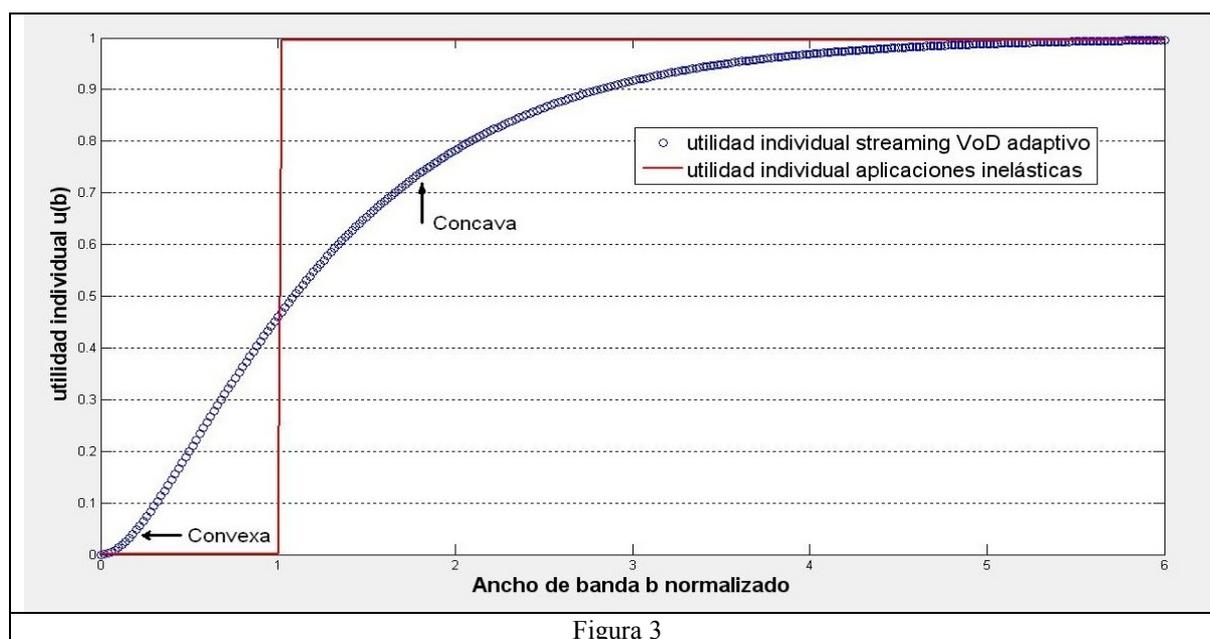


Figura 3

Para un ancho de banda  $b$  pequeño la utilidad de las aplicaciones de streaming multimedia adaptivas aumenta cuadráticamente (parte convexa). Para  $b$  mayores la utilidad se acerca lentamente a 1 (parte cóncava).

Lo interesante de los servicios de streaming de video multimedia en tiempo real adaptivos es su función de Utilidad Total (Figura 4). Esta función, que representa los beneficios del conjunto de los flujos (y usuarios) muestra un máximo para el ancho de banda óptimo de trabajo  $b_{opt}$  que se calcula así (Heckmann, 2006):

$$U(k_{opt}) = k.u(\underline{b}) = k.u(b_{opt}) = k.u(C/k_{opt}) \quad (5)$$

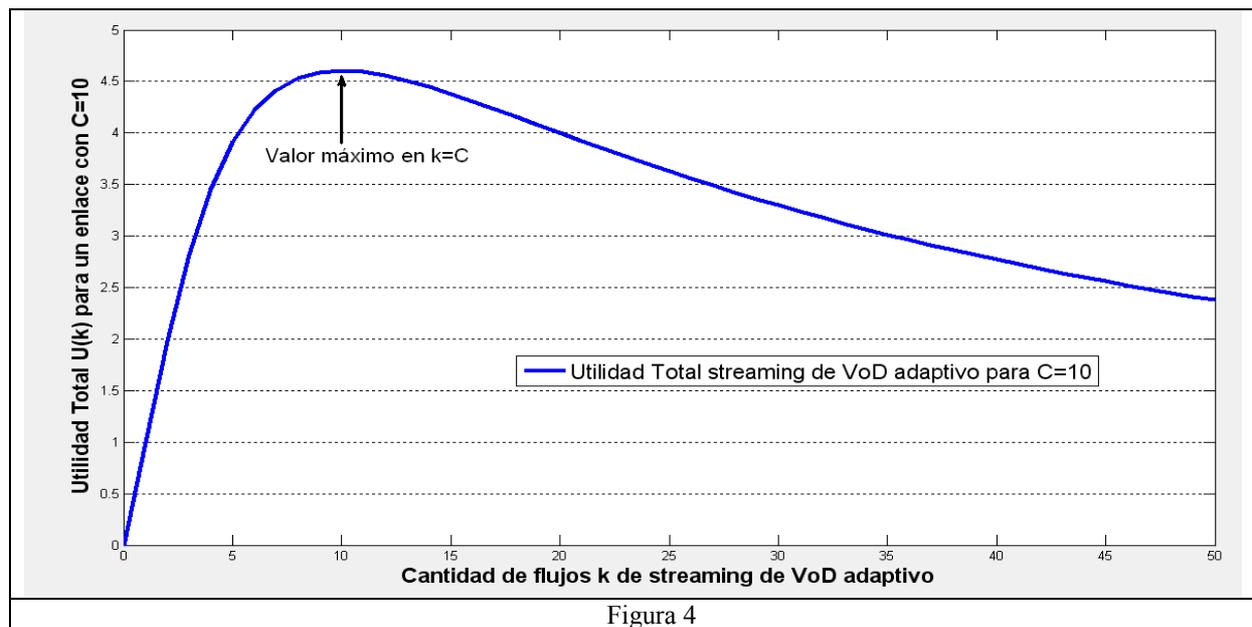


Figura 4

El ancho de banda óptimo  $b_{opt}$  es el que indica la cantidad de flujos  $k_{opt}$  que conviene admitir que accedan al Repositorio Digital al mismo tiempo, suponiendo que es un sistema justo que le brinda a todos el mismo ancho de banda  $b_{opt}$ . El valor 0,62086 utilizado en la ecuación (3) aparece cuando se fuerza a que el valor máximo de la Utilidad Total  $U(k)$  se obtenga en  $b=C/k=1=b_{opt}$ . En este caso queda:

$$u(b=b_{opt}) = 1 - \exp[-(b/b_{opt})^2/[0,62086+(b/b_{opt})]] = 1 - \exp[-(1)^2/[0,62086+(1)]] \quad (6)$$

Observar, que como  $b=C/k$ , cuando crece la cantidad de flujos  $k$  en la Figura 4, esto trae aparejado una disminución del ancho de banda  $b$  en la Figura 3, por lo que las Figuras 3 y 4 se comportan de manera inversa en cuanto a las variaciones en el eje de abscisas. Si hay una cantidad de flujos de streaming de VoD adaptivos menor a  $k_{opt}$ , no se tendrá el valor máximo de la Utilidad Total. Al mismo tiempo, el valor de  $b$  será mayor a  $b_{opt}$ , por ser  $b=C/k$  con  $k$  menor a  $k_{opt}$ , con una Capacidad  $C$  del enlace constante. En este caso la Utilidad Total  $U(k)$  será menor a la máxima pero la utilidad individual  $u(b)$  de los abonados será mayor a la  $u(b_{opt})$ , al poseer una  $b$  mayor a la  $b_{opt}$ .

Con tráfico adaptivo conviene usar control de admisión, impidiendo el ingreso de usuarios de streaming adaptivo para no superar  $k_{opt}$ , que se transforma así en la cantidad máxima de flujos admitidos, denominada  $k_{max}$ .

El control de admisión garantiza no continuar disminuyendo el ancho de banda  $b$  brindado a los flujos por ingreso de nuevas solicitudes de servicio, de tal forma de no caer en la parte convexa de la función de utilidad individual.

En el ejemplo de la Figura 4, para una Capacidad de 10 unidades, el control de admisión impediría que se solicitaran más de  $k_{max}=10$  flujos, para que el sistema trabaje con Utilidad Total máxima, hasta que la cantidad de flujos presentes disminuya por debajo de 10.

#### 4 ANCHOS DE BANDA SEGÚN LA CALIDAD DEL VIDEO Y EL AUDIO

En este punto es necesario comenzar a analizar las velocidades reales que requieren los servicios de streaming de video multimedia adaptivos, pues esto permitirá luego calcular para cada tipo de servicio su  $b_{opt}$ .

Desde un punto de vista práctico, la solución más sencilla es hacer el cálculo mediante herramientas disponibles en la Web como por ejemplo la que ofrece Adobe en su página ([http://www.adobe.com/devnet/flash/apps/flv\\_bitrate\\_calculator.html](http://www.adobe.com/devnet/flash/apps/flv_bitrate_calculator.html)), que tiene en cuenta parámetros técnicos (si son conocidas la relación de aspecto 4:3 o 16:9, definición 1920x1080 o 1280x720, etc) y parámetros subjetivos (video con mucho movimiento, calidad del audio alta, etc).

La Tabla 1 muestra las diferentes velocidades recomendadas en el sitio de Adobe según las características del audio y el video.

| CUADROS<br>POR SEG | RELACION<br>ASPECTO | RESOLUCION<br>HxV | CALIDAD<br>DE AUDIO | MOVIMIENTOS EN EL VIDEO |           |            |
|--------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------------|-----------|------------|
|                    |                     |                   |                     | LENTOS                  | PROMEDIO  | RAPIDOS    |
| 25 fps             | 4:3                 | 160x120           | BAJA                | 52                      | 94        | 178        |
|                    |                     |                   | MEDIA               | 71 Kbps                 | 113 Kbps  | 197 Kbps   |
|                    |                     |                   | ALTA                | 157                     | 199       | 398        |
|                    |                     | 320x240           | BAJA                | 178                     | 344       | 680        |
|                    |                     |                   | MEDIA               | 197 Kbps                | 364 Kbps  | 700 Kbps   |
|                    |                     |                   | ALTA                | 398                     | 565       | 901        |
|                    |                     | 480x360           | BAJA                | 386                     | 763       | 1518       |
|                    |                     |                   | MEDIA               | 406 Kbps                | 782 Kbps  | 1537 Kbps  |
|                    |                     |                   | ALTA                | 607                     | 984       | 1739       |
|                    |                     | 640x480           | BAJA                | 680                     | 1350      | 2690       |
|                    |                     |                   | MEDIA               | 700 Kbps                | 1369 Kbps | 2710 Kbps  |
|                    |                     |                   | ALTA                | 901                     | 1571      | 2911       |
|                    | 960x720             | BAJA              | 1518                | 3025                    | 6042      |            |
|                    |                     | MEDIA             | 1537 Kbps           | 3044 Kbps               | 6061 Kbps |            |
|                    |                     | ALTA              | 1739                | 3246                    | 6263      |            |
|                    | 16:9                | 640x360           | BAJA                | 512                     | 1015      | 2021       |
|                    |                     |                   | MEDIA               | 560 Kbps                | 1063 Kbps | 2069 Kbps  |
|                    |                     |                   | ALTA                | 733                     | 1236      | 2242       |
|                    |                     | 1280x720          | BAJA                | 2021                    | 4031      | 8053       |
|                    |                     |                   | MEDIA               | 2069 Kbps               | 4079 Kbps | 8101 Kbps  |
|                    |                     |                   | ALTA                | 2242                    | 4252      | 8274       |
|                    |                     | 1920x1080         | BAJA                | 4534                    | 9058      | 18107      |
|                    |                     |                   | MEDIA               | 4582 Kbps               | 9106 Kbps | 18155 Kbps |
|                    |                     |                   | ALTA                | 4754                    | 9278      | 18328      |

Tabla 1

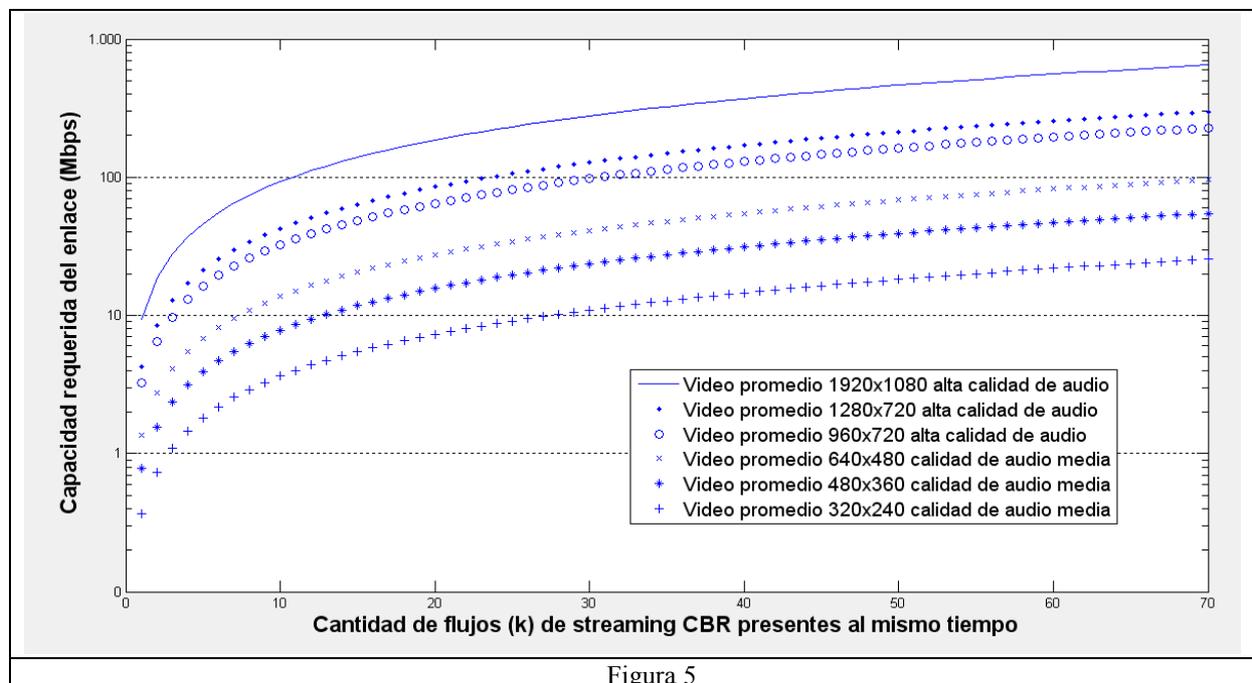
La calidad del audio baja corresponde al códec AAC (Advanced Audio Coding) monocal, muestreo de 11,025 KHz. La calidad de audio media corresponde al mismo códec monocal, muestreo de 22,050 KHz en todos los casos, salvo en el caso de las relaciones de

aspecto 16:9, que el audio de calidad media se considera stereo. La calidad de audio alta corresponde al códec AAC stereo, muestreo de 44,1 KHz.

Por ejemplo, para una resolución Full High Definition (1920x1080), con codificación H.264 AVC, relación de aspecto 16:9, a 25 cuadros por segundo, con un video con movimientos promedios (ni lentos ni rápidos), con audio AAC de alta calidad muestreado a 44,1 KHz, en stereo, la velocidad de transferencia adecuada para poder cumplir la calidad de servicio recomendada es  $b_{rec} = 9,278$  Mbps.

Es decir que si se considera este servicio multimedia Full HD mediante un streaming CBR es posible satisfacer cada flujo si se le brinda una velocidad constante de 9,278 Mbps a cada uno de ellos.

En función de lo calculado es posible graficar los requerimientos de ancho de banda según la cantidad de flujos esperados (Figura 5), considerando que el sistema es justo, brinda el mismo ancho de banda a todos los flujos y estos son de un mismo tipo (por ejemplo Full HD).



Como ejemplo, si el vínculo disponible para el enlace cuello de botella del Repositorio Digital es de 10 Mbps, se podrían tener hasta  $k=27$  flujos simultáneos de resolución 320x240 relación de aspecto 4:3, movimientos promedios y audio de alta calidad, accediendo a los contenidos de streaming multimedia con CBR. Si la cantidad de flujos esperada en el momento de mayor demanda es un poco mayor a  $k=50$  flujos simultáneos de resolución 320x240 de streaming CBR con movimientos promedio, entonces se necesita un enlace de 20 Mbps. Aún así, teniendo un enlace de 20 Mbps, este ancho de banda total no es adecuado para el servicio de streaming de video CBR en HD (Alta Definición 1280x720) o Full HD (1920x1080), pues en el primer caso sólo se podrían atender 4 o 5 flujos simultáneamente y en el segundo tan sólo un par o sólo un flujo (si el video es con movimientos rápidos).

De todas maneras, y para no abandonar el análisis de brindar servicios Full HD desde el Repositorio Digital de la UNRC, debe tenerse en cuenta que por la ciudad de Río Cuarto pasará la troncal de la Red Federal de Fibra Óptica que está construyendo el Ministerio de Planificación dentro del Plan Nacional “Argentina Conectada” y que se tienen previstas

interfaces de acceso denominadas de “Agregación Regional” de por lo menos 1 Gbps (1000 Mbps).

Si se pudiera vincular el enlace del Repositorio Digital con una de esas interfaces, entonces es factible pensar en brindar servicios Full HD de los que requieren 18,328 Mbps cada uno. Así se podría brindar el servicio a 55 flujos de streaming VoD adaptivo Full HD al mismo tiempo con alta calidad de audio y video con movimientos rápidos.

## 5 FUNCIONES DE UTILIDAD INDIVIDUAL

### 5.1 Utilidad individual para streaming de video CBR inelástico

El servicio de streaming de video del tipo Constant Bit Rate (CBR) es inelástico, rígido en cuanto a su comportamiento en función de la velocidad, y requiere que el ancho de banda del enlace con el usuario sea siempre igual o mayor a la velocidad constante CBR a la cual el servidor envía los datos del video. La curva de utilidad individual que corresponde con el tipo de servicio de streaming de video CBR inelástico, responde a las ecuaciones (3) y tiene una gráfica representada por una función escalón en la Figura 3. Acá la velocidad CBR es igual al ancho de banda fijo  $b$  indispensable para que la reproducción pueda realizarse, caso contrario el usuario percibe una utilidad individual nula (por debajo del ancho de banda constante  $CBR=b$ ).

Por ejemplo para un video HD de 960x720 con movimientos rápidos y calidad de audio media, con relación de aspecto 4:3, el requerimiento de ancho de banda es de 6,061 Mbps lo cual, para un enlace de Capacidad  $C=20$  Mbps implica que no se podrá brindar el servicio si se alcanza la cantidad  $k=4$  (o más) flujos simultáneos ( $20/6,061=3,3$ ).

Observar que si hay 3 flujos, suponiendo un sistema justo y asigna el mismo ancho de banda a todos los flujos, cada uno dispondrá de 6,667 Mbps, que por ser mayor a 6,061 Kbps, llevaría a una utilidad individual máxima y unitaria (100% de satisfacción con respecto al servicio requerido por cada usuario/flujo) y por lo tanto, por la fórmula de cálculo de la Utilidad Total  $U(k)=k=3$ . Pero si se permite que ingrese un flujo más y  $k=4$ , entonces el ancho de banda disponible será de 5 Mbps por flujo, que está por debajo de los 6,061 Mbps que es el CBR requerido, y por lo tanto  $U(k)$  cae abruptamente a cero, como se muestra en la Figura 6.

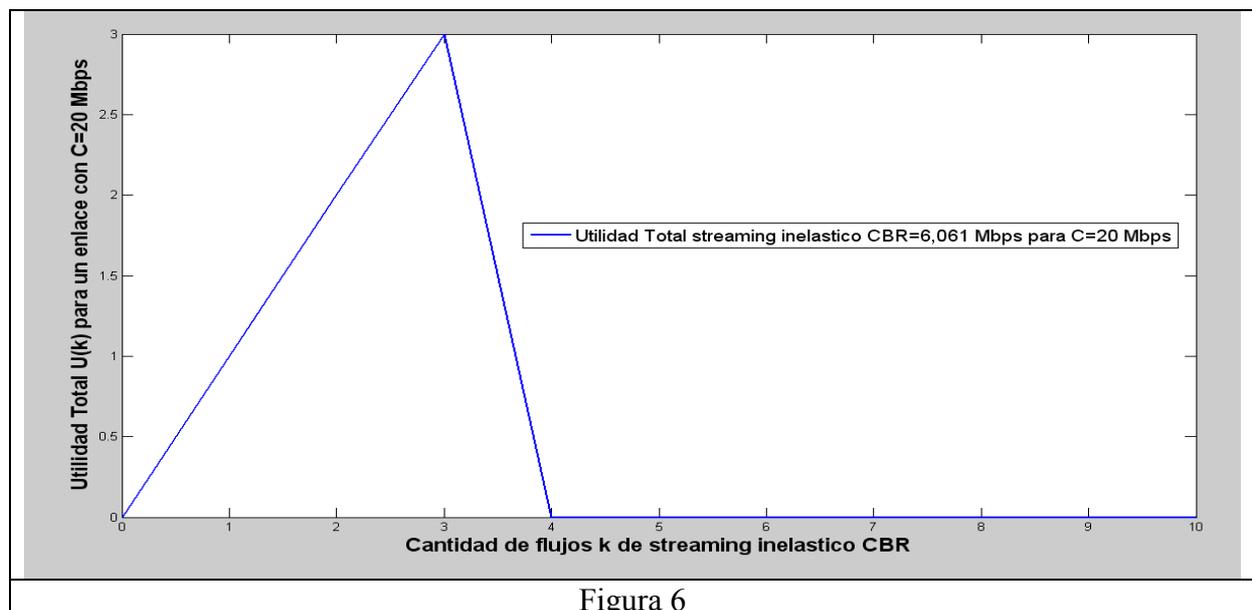


Figura 6

Si el servicio a brindar es de streaming de video CBR inelástico para flujos con requerimiento de ancho de banda unitario, la Utilidad Total  $U(k)=k$  crecerá a medida que crezca la cantidad de flujos solicitados hasta que llegue a  $k_{max} = [C/b] = [C/CBR]$  donde el sistema de control de admisión deberá frenar el ingreso de nuevos requerimientos sino se corre el riesgo de caer a Utilidad Total nula,  $U(k)=0$ .

## 5.2 Utilidad individual para streaming de video adaptivo

El streaming de video adaptivo posee una tasa de velocidad variable (Variable Bit Rate o VBR). El códec de video H.264 SVC es empleado para el streaming de video adaptivo. H.264 SVC define un servicio denominado Baseline (base), el cual puede ser mejorado aumentando la calidad y resolución del video si se dispone de más ancho de banda que el necesario con respecto a la calidad Baseline.

Para poder soportar, al igual que la mayoría de los videos en [www.youtube.com](http://www.youtube.com), una resolución de 320x240 con relación de aspecto 4:3, calidad de audio media y movimientos del video rápidos, según la Tabla 1, debe emplearse la velocidad base recomendada de 700 Kbps para H.264 SVC. De esta manera es posible disponer de un servicio adaptivo con calidades de video mejoradas (incluso con movimientos rápidos) basadas en resoluciones mayores, como serían las de 480x360 (1,537 Mbps recomendados), la standard de 640x480 (2,710 Mbps) y HD de 960x720 (6,061 Mbps). Esto significa que si un usuario solicita el servicio de streaming de video, mediante la codificación con H.264 SVC adaptiva, es posible ofrecerle diferentes resoluciones según la disponibilidad de ancho de banda en el enlace.

Se puede utilizar una ecuación para la utilidad individual para servicios de streaming de video adaptivos, denominada  $u_{adap}$  que sea coherente con las velocidades reales obtenida de la página de Adobe ([http://www.adobe.com/devnet/flash/apps/flv\\_bitrate\\_calculator.html](http://www.adobe.com/devnet/flash/apps/flv_bitrate_calculator.html)) o de los cálculos que aparecen en (Reinhardt 2007). Así, para una relación de aspecto 4:3, movimientos rápidos del video y calidad media del audio:

$$u_{adap}(b) = 1 - \exp[-(b/700\text{Kbps})^2 / [0,62086 + (b/700\text{Kbps})]] \quad (8)$$

En este caso, la función de utilidad individual para streaming adaptivo usa como velocidad base (Baseline) 700 Kbps. Si se dispone de ancho de banda suficiente para brindar una calidad de video HD (6,061 Mbps), entonces  $u_{adap}(b=6,061\text{Mbps}) = 0,9997$ . Este valor de utilidad individual está muy cerca de 1, la satisfacción más alta del usuario. Una utilidad individual del 100% ( $u(b)=1$ ), no es alcanzable a través de esta función utilidad para servicios adaptivos, pues requeriría un ancho de banda  $b=\text{infinito}$ .

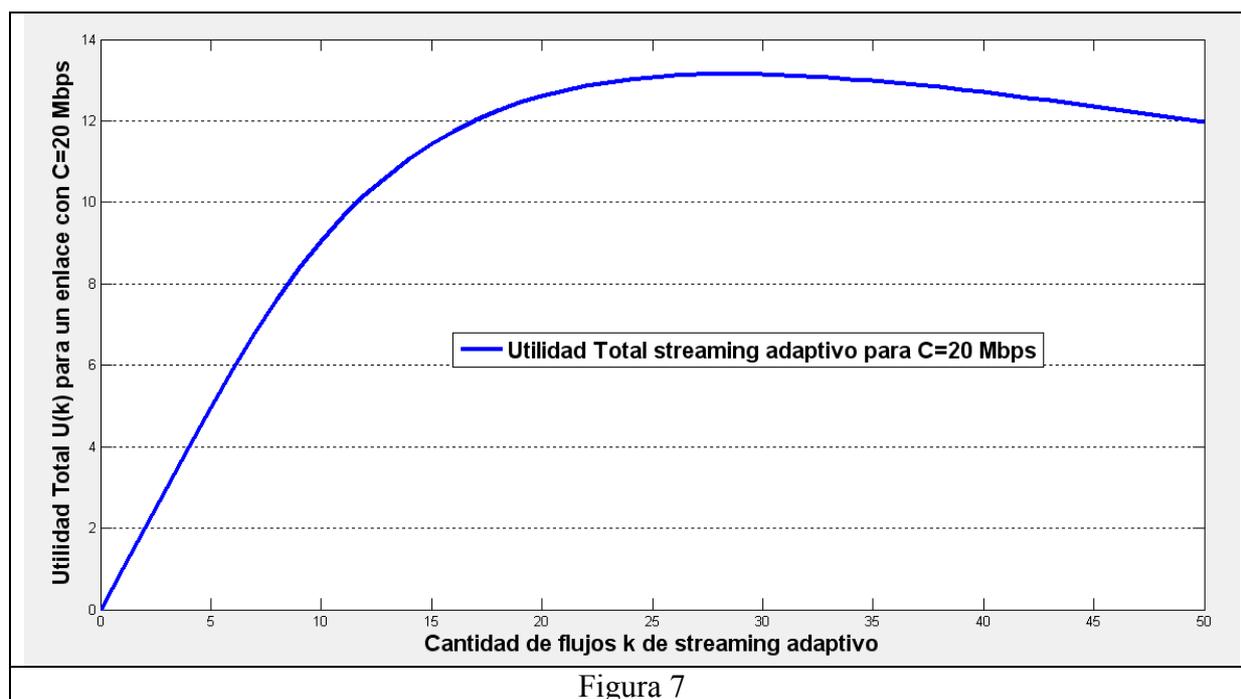
La utilidad individual apreciada por el usuario varía de forma más suave en este caso, comparado con un servicio de streaming inelástico con  $CBR=b=6,061$  Mbps, por ejemplo. Con CBR inelástico si se tienen más de 6,061 Mbps la  $u(b)=1$  pero si se tienen 700 kbps (la velocidad base para una resolución de 320x240 similar al servicio ofrecido en la mayoría de los casos por [www.youtube.com](http://www.youtube.com)) la utilidad individual es 0 mientras que en streaming adaptivo su valor es de  $u(b=0,7\text{Mbps}) = 0,4604$ . Más aún si el ancho de banda disponible para un flujo es  $b=2,71$  Mbps, el streaming adaptivo brinda una resolución de 640x480, logrando una  $u(b=2,71 \text{ Mbps}) = 0,9644$  o 96,44% de utilidad para el usuario contra 0 si se hubiera empleado streaming CBR inelástico.

La ecuación general de streaming adaptivo entonces será:

$$u_{adap}(b) = 1 - \exp[-(b/b_{base})^2 / [0,62086 + (b/b_{base})]] \quad (7)$$

Comparando (8) y (6) se aprecia que el ancho de banda óptimo, el cual permitirá maximizar la Utilidad Total de los servicios de streaming adaptivos con H.264 SVC, será la velocidad base (Baseline) de 0,7 Mbps, para este caso. Así  $b_{opt}=b_{base}$ .

La curva de Utilidad Total para streaming adaptivo se puede ver en la Figura 7 para un enlace de 20 Mbps y un servicio de streaming adaptivo con resoluciones máximas en HD de 960x720, relación de aspecto 4:3, video con movimientos rápidos y calidad de audio media.



La Utilidad Total que se observa para el streaming adaptivo tiene un máximo mayor a 13, valor muy superior al máximo de 3 que alcanzaba el servicio de streaming CBR, para una Capacidad del enlace de 20 Mbps. Cuando hay 28 flujos, la velocidad brindada a cada flujo es de 714 Kbps, que es superior a los 700 Kbps requeridos para un servicio con resolución de 320x240 con movimientos rápidos y calidad media de audio.

Cuando la cantidad de flujos es de 3 la Utilidad Total del streaming adaptivo H.264 SVC es de 2,9996, muy cercana a la ideal máxima de 3 que brinda el servicio CBR (ver Figura 6). En este caso como  $k=3$  la velocidad disponible para cada flujo es superior a 6,667 Mbps, con lo cual a los usuarios se les puede brindar el servicio en HD de 960x720, relación de aspecto 4:3, video con movimientos rápidos y calidad de audio media, pues el ancho de banda es superior a la velocidad recomendada de 6,061 Mbps.

De estas comparaciones surge la convicción que la implementación de servidores de streaming adaptivos resulta en una Utilidad Total superior en la mayoría de los casos, con respecto a los servidores de streaming inelástico CBR.

### 5.3 Utilidad individual y total para aplicaciones elásticas

Para la función utilidad individual de las aplicaciones elásticas de descarga de archivos  $u_{elast}(b)$ , lo que hace falta es que en  $b = b_{opt}$  se cumpla que ambas utilidades individuales  $u_{elast}(b_{opt})$  y  $u_{adapt}(b_{opt})$  sean iguales, porque allí es donde se desea que trabaje el sistema en forma óptima, mediante el doble control de admisión y ancho de banda. Por lo tanto la

función exponencial asociada a los flujos de descarga de archivos será la siguiente:

$$u_{elast}(b) = 1 - \exp[-(b/[1,62086 \cdot b_{opt}])] \quad (9)$$

Esta función de utilidad individual para  $b = b_{opt}$  logra que  $u_{elast}(b_{opt}) = u_{adap}(b_{opt})$ , es decir que la utilidad individual de los servicios elásticos de descarga de archivos y de streaming tengan el mismo valor en ese punto de trabajo (ancho de banda destinado a cada servicio).

El valor de ambas funciones de utilidad es el mismo:  $u(b_{opt}) = 0,4604 = 1 - \exp[-(b/1,62086)]$

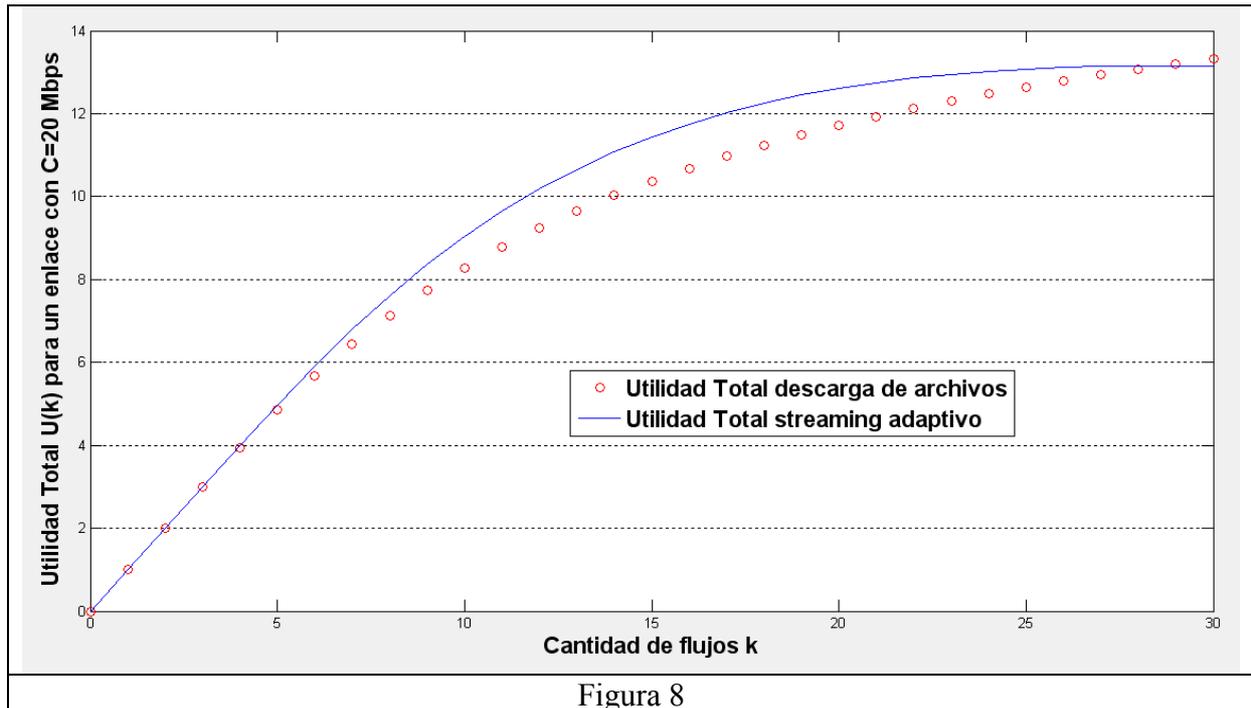


Figura 8

Comparando las funciones de Utilidad Total del tráfico elástico de descarga de archivo con el servicio de streaming adaptivo (Figura 8), se observa que para un enlace de 20 Mbps, hasta 28 flujos es conveniente tener un servidor en el Repositorio Digital que brinde el servicio de streaming adaptivo, pero a partir de más de 28 flujos cuando la velocidad que se le puede brindar a cada flujo cae por debajo de los 700 Kbps, que es la Baseline de H.264 SVC, es preferible el servicio de descarga de archivos de forma progresiva (progressive download) similar al de YouTube. A partir de esa cantidad de flujos, el servicio de streaming adaptivo comienza a tener una merma en su Utilidad Total, mientras que el de tráfico elástico de descarga de archivos de forma progresiva crece muy lentamente.

A partir de 30 flujos, al disponer poca velocidad para cada flujo, el servicio elástico de video por descarga progresiva, aún cuando obtenga mayor Utilidad Total con respecto a los servicios adaptivos, va a sufrir una merma considerable en la calidad con muchas detenciones para esperar la llegada de datos suficientes.

De estas comparaciones surge la necesidad de los análisis de tráfico y demanda de servicios para poder estimar qué probabilidades existen de tener una cantidad de flujos solicitados mayor a  $k_{max}$ . Si las probabilidades de superar  $k_{max}$  son grandes entonces conviene utilizar la técnica de descarga progresiva (progressive download) mientras que en el caso contrario conviene emplear servidores de streaming adaptivo.

## 6 FLUJOS DE STREAMING DE VIDEO Y DE DESCARGA DE ARCHIVOS

En los análisis anteriores se consideró cada servicio (descarga de archivos elástica, streaming CBR inelástico y streaming adaptivo) en forma individual. Se apreció en la Figura 6 que la función de Utilidad Total del servicio de streaming CBR cae abruptamente cuando el ancho de banda  $b=C/k$  que se le asigna a cada uno de los  $k$  flujos es menor al que requiere la aplicación ( $\tilde{b}=CBR$ ). Esto no ocurre con el streaming adaptivo que tiene un comportamiento similar en cuanto al crecimiento de la Utilidad Total desde  $k=0$ , mientras va aumentando la cantidad de flujos que acceden al Repositorio Digital, pero cuando los anchos de banda disponibles para cada usuario disminuyen por el aumento de la cantidad de flujos, el servicio adaptivo todavía puede ser de utilidad, disminuyendo la calidad (y la utilidad individual), por ejemplo reduciendo la resolución de HD (High Definition) a Standard y luego a resoluciones menores.

Si no hay grandes probabilidades que la cantidad de flujos supere  $k_{max}$ , entonces es conveniente poseer un servidor de streaming adaptivo, desde el punto de vista de maximizar la Utilidad Total. Sin embargo, en general, con el servicio de streaming adaptivo se suele superponer el tráfico elástico de descarga de archivos, bajo protocolo TCP/IP. Para esta superposición de servicios la solución sugerida es la de implementar un sistema de colas con prioridades y un control de ancho de banda que destine un porcentaje de la Capacidad total  $C$  para las aplicaciones prioritarias de streaming adaptivo y el resto para los servicios elásticos de descarga de archivos.

La Capacidad total  $C$  del enlace queda dividida en dos anchos de banda: el ancho de banda total para flujos adaptivos ( $b_{TOT\_adap}$ ) y el ancho de banda total para flujos elásticos ( $b_{TOT\_elast}$ ), de tal forma que  $C=b_{TOT\_adap}+b_{TOT\_elast}$ .

Se debe disponer en el router de un sistema controlador del ancho de banda de cada tipo de flujo, con colas que puedan acondicionar el tráfico (por ejemplo empleando el algoritmo de “token bucket” para controlar el ancho de banda), para poder destinar, a los flujos que necesitan un cierto ancho de banda, la velocidad adecuada al servicio solicitado:  $b_{adap}$  (para servicios de streaming) o  $b_{elast}$  (para descarga de archivos).

El ancho de banda total a asignar a los flujos adaptivos depende de la cantidad de flujos adaptivos que se tengan y de las velocidades adaptivas (Baseline y superiores) que se necesiten según la relación de aspecto considerada, la resolución, los movimientos del video y la calidad de audio.

Para el ejemplo de servicios adaptivos H.264 SVC para poder soportar una resolución de 320x240 con relación de aspecto 4:3, calidad de audio media y movimientos del video rápidos se necesita una  $b_{base}=0,7$  Mbps y se pueden brindar calidades de video mejoradas (incluso con movimientos rápidos) basadas en resoluciones mayores, como serían las de 480x360 (1,537 Mbps recomendados), la standard de 640x480 (2,710 Mbps) y HD de 960x720 (6,061 Mbps). Las diferentes velocidades adaptivas de un flujo tienen un ancho de banda  $b_n$ , que para el ejemplo anterior serán  $b_{base}=b_0=0,7$  Mbps;  $b_1=1,537$  Mbps;  $b_2=2,710$  Mbps y  $b_3=6,061$  Mbps.

El ancho de banda óptimo para servicio adaptivo supone la utilización de un controlador de ancho de banda que destina un cierto ancho ( $b_{TOT\_adap}$ ) a dividirse entre la cantidad de flujos adaptivos ( $k_{adap}$ ). La utilidad de este controlador es no asignarle más ancho de banda a los flujos adaptivos que el necesario y recomendado, de acuerdo a la Capacidad  $C$  del enlace. Suponiendo  $C=20$  Mbps, por ejemplo, y existiendo sólo un flujo adaptivo ( $k_{adap}=1$ ) no es conveniente destinar a dicho flujo adaptivo un ancho de banda mayor a  $b_3=6,061$  Mbps que es la mayor velocidad requerida según el ejemplo aquí considerado. Así el ancho de banda restante queda disponible para los flujos de descarga de archivos. Si la cantidad de flujos

adaptivos es 3, el ancho de banda total para flujos adaptivos será  $3 \times 6,061 \text{ Mbps} = 18,183 \text{ Mbps}$ . A medida que van accediendo más flujos adaptivos, H.264 SVC pasa a una resolución menor, pues el ancho de banda disponible va disminuyendo. El mayor ancho de banda total para flujos adaptivos es  $b_{TOT\_adap} = 28 \times 0,700 \text{ Mbps} = 19,600 \text{ Mbps}$ , correspondiente al acceso de  $k_{adap} = 28 = k_{max}$  flujos adaptivos. Ese es el límite máximo de ancho de banda a brindar a los flujos adaptivos prioritarios y el límite máximo en cuanto a flujos adaptivos que conviene permitir acceder al sistema. A partir de esta cantidad de flujos adaptivos, para cualquier nueva solicitud de acceso, es conveniente brindarle un servicio elástico, desde el punto de vista de maximizar la Utilidad Total del sistema.

El controlador de ancho de banda de flujos adaptivos será el encargado de asignar la cantidad de Mbps que debe tener  $b_{TOT\_adap}$ , que será función de la cantidad  $k_{adap}$  de flujos adaptivos presentes. También el ancho de banda total de los servicios elásticos de descarga de archivos  $b_{TOT\_elast}$  es función de la cantidad de flujos de streaming adaptivo presentes, los cuales tienen mayor prioridad que los flujos de descarga de archivos.

Acá debe tenerse en cuenta que los flujos tomarán todo el ancho de banda disponible que se les brinde, y se dividirán el ancho que se les asigne en partes iguales (suponiendo RTT Round Trip Time similares para cada flujo TCP). Por lo que se tendrá:

$$b_{adap} = b_{TOT\_adap}/k_{adap} \quad ; \quad b_{elast} = b_{TOT\_elast}/k_{elast} = [C - b_{TOT\_adap}]/k_{elast} \quad (10)$$

Este sistema con servicios mixtos tendrá una Utilidad Total que dependerá no sólo de la cantidad de flujos de streaming adaptivo  $k_{adap}$ , sino también de la cantidad de flujos elásticos de descarga de archivos  $k_{elast}$ , así:

$$U(k_{adap}, k_{elast}) = k_{adap} \cdot u_{adap}(b_{adap}) + k_{elast} \cdot u_{elast}([C - k_{adap} \cdot b_{adap}]/k_{elast}) \quad \text{con } k_{adap} \leq k_{max} \quad (11)$$

## 7 DESEMPEÑO DEL ENLACE APLICANDO DIFERENCIACION DE SERVICIOS Y CONTROL DE ADMISION Y ANCHO DE BANDA

Debe señalarse que para poder satisfacer las condiciones anteriores debe existir un sistema de colas con prioridades diferentes para cada servicio (streaming adaptivo por un lado y descarga de archivos por el otro), control de ancho de banda (por ejemplo token bucket) para la cola que sirve los flujos de streaming adaptivo para limitar el ancho de banda consumido por estos al óptimo ( $k_{adap} \cdot b_{opt}$ ) y control de admisión para evitar que la cantidad de flujos de streaming multimedia no supere la cantidad  $k_{max}$ .

Con estas consideraciones previas implementadas es posible graficar el desempeño del enlace “cuello de botella” del Repositorio Digital, evaluando el comportamiento de la función de Utilidad Total según los diferentes parámetros  $C$ ,  $b_{base} = b_{opt}$ ,  $k_{adap}$ ,  $k_{elast}$ , (Capacidad del enlace, ancho de banda baseline requerido por el servicio de streaming adaptivo brindado, cantidad de flujos de streaming, cantidad de flujos de descarga de archivos).

En la Figura 9 se muestran los resultados para un enlace con  $C = 20 \text{ Mbps}$ ,  $k_{elast}$  con valores de 1, 2, 12 y 40 flujos elásticos de descarga de archivos;  $k_{adap}$  variable entre 1 y 50 flujos adaptivos;  $b_{base} = b_{opt} = 700 \text{ Kbps}$  correspondiente a un servicio baseline con H.264 SVC para poder soportar una resolución de  $320 \times 240$  con relación de aspecto 4:3, calidad de audio media y movimientos del video rápidos, y calidades de video mejoradas (incluso con movimientos rápidos) basadas en resoluciones mayores, como serían las de  $480 \times 360$  (1,537 Mbps recomendados), la standard de  $640 \times 480$  (2,710 Mbps) y HD de  $960 \times 720$  (6,061 Mbps).

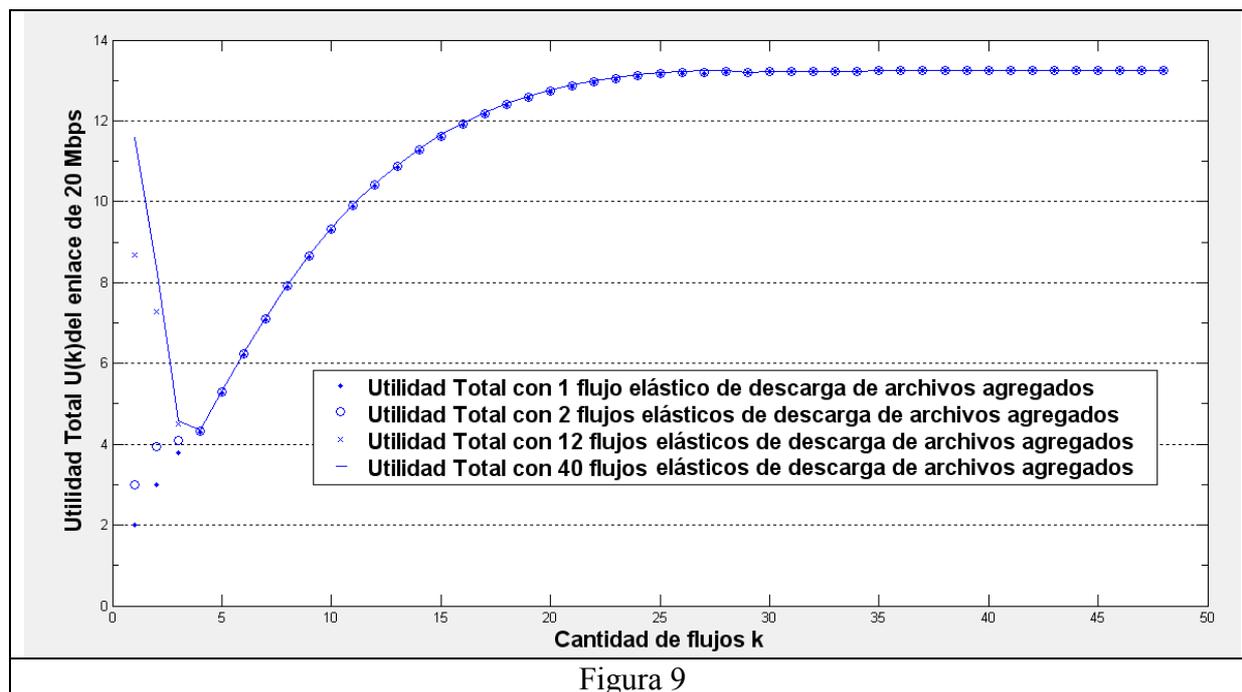


Figura 9

Debe recordarse, para entender los resultados de la Figura 9, que la función de utilidad individual de los flujos de descarga de archivos, los cuales representan servicios elásticos que pueden asociarse al uso del protocolo TCP, se comporta de tal forma que mientras más flujos acceden, más crece la Utilidad Total, pero esto va en desmedro del ancho de banda brindado a cada flujo.

Para la interpretación de esta curva se parte del hecho, comentado anteriormente, que un enlace de 20 Mbps, cuando brinda servicios de streaming de video adaptivo de resolución HD con ancho de banda recomendado de 6,061 Mbps, sólo podrá cumplir con el requerimiento hasta que la cantidad de flujos llegue a 3 (punto de confluencia de todas las curvas de descarga de archivos). Si sigue aumentando la cantidad de solicitudes de servicio de flujos de streaming de VoD adaptivos, la utilidad individual de cada flujo de streaming va a caer por debajo del valor 0,9996 pues la  $b = C/k_{adap}$  será menor a la  $b_{rec}$ , sin embargo, la Utilidad Total aumenta hasta llegar a  $k_{max} = k_{opt} = 28$  flujos adaptivos de manera similar a lo visto en la Figura 7. Cuando  $k_{max} = k_{opt}$ , se cumple que los flujos de streaming adaptivos tendrán un ancho de banda  $b_{base} = b_{opt} = 0,700$  Mbps.

A partir de allí si continúan solicitándose servicios el sistema de control de acceso impide brindar nuevos servicios adaptivos y sólo brinda accesos elásticos de descarga de archivos, por eso la Utilidad Total no cae como lo haría si se permitiera continuar el acceso a flujos adaptivos.

La diferenciación de curvas que ocurre a la izquierda del punto de confluencia de las tres funciones de Utilidad Total, es decir, en la zona donde la cantidad de flujos de streaming adaptivos es menor a 3, se explica porque a mayor cantidad de flujos de descarga de archivos mayor será la Utilidad Total mientras más ancho de banda dispongan para la descarga de archivos. Se recordará que el ancho de banda total para descarga de archivos es  $b_{TOT\_elast}(k_{adap}) = C - k_{adap} \cdot b_{adap}$ , por lo que irá disminuyendo a medida que aumenta la cantidad de flujos de streaming adaptivo  $k_{adap}$ .

El ancho de banda de los flujos de streaming adaptivos hasta llegar a  $k_{adap} = 3$ , es el ancho

de banda recomendado para resolución HD  $b_{rec} = 6,061$  Mbps porque el acondicionador de tráfico (token bucket) del router así lo dispone. Cuando la cantidad de flujos de streaming de VoD adaptivos supera los 3 el control de ancho de banda deja de actuar, prioriza los servicios de streaming adaptivos (gracias a colas o buffers diferenciados para cada servicio) y deja el resto de ancho de banda brindado a los servicios de descarga de archivos. Como se dijo anteriormente, a partir de allí, si siguen solicitándose servicios de streaming de VoD adaptivos, conviene instaurar un control de admisión que los limite al llegar a  $k_{max}$ .

En la Figura 10 se muestran los resultados para un enlace con  $C=100$  Mbps que transmite servicios hasta Full HD, con una resolución base standard,  $k_{elast}$  con valores de 1, 2, 12 y 40 flujos elásticos de descarga de archivos;  $k_{adap}$  variable entre 1 y 50 flujos adaptivos;  $b_{base} = b_{opt} = 2,069$  Mbps correspondiente a un servicio baseline con H.264 SVC para poder soportar una resolución de 640x360 con relación de aspecto 16:9, calidad de audio media stereo y movimientos del video rápidos, y calidades de video mejoradas (incluso con movimientos rápidos) basadas en resoluciones mayores, como serían las de 1280x720 (8,101 Mbps recomendados) y Full HD de 1920x1080 (18,155 Mbps).

Se observa en la Figura 10, que el punto de confluencia de todas las curvas se ubica en  $k=6$  flujos de streaming adaptivo y la Utilidad Total allí ( $U(k=6)$ ) es superior a 5. Cuando la cantidad de flujos adaptivos supera los 45 se acerca al máximo valor de Utilidad Total. A partir de  $k_{max}$  no se permiten más solicitudes de streaming adaptivo, y a las nuevas solicitudes se las atiende con los servicios de descarga de video. Para valores de  $k$  menores a 6, las curvas no son coincidentes y dependen de la cantidad de flujos elásticos que están siendo atendidos junto con los flujos adaptivos. Mientras más flujos elásticos existen, mayor será la Utilidad Total, ya que el control de ancho de banda va brindando a los flujos de streaming adaptivos sólo lo que necesitan y el resto se distribuye entre los flujos elásticos.

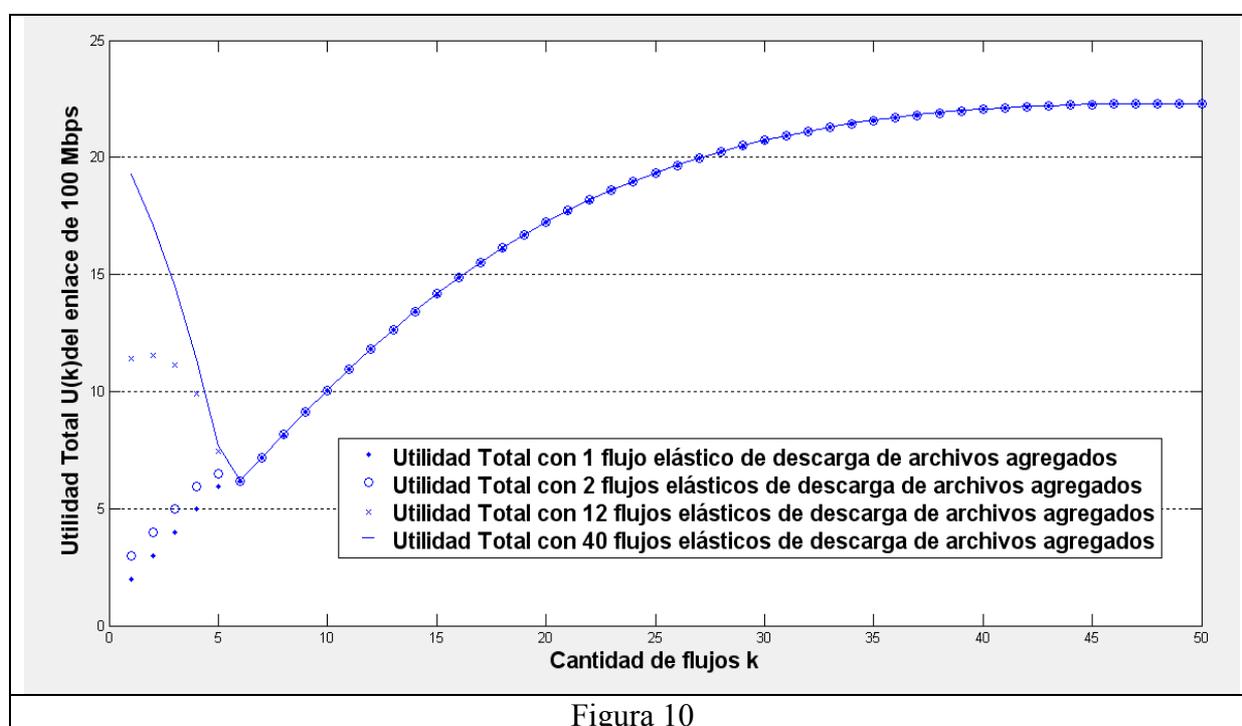
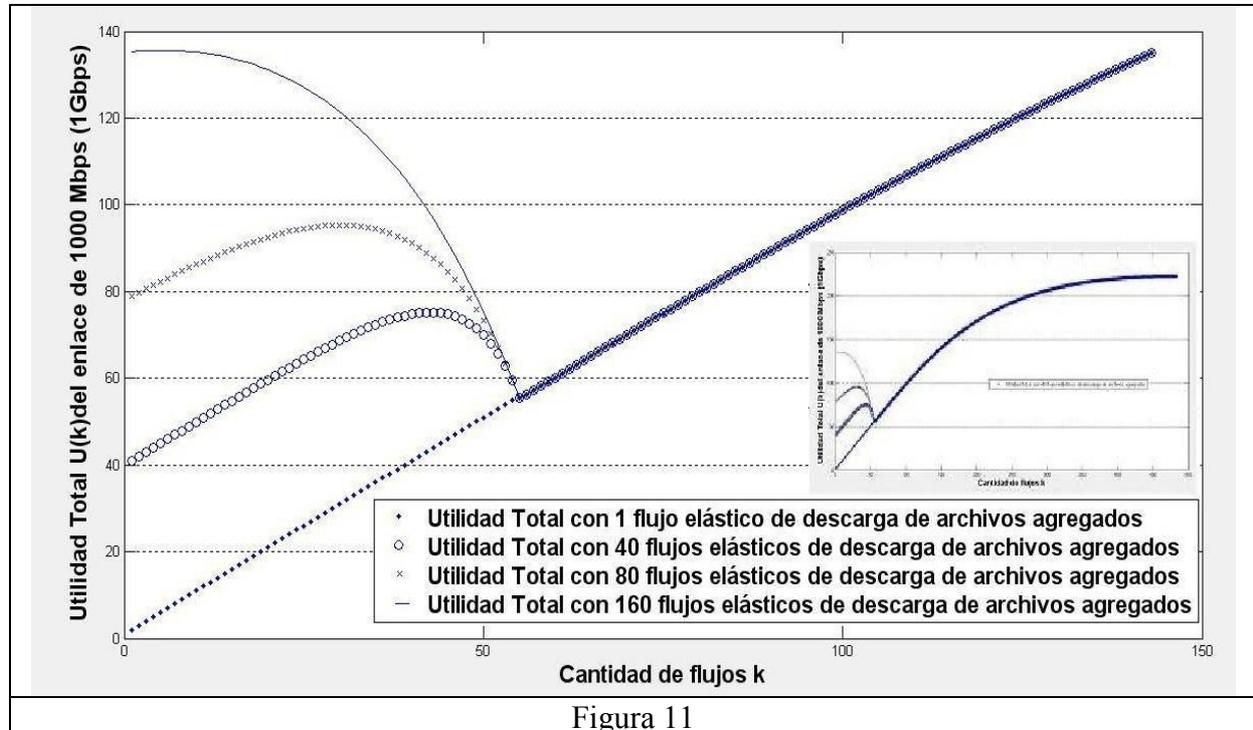


Figura 10

En la Figura 11, el ancho de banda del enlace del Repositorio es de 1000 Mbps, es decir que  $C=1$  Gbps. La figura principal muestra que el punto de confluencia es cercano a  $K=54$ ,

con una Utilidad Total por debajo de 60. En el inserto que aparece en la Figura 11 se ve que la curva de la Utilidad Total está acotada y llega a un máximo donde se estabiliza, con valores de la Utilidad Total superiores a doscientos.



En las Figuras 9, 10 y 11 queda evidenciado que para una cantidad que supera los 50 flujos de solicitudes de acceso a videos de alta resolución en formato 16:9, es necesario enlaces con velocidades de 1 Gbps o superiores.

## 8 CONCLUSIONES

En base a la ecuación (12) es posible analizar el desempeño de un enlace “cuello de botella” evaluado en función a la Utilidad Total del sistema. Se ha ampliado el análisis hecho por (Heckmann, 2006), por cuanto se han considerado más de un tipo de servicio al mismo tiempo (de streaming adaptivo y de descarga de archivos), se ha aplicado no sólo el concepto de control de admisión como política para lograr maximizar la Utilidad Total, sino que también se incluyó el control de ancho de banda para los flujos de streaming de VoD adaptivos (esto es factible de implementarse mediante algoritmos “token bucket”) y el uso de diferenciación de servicios (mediante la implementación de buffers o colas con prioridades) para disminuir los retardos y pérdidas de paquetes de los servicios de streaming de VoD adaptivos en tiempo real.

La priorización de los flujos de streaming de video adaptivos permite garantizar a los usuarios que acceden a esos videos que recibirán las resoluciones más altas posibles según la cantidad de flujos adaptivos que existan. Cuando la cantidad de flujos adaptivos es menor al punto de confluencia se aprovecha la disponibilidad de ancho de banda para aumentar la Utilidad Total a través del acceso de flujos elásticos.

Las gráficas de desempeño de la Utilidad Total del enlace se han llevado a cabo empleando valores esperables en el contexto de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC). Si la

Capacidad del enlace es pequeña (por ejemplo, 20 Mbps), muy pocos usuarios podrán acceder al mismo tiempo a video de alta resolución pero un Servidor de Streaming con codec adaptivo como el H.264 SVC permitiría un servicio flexible de alta resolución cuando haya poca demanda de videos de alta resolución y brindaría resoluciones menores a medida que aumenta la demanda de servicios de video.

Para brindar gran cantidad de servicios de video de alta definición (por ejemplo, 50 o más al mismo tiempo) es necesario anchos de banda cercanos al Gigabit por segundo, algo por ahora no disponible en la UNRC.

## REFERENCIAS

- Breslau L, and Shenker S, Best Effort versus Reservation: A Simple Comparative Analysis, *Proceedings of the ACM Special interest Group on Data Communication Conference (SIGCOMM 1998)*, pp 3-16, 1998.
- Heckmann, O, *The competitive Internet Service Provider*, Wiley, 2006.
- Ozer J, *Video Compression for Flash, Apple Devices and HTML5*, Doceo Publishing, 2011.
- Reinhardt R, *Adobe Flash CS3 Professional Bible*, Wiley, 2007.
- Shenker S, Fundamental Design Issues for the Future Internet, *IEEE Journal on selected areas in communications*, Vol. 13 N°7, pp 1176-1188, Septiembre 1995.