

Asignación equitativa de capacidad para tráfico unicast-multicast en redes IPTV con almacenamiento distribuido de contenidos

Elizabeth Valencia Berrío

*SEMIT, Escuela de Ingenierías, Facultad de Informática
y Telecomunicaciones. Universidad Pontificia
Bolivariana, Medellín, Colombia.
elizabeth.valencia@ieee.org*

Roberto Carlos Hincapié Reyes

*GIDATI, Escuela de Ingenierías, Facultad de
Informática y Telecomunicaciones. Universidad
Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia.
rhincapie@ieee.org*

Abstract

The rising number of subscribers to IPTV services and the demand of different and high quality contents are factors that force operators to keep their networks in top shape to work, to ensure scalability and adequate standards of quality of service.

The optimum utilization of network resources, specifically the available capacity of the links, led us to study and characterize the traffic of IPTV networks for later pose an optimization problem and provide solutions through two models: A suboptimal model based on a heuristic algorithm to distribute flows evenly and the other one is an optimal model based on ILP. The results of simulations show the good performance of the proposed heuristic that makes the results close to the

given by optimal solution. Also, this article shows the application of these models to three real-world scenarios where these kind of networks can operate.

key words: IPTV; VoD; multicasting; optimization; heuristic; ILP.

Resumen

El aumento progresivo de suscriptores al servicio de IPTV y la demanda de contenidos variados y de alta calidad, obliga a los operadores a mantener redes en condiciones óptimas de funcionamiento, que les brinde escalabilidad y les permita mantener criterios de calidad de servicio adecuados.

La utilización óptima de recursos de red, específicamente de la capacidad disponible de los enlaces, llevó a estudiar y caracterizar el tráfico de las redes IPTV para posteriormente plantear un problema de optimización y darle solución a través de un modelo subóptimo, basado en un algoritmo heurístico para distribución equitativa de flujos, y un modelo óptimo basado en un ILP. Los resultados de las simulaciones muestran el buen desempeño de la heurística propuesta al asemejar los resultados dados por la solución óptima. También se presenta la aplicación de los modelos a tres escenarios reales donde pueden operar estas redes.

Palabras clave: IPTV; VoD; multicasting; optimización; heurística; ILP

I. Introducción

El tema de IPTV está marcando una revolución en materia de entretenimiento que trae consigo múltiples implicaciones para los operadores del servicio: Implementación de nuevas y veloces redes, adaptación de infraestructura existente e inversión en nuevos equipos.

Pero a medida que el servicio tenga mayor acogida y el número de suscriptores se incrementa, los requerimientos de recursos de red van a ser mayores, lo que se traduce en costos elevados para los operadores. Ante este escenario, se hace necesario pensar en una planificación óptima de la utilización de los recursos de la red, específicamente de la capacidad de los enlaces, basada en el tráfico circulante, la demanda de cada uno de los servicios y los recursos existentes, lo que finalmente llevará a la minimización de costos y a garantizar indirectamente criterios de calidad de servicio.

Esta investigación se centra en el estudio y caracterización del tráfico de las redes IPTV, para poder plantear un problema de optimización cuya función objetivo está orientada a minimizar la ocupación de los enlaces. Las soluciones propuestas a este problema, se acomodan a modelos de complejidad baja, media y alta de acuerdo con su estructura funcional.

Este artículo presenta el problema de optimización planteado y el resultado de las simulaciones para los modelos de solución propuestos. En la sección II se explica cuál es el tráfico propio de las redes IPTV de acuerdo con los servicios ofrecidos; en la sección III se muestran los escenarios reales que se utilizarán en las simulaciones; en la sección IV se presenta el problema de optimización y en la sección V los resultados y análisis de las simulaciones. Finalmente se concluye acerca del desempeño de la heurística planteada y las condiciones óptimas de funcionamiento de este tipo de redes.

II. Tráfico en redes IPTV

IPTV permite recibir básicamente contenidos de amplia difusión y contenidos interactivos.

La función de la televisión de amplia difusión es proveer al suscriptor múltiples canales de manera simultánea. Sin embargo, IPTV camufla esta función entregando únicamente aquellos canales que están siendo vistos por el suscriptor y no todos los canales al mismo tiempo. Para esto se vale de entregas en multicast.

Dentro de los contenidos interactivos se encuentran: la Guía Electrónica de Programación (EPG), *Time Shift* TV, PVR y VoD. Este último, es uno de los servicios más exigentes en cuanto a ancho de banda ya que llegan múltiples peticiones al sistema en un mismo instante de tiempo y las entregas deben realizarse en unicast, esto se debe a que son peticiones específicas y el usuario tiene control completo sobre la reproducción de la película, lo que no hace posible compartir el mismo flujo entre múltiples usuarios.

En [1] claramente se especifica que la demanda de ambos tipos de contenidos requiere:

- Alta disponibilidad de ancho de banda.
- Alta variabilidad de tráfico esperado para el servicio de VoD.
- Tráfico *multicast* para *broadcast* TV y tráfico *unicast* para VoD.

Para el caso de tráfico multicast, si se tiene por ejemplo, una oferta de 100 canales, cada uno codificado con H.264 se logra una tasa de transmisión de 2Mbps por canal y se requiere entonces para el servicio un ancho de banda de 200Mbps. Este requerimiento de ancho de banda no afecta dramáticamente el *throughput* del *core* de la red, según se explica en [2].

Típicamente en el core de la red, todos los canales IPTV ofrecidos, se distribuyen sin considerar el uso que se está haciendo de cada canal. Sin embargo, en las redes de acceso, el ancho de banda debe ser reducido y esto se logra a través de estrategias de enrutamiento multicast que hagan eficiente el aprovechamiento de los recursos de red.

Para el caso del tráfico *unicast*, este trabajo se centra únicamente en el servicio de VoD. En este caso, el usuario tiene control completo sobre la reproducción del programa; cada petición de entrega de video que llega al sistema es coordinada por el middleware y se procura que los servidores de video estén en puntos relativamente próximos a los usuarios para conseguir la adecuada escalabilidad del sistema.

III. Escenarios reales para el modelamiento de la red

Un estudio conjunto entre T-Systems, Marconi y la Universidad de Stuttgart buscó la definición de escenarios típicos que sirvieran de base para el modelamiento de redes ópticas de transporte [3].

Los escenarios propuestos están basados en las siguientes redes:

- Un *backbone* hipotético entre varias ciudades de Alemania.
- Una red europea que fue definida en el proyecto COST 266 y LION entre muchas otras redes y recibió la denotación de *Basic Network*.

Estas dos topologías no se alejan mucho de lo que pueden ser escenarios de media y alta complejidad para redes IPTV, así que fueron usadas también dentro de este trabajo.

Para conocer el comportamiento del tráfico unicast y multicast en cada escenario, fue necesario investigar la cantidad de suscriptores al servicio en cada ciudad de las topologías propuestas. Para el caso del servicio de VoD se asumió que los usuarios equivalen al 50% de los suscriptores a IPTV, según lo especificó Ervin Leibovici, vocero de BitBand.

Figura 1. Red Europea (28 nodos). Escenario de alta complejidad

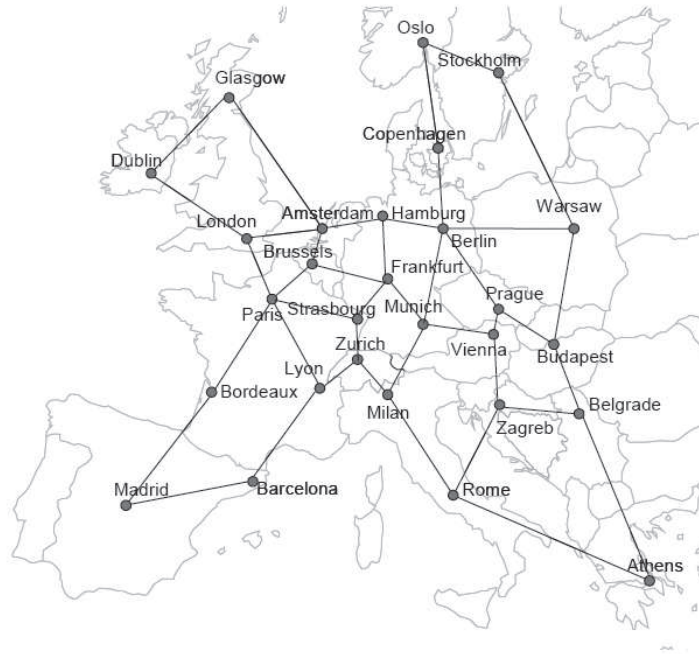


Figura 2. Red de Alemania (17 nodos). Escenario de media complejidad.



Tomando como base, que los usuario de VoD solicitan en promedio 3 películas al mes, se obtiene un tráfico individual de 8.33mErl.

Para el escenario de Europa, la cantidad total de usuarios al servicio es de 2.622.150, teniéndose entonces 21.851 peticiones de películas simultáneamente y una capacidad demandada de 43.7Gbps.

Para el escenario de Alemania, la cantidad de usuarios de VoD asciende a 600.000, obteniéndose 5.000 peticiones de películas de manera simultánea y una capacidad demandada de 10Gbps.

Por último, la extrapolación de los datos anteriores llevó a ingeniar un último escenario de más baja complejidad, formado por 7 nodos que representan algunas ciudades del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Para este caso, se asumirá un porcentaje de penetración al servicio similar al de los escenarios anteriores. El número de usuarios del servicio de VoD es 47.393, lo que equivale a tener 395 peticiones de películas simultáneamente y una capacidad demandada de 790Mbps.

En la sección V se analizará el comportamiento de estos escenarios para cada uno de los modelos de solución propuestos al problema de optimización.

IV. Formulación del problema de optimización

Tal como se especificó en la sección II, en las redes de IPTV se manejan dos tipos de tráfico: *Unicast*, para el servicio de video en demanda y *multicast* para distribuir los canales de *broadcast* a los usuarios ubicados en diferentes puntos de la red. Lograr la utilización equitativa de los enlaces que transportan ambos tipos de tráfico lleva a plantear un problema de optimización y a definir un modelo de red, sobre el cual se plantearán las siguientes soluciones basadas en diferentes metodologías:

1. Solución de bajo rendimiento, debido a un enrutamiento estático y sin redistribución de flujos.
2. Solución subóptima basada en una heurística distribuida.
3. Solución óptima basada en el método de generación de columnas.

El problema cabe dentro de la definición de *Feasible Multicommodity Flow Problem*, donde se deben encontrar rutas (P_n^i) para llevar el tráfico unicast y árboles (T_s) , formados para transportar flujos multicast, de tal manera que la capacidad utilizada en cada enlace no exceda la capacidad total del mismo y que el tráfico sea distribuido de manera equitativa entre los enlaces disponibles.

A. Definición del modelo de red

Se definieron tres escenarios de complejidad baja, media y alta. En los tres casos, cada una de las ciudades del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Alemania y Europa respectivamente, representan los nodos dentro de un grafo definido como:

$$G = (N, E)$$

Donde G representa el grafo.

N representa el conjunto de nodos: $N = \{n_1, n_2, n_3, \dots, n_{|N|}\}$. El número $|N|$ representa la cardinalidad o tamaño del conjunto N , esto es, el número de nodos de la red.

E representa el conjunto de enlaces: $E = \{e_1, e_2, e_3, \dots, e_{|E|}\}$. Un enlace e pertenece al grafo G , si existe conectividad directa entre los nodos extremos del enlace.

Los enlaces son considerados unidireccionales, por lo que un enlace entre el nodo n_1 y n_2 , no implica la existencia de un enlace entre n_2 y n_1 .

La capacidad de los enlaces es un parámetro fijo, representado como $C(e)$ y está dado en bps.

Varios enlaces forman rutas o *paths* que se agrupan en el conjunto

$$P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_{|P|}\}$$

Por los enlaces del grafo deben viajar tanto flujos *unicast* (VoD) como *multicast*.

El flujo *multicast*, representado como f_0 tiene una demanda ρ_0 y debe llegar hasta todos los nodos.

Los flujos *unicast* se representan como: $\{f_1, f_2, f_3, \dots, f_{|F|}\}$, y junto con el flujo *multicast*, forman un conjunto total de flujos $F = \{f_0, f_1, f_2, \dots, f_{|F|}\}$.

Para el servicio de video en demanda debe existir un conjunto de servidores VoD distribuidos en el grafo, representado como: $D = \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_{|D|}\}$ y un conjunto de películas ordenadas según la Ley de Zipf_c, tal que cada servidor tenga varias películas o títulos disponibles. En el conjunto de videos, el primero de ellos es el que tiene la mayor probabilidad de ser seleccionado.

Cuando varios flujos *unicast* comparten el mismo nodo de origen o fuente $S(f)$ y el mismo video v_j , dichos flujos se representan como un único flujo φ_i , que tiene una demanda ρ_i . En otras palabras, si 100 usuarios del mismo nodo demandan la

película v_1 contenida en el servidor d_2 y siguen exactamente la misma ruta para llegar a él, no se tienen 100 flujos ϕ_1 *unicast* unitarios sino un único flujo con una demanda asociada $\rho_i = 100\rho$.

La capacidad utilizada de los enlaces se representa como $R(e)$ tal que la ocupación promedio del enlace es $R(e)/C(e) = \alpha_e$. En este caso, la ocupación promedio representa la fracción del tiempo que el enlace se encuentra transmitiendo datos de los usuarios. Debe reconocerse el hecho de que un enlace no puede funcionar con una ocupación mayor a 1.0.

B. Planteamiento del problema

Se conoce de los modelos básicos de tráfico, que la alta ocupación de un recurso, produce efectos como retardos y encolamientos en la prestación del servicio. Esto lleva a plantear como objetivo de optimización minimizar la ocupación de los enlaces de la red, para mejorar indirectamente los criterios de calidad de servicio aplicables. Cabe anotar, que la ocupación de los enlaces en una determinada ruta, es causada por el enlace más saturado, el cual actúa como cuello de botella. Por lo tanto, puede tomarse como el objetivo optimización, reducir la ocupación del enlace más saturado, que no necesariamente está excediendo su capacidad. Esto se logra por medio de la inclusión de rutas alternas y la reorganización de los flujos de la red.

La función objetivo representa o mide la calidad de las decisiones y se puede escribir como:

$$\min \alpha$$

Con $\alpha = \max \alpha_e$ y $e \in E$.

Las restricciones son las que determinan la factibilidad de una solución y deben ser cumplidas por la solución óptima al problema.

Dado que el problema de optimización consiste en reducir el valor de α , la solución óptima buscará tener la menor ocupación. Si este valor mínimo de α es menor que 1.0, se considerará que la solución es factible. De lo contrario, la solución no será factible.

C. Métodos de solución del problema

- **Solución de referencia:** La solución se basa en un conjunto de peticiones que llegan al *MiddleWare* desde uno de los nodos terminales, solicitando un video disponible en alguno de los servidores de *VoD*. El *MiddleWare* selecciona uno de los servidores para atender la petición y comunica esta

decisión al servidor **VoD** para que realice la transmisión. Se supone que de manera completamente independiente, los enrutadores de la red, determinarán la mejor ruta desde el nodo terminal hacia el servidor de **VoD** especificado. Lo anterior significa que el número de rutas disponibles por flujo es igual a 1. Todas las peticiones pertenecientes al mismo flujo, compartirán exactamente la misma ruta, independientemente del nivel de congestión de la red. Si un enlace es utilizado por varias rutas de diferentes flujos, este enlace tendrá que tener una mayor saturación. Esta solución, se supone que es la implementada en la mayoría de las redes de IPTV existentes actualmente, donde el MiddleWare es responsable de validar la información del usuario y determinar el servidor de VoD a conectarse. Sin embargo, el enrutamiento de la información es realizado de manera independiente por parte de la red.

- **Solución heurística:** Para cada flujo en la red, se supone un conjunto de rutas disponibles mayor a una. Estas rutas pueden ser calculadas por la red desde el comienzo de su operación o pueden ser calculadas por cualquier agente de enrutamiento externo al sistema. Esto es, la cardinalidad del conjunto $|H(\varphi_i)|$ puede ser mayor a uno. Se supone un conjunto limitado de rutas alternas, debido al crecimiento exponencial del conjunto anterior respecto al número de nodos de la red.

Cuando una petición nueva llega a la red, perteneciente al flujo φ_i , se consulta para cada una de las rutas disponibles h_i^1, h_i^2, h_i^3 el valor de la ocupación del enlace más ocupado en la ruta $\alpha(h_i^p)$. Es decir, el problema es encontrar el camino p de menor congestión, $p = \arg \min \alpha(h_i^p)$.

En caso de presentarse empates, se soluciona de manera aleatoria. Al momento de seleccionar alguno de los caminos, entonces el flujo que transcurre por la determinada ruta aumenta en el valor de la demanda en bps de la petición entrante. El valor del flujo total aumenta en la misma cantidad.

Este procedimiento se repite para cada uno de las peticiones que llegan a la red. El concepto que sostiene la idea anterior es tratar de utilizar en todo momento las rutas disponibles de menor ocupación en la red.

- **Solución basada en Programación Lineal:** El modelo planteado tiene relación con el *Multicommodity flow problem*. Sin embargo, no representa la ocupación máxima de los enlaces como una restricción sino como una variable a minimizar. El problema está planteado también en forma de rutas y no de arcos como usualmente se encuentra planteado. Supongamos en un instante de tiempo t , un conjunto de flujos $F = \{\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_{|F|}\}$ con requerimientos ρ_1, ρ_2, \dots . Para cada uno de los flujos, el conjunto total de rutas posibles desde el origen del flujo al video de destino es $H(\varphi_i) = \{h_i^1, h_i^2, h_i^3, h_i^4, \dots\}$. Cada flujo se

descompone en un subconjunto de flujos $\varphi_i = \{\lambda_i^1, \lambda_i^3, \lambda_i^3, \lambda_i^4 \dots\}$, tales que la suma del ancho de banda de todos estos flujos es igual al flujo total. Acá se tiene una primera suposición. En condiciones reales, las peticiones que conforman un flujo deben ser transmitidas por una única ruta, sin fragmentar la información por diferentes rutas. Sin embargo, suponiendo un conjunto grande de peticiones por flujo, esta división en cantidades continuas será cercana en la solución óptima a una división en cantidades discretas. En las condiciones planteadas, la solución presentada corresponde a una solución superior a alguna alcanzable, por lo que es el límite superior. El problema de optimización sería entonces:

La primera de las restricciones indica que el flujo total repartido entre las diferentes rutas alternativas es igual al flujo total. La segunda de las restricciones determina que el valor de α debe ser superior a la ocupación de cualquiera de los enlaces de la red. Finalmente, la tercera ecuación define la ocupación de cada uno de los enlaces. La variable $R_i^k(\mathbf{e}) \in \{0,1\}$ se denomina variable de enrutamiento. Un valor de 1,

$$\begin{aligned} & \min \alpha \\ & \text{sujeto a :} \\ & \text{i) } \sum_{k=1}^{|\mathbf{H}(\varphi_i)|} \lambda_i^k = \varphi_i, \quad \forall i \in \mathbf{F} \\ & \text{ii) } \alpha \geq \alpha_e, \quad \forall \mathbf{e} \in \mathbf{E} \\ & \text{iii) } \alpha_e = \frac{\sum_{i=1}^{|\mathbf{F}|} \sum_{k=1}^{|\mathbf{H}(\varphi_i)|} \lambda_i^k \cdot R_i^k(\mathbf{e})}{C(\mathbf{e})}, \quad \forall \mathbf{e} \in \mathbf{E} \end{aligned}$$

indica que la ruta k -ésima del flujo i -ésimo pasa a través del enlace e . $C(e)$ es la capacidad del enlace e .

El problema anterior es fácil de resolver por medio del método simplex. Sin embargo el problema radica en encontrar las múltiples rutas disponibles para cada flujo. El conjunto de rutas crece de manera exponencial con el número de nodos de la red. Por ello, se implementó el método de generación de columnas.

Se cuenta con un problema esclavo, el cual, con un conjunto definido de rutas disponibles encuentra el valor mínimo de α alcanzable. El problema esclavo arroja valores sombra o coeficientes de Lagrange para cada una de las restricciones. Por medio de análisis de dichos coeficientes se puede encontrar un conjunto de nuevas rutas que pueden mejorar el valor actual de α . En general, el conjunto de rutas nuevas deben satisfacer las siguientes condiciones:

- a. Pertenecen a un flujo que pasa a través de un enlace que se considera saturado. Este enlace es el que determina el valor mínimo de α .
- b. Son rutas que no pasan a través de ninguno de los enlaces saturados.

En general, el criterio es buscar rutas alternas para los flujos que pasan por los enlaces saturados, y que no pasen por ninguno de los enlaces saturados actuales.

Este criterio permite de manera iterativa la acción de un problema maestro, que busca nuevas rutas que cumplan con las condiciones anteriores. Pasa este nuevo conjunto de rutas al problema esclavo y busca el valor mínimo de α . Cuando no es posible encontrar nuevas rutas con el criterio anterior, el problema termina su ejecución.

El problema se considera desde el punto de vista del método simplex, como la adición de nuevas columnas o variables de decisión al problema. De allí su nombre. La filosofía del procedimiento, es que no es necesario desde el principio calcular todas las posibles rutas para todos los flujos, sino ir calculando nuevas alternativas conforme se vayan necesitando.

V. Resultados y análisis de las simulaciones

Se simularon en Matlab las tres soluciones propuestas al problema de optimización, explicadas en la sesión anterior, que pueden ser aplicadas a diferentes escenarios y de este modo medir el desempeño de cada una de ellas.

Escenario 1

Figura 3. Grafo Escenario 1

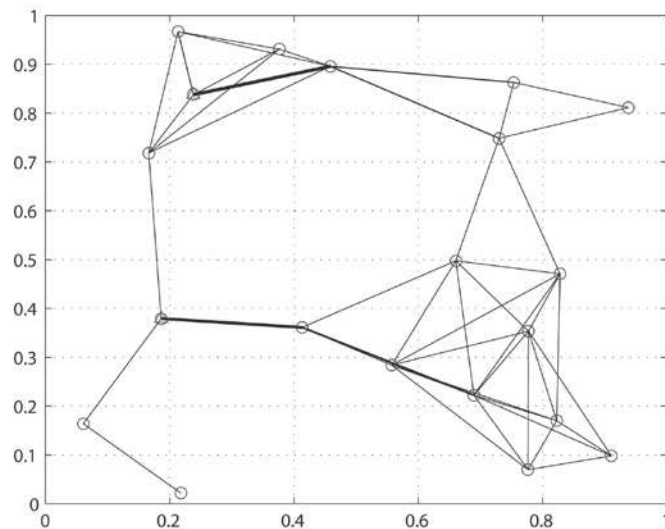


Tabla 1. Datos Escenario 1

No. Nodos	20
No. VoD servers	2
No. Películas	100
No. Max Flujos	500
R (Capacidad del enlace en Mbps)	100
Ro (Capacidad demandada por un único flujo en Mbps)	1

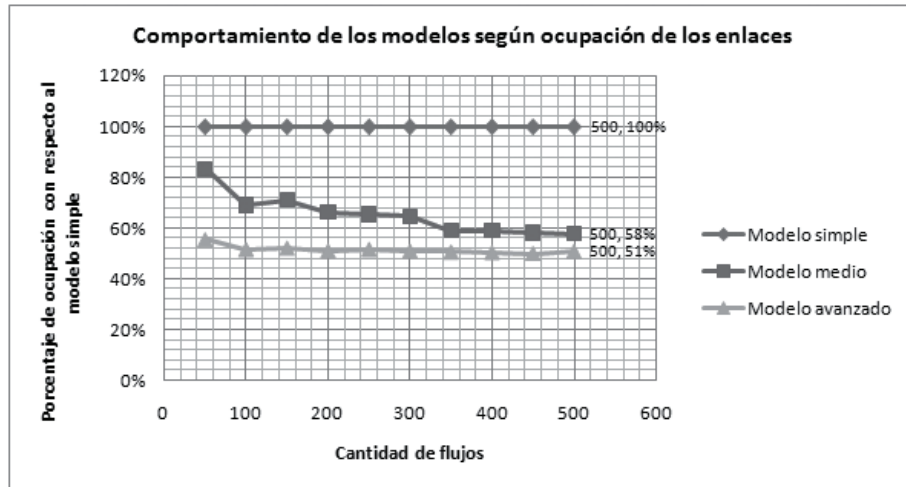
Tabla 2. Monitoreo de ocupación de los enlaces para Escenario 1.

Número de Flujos	Modelo simple	Modelo medio	Modelo avanzado
50	0,18	0,15	0,10
100	0,42	0,29	0,22
150	0,62	0,44	0,32
200	0,83	0,55	0,42
250	1,04	0,68	0,54
300	1,27	0,82	0,65
350	1,53	0,90	0,77
400	1,78	1,05	0,90
450	2,01	1,17	1,00
500	2,17	1,25	1,10

La siguiente gráfica muestra el porcentaje en el que mejoran los modelos medio y avanzado la solución dada por el modelo de referencia.

Para este escenario, el modelo medio puede mejorar en un 42% la ocupación de los enlaces, mientras que el modelo óptimo alcanza hasta un 50% menos de la ocupación dada por el modelo de referencia.

Figura 4. Gráfica de comportamiento de los modelos aplicados al Escenario 1.



La cercanía de los resultados obtenidos con el modelo medio y el modelo avanzado, es muestra del buen desempeño del algoritmo heurístico propuesto.

Después de varias pruebas con otros escenarios, se logró alcanzar una mejora en la ocupación de los enlaces del 59% con el modelo medio y 75% con el modelo avanzado. Esto para un escenario de 40 nodos, 4 servidores de VoD, 100 películas y un número máximo de 250 flujos.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para los escenarios propuestos en la sección III, sobre los que se aplicarán los modelos simple y heurístico por tratarse de entornos reales de funcionamiento de la red.

A. Red europea

Figura 5. Grafo Red Europea

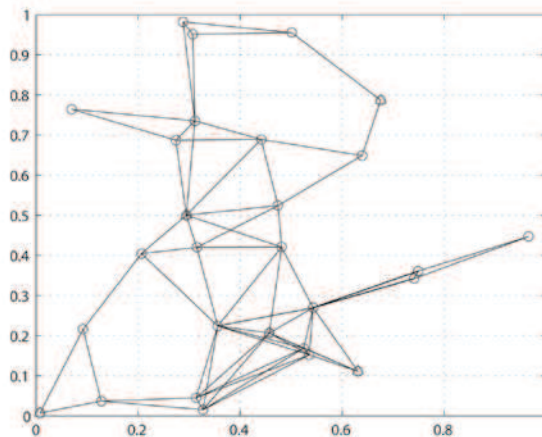


Tabla 3. Datos Escenario Europa.

No. Nodos	28
No. VoD servers	5
No. Películas	20
No. Peticiones simultáneas	21.000
R (Capacidad de los enlaces en Mbps)	1000
Ro (Capacidad demandada por un único flujo en Mbps)	1

Figura 6. Ocupación de los enlaces aplicando modelo de referencia.

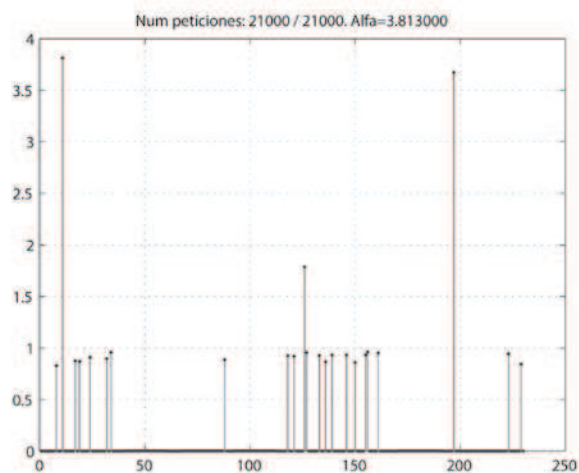
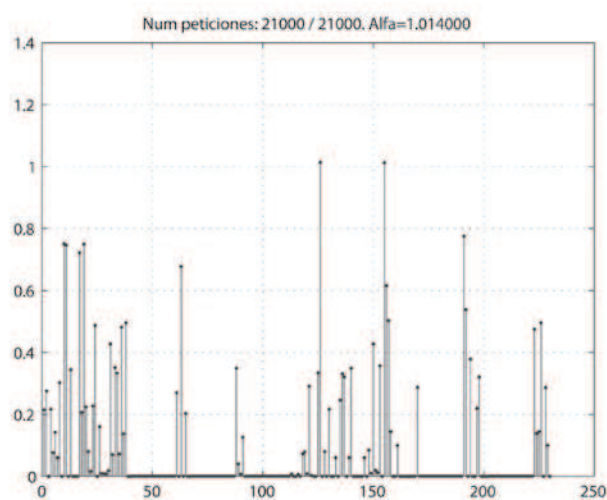


Figura 7. Ocupación de los enlaces aplicando modelo heurístico.



B. Red De Alemania

Figura 8. Grafo Red de Alemania

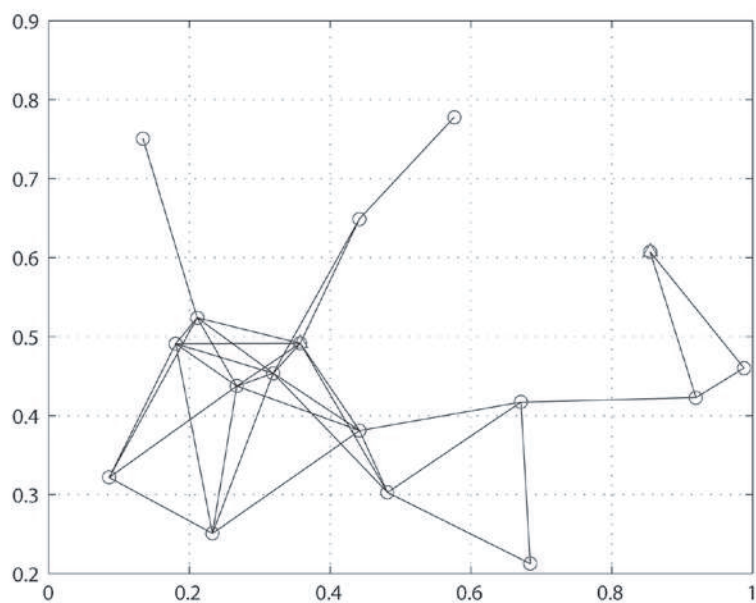


Tabla 4. Datos Escenario de Alemania

No. Nodos	17
No. VoD servers	2
No. Películas	20
No. Peticiones simultáneas	5000
R (Capacidad de los enlaces en Mbps)	1000
Ro (Capacidad demandada por un único flujo en Mbps)	1

Figura 9. Ocupación de los enlaces aplicando modelo de referencia.

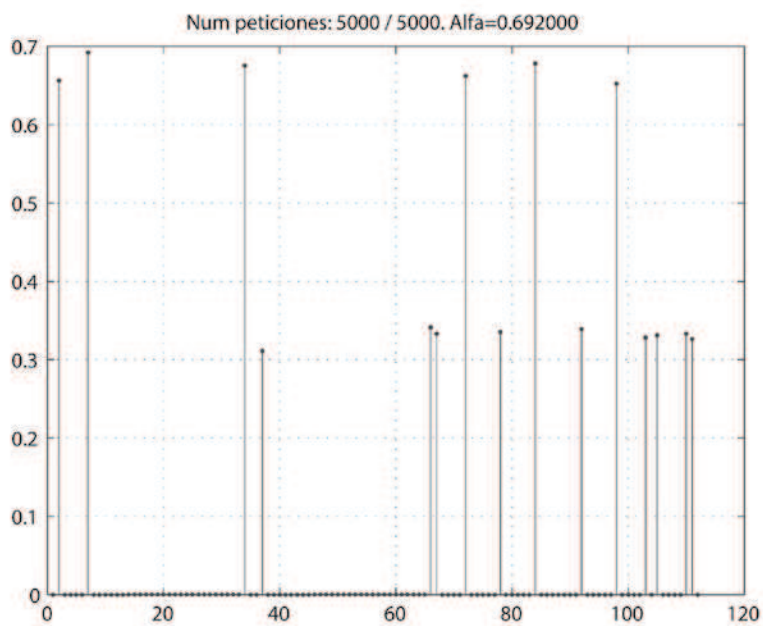
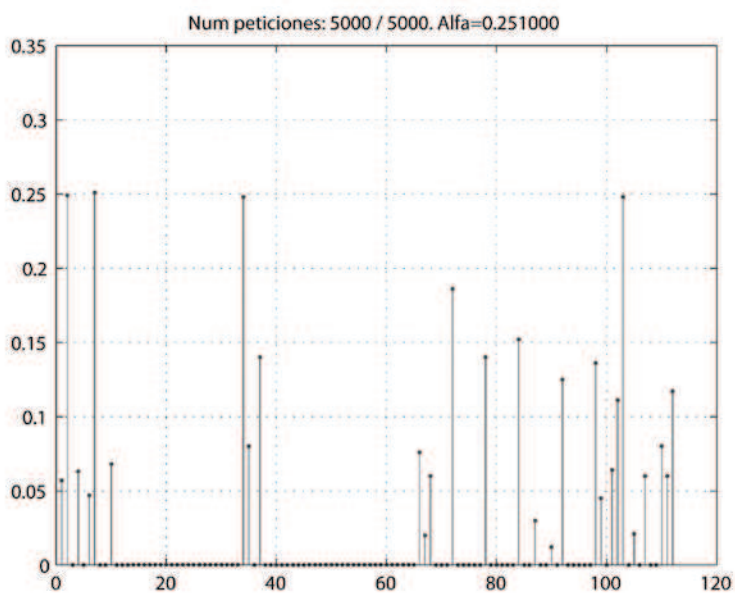


Figura 10. Ocupación de los enlaces aplicando modelo heurístico.



C. Red área metropolitana de Antioquia

Figura 11. Grafo Red Área Metropolitana de Antioquia

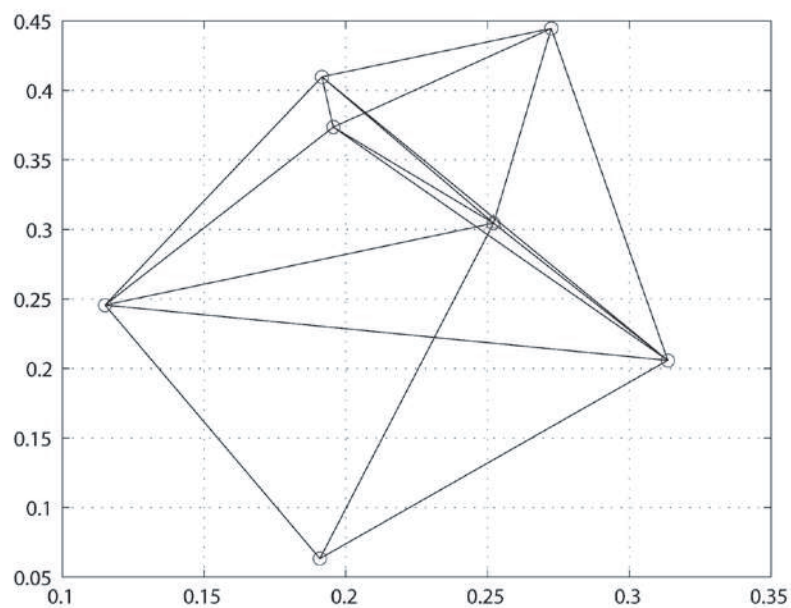


Tabla 5. Datos Escenario de Antioquia

No. Nodos	7
No. VoD servers	1
No. Películas	150
No. Peticiones simultáneas	395
R (Capacidad de los enlaces en Mbps)	1000
Ro (Capacidad demandada por un único flujo en Mbps)	1

Figura 12. Ocupación de los enlaces aplicando modelo de referencia.

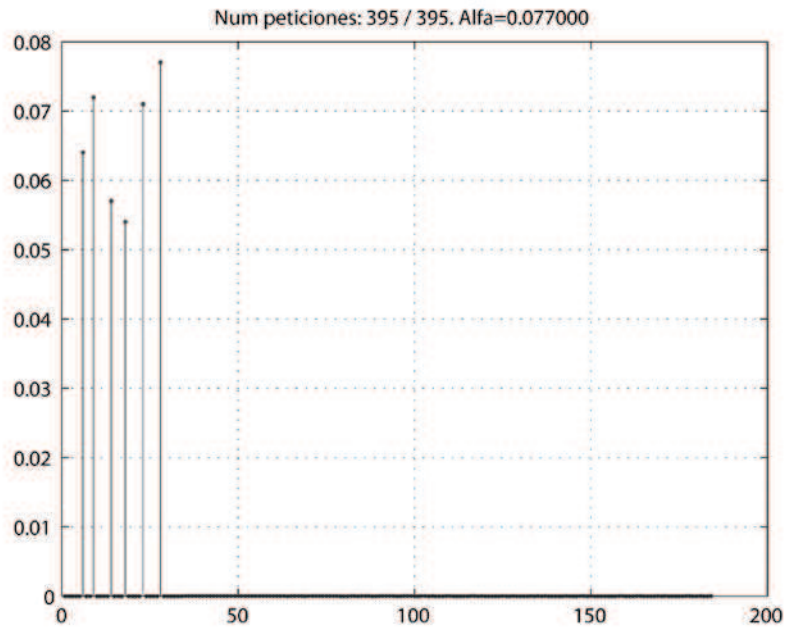
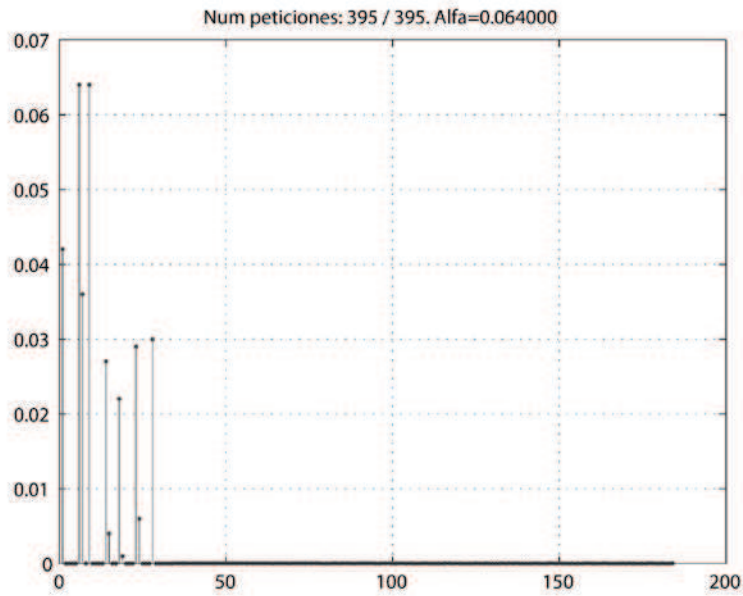


Figura 13. Ocupación de los enlaces aplicando modelo heurístico.



VI. Conclusiones

El objetivo de optimización propuesto en este trabajo para entornos IPTV fue minimizar la ocupación de los enlaces de la red, para mejorar indirectamente los criterios de calidad de servicio aplicables. Para esto se propusieron tres estrategias: Una solución simple de bajo rendimiento que sirvió como modelo de referencia para medir el desempeño de las demás soluciones. Una solución subóptima basada en un algoritmo heurístico propuesto y una solución óptima, basada en programación lineal.

Las simulaciones en Matlab permitieron conocer el comportamiento de cada uno de los modelos de solución propuestos al problema y comparar su desempeño. Para el mejor de los casos, se logró alcanzar una disminución en la ocupación de los enlaces del 59% con el modelo medio y del 75% con el modelo avanzado, tomando como referencia la solución simple.

Para escenarios reales de funcionamiento del servicio de IPTV se confirmó que la aplicación de la heurística propuesta, disminuiría notablemente la ocupación máxima de los enlaces de la red. Para un escenario como el de Europa se pasaría de una ocupación máxima de 3,81 a 1,14; en el caso del escenario de Alemania, se pasaría de 0,69 a 0,25; mientras que para el escenario de Antioquia se tendría una ocupación máxima de 0,064 en lugar de 0,077 que es la dada por las soluciones actuales de enrutamiento.

Referencias

- [1] GE, Zihui y otros. Infrastructure design for IPTV services. Singapur: Ponencia IPTV Asia, 2006.
- [2] High-quality and resilient IPTV multicast architecture technical white paper. An overview of RESIP Multicast Architecture Design Guidelines. Siemens Communications and Juniper Networks, Inc. 2006.
- [3] HÜLSERMANN, Ralf y otros. A set of typical Transport Network Scenarios for Network Modelling. Alemania, 2004.