

Análisis y evaluación de la red de acceso HFC para la distribución de contenidos educativos de iTV con QoS



Diego Fernando Rueda Pepinosa
Iván Ricardo Taimal Narváz

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telemática
Línea de Investigación en Servicios Avanzados de Telecomunicaciones
Popayán, Mayo de 2009

Análisis y evaluación de la red de acceso HFC para la distribución de contenidos educativos de iTV con QoS



Diego Fernando Rueda Pepinosa
Iván Ricardo Taimal Narvárez

Anexos

Director: PhD. José Luís Arciniegas Herrera
Asesor: Ing. Wilmar Yesid Campo Muñoz

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telemática
Línea de Investigación en Servicios Avanzados de Telecomunicaciones
Popayán, Mayo de 2009

INTRODUCCIÓN

Los anexos que se presentan a continuación tienen el objetivo de ampliar y complementar algunos de los temas tratados en la monografía “*Análisis y evaluación de la red de acceso HFC para la distribución de contenidos educativos de iTV*” para optar por el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, así el siguiente documento está conformado por:

El Anexo A tiene como fin realizar una descripción detallada de cómo se determinaron las distribuciones de probabilidad de los aspectos que caracterizan el tráfico generado por los contenidos educativos de iTV, teniendo en cuenta las aplicaciones analizadas y la serie de datos capturados.

En el Anexo B se describen los nodos involucrados en un modelo básico de red HFC en las que los dispositivos de red hacen uso del protocolo DOCSIS para intercambiar información. Adicionalmente, se describen las particularidades del modelo proporcionado por la herramienta de simulación para el protocolo DOCSIS y de las opciones de configuración del CMTS y CM.

En el Anexo C se exhibe el artículo “*Caracterización de la distribución de contenidos de iTV en el canal interactivo de un sistema de iTV*”, el cual fue aprobado como un *short paper* y fue presentado como poster en el V Congreso Iberoamericano de Telemática (CITA 2009) el cual se llevó a cabo entre el 11 y 12 de mayo de 2009 en la Universidad de Oviedo, (Gijón - España).

El Anexo D muestra el artículo “*Análisis del protocolo DOCSIS para la distribución de contenidos de iTV en el canal interactivo de la red HFC*”, el cual fue presentado a la Revista AVANCES EN SISTEMAS E INFORMÁTICA la cual es una publicación seriada, perteneciente a la Escuela de Ingeniería de Sistemas de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. A la fecha de entrega de este documento el artículo se encuentra en revisión.

El anexo E presenta el artículo “*Evaluación de la red de acceso HFC para la distribución de contenidos de iTV*”, el cual se muestran y analizan los resultados obtenidos de la simulación del tráfico generado por las aplicaciones de iTV en un modelo de red HFC, evaluando los parámetros de desempeño de la red cuando se comparte los recursos de red con otras aplicaciones tales como HTTP, FTP y VoIP las cuales según sus características tienen asignado un tipo de tratamiento específico por parte de la red.

ANEXO A

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	ii
LISTA DE FIGURAS	ii
ANEXO A	1
1 DETERMINACIÓN DE LAS FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE LOS ASPECTOS QUE CARACTERIZAN EL TRÁFICO GENERADO POR LOS CONTENIDOS EDUCATIVOS DE ITV.....	1
1.1 PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE	1
1.1.1 Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov.....	1
1.2 DETERMINACIÓN DE LA FUNCIÓN DE PROBABILIDAD PARA EL TIEMPO ENTRE PETICIONES	3
1.3 DETERMINACIÓN DE LA FUNCIÓN DE PROBABILIDAD PARA EL TIEMPO DE INICIO DE ENVÍO DE INFORMACIÓN.....	7
BIBLIOGRAFÍA.....	11

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-1. Valor de la distribución de Kolmogorov-Smirnov (D) para $n > 40$ grados de libertad y a un nivel de confiabilidad de $1 - \alpha$	3
Tabla 1-2. Tabla de frecuencia observada (FO).....	4
Tabla 1-3. Tabla de frecuencia observada acumulada y la probabilidad observada.....	5
Tabla 1-4. Tabla de probabilidad esperada acumulada (PEA)	5
Tabla 1-5. Diferencias absolutas en cada intervalo entre PEA y POA.....	6
Tabla 1-6. Tabla de frecuencia observada (FO).....	7
Tabla 1-7. Tabla de frecuencia observada acumulada y la probabilidad observada.....	9
Tabla 1-8. Tabla de probabilidad esperada acumulada (PEA)	9
Tabla 1-9. Diferencias absolutas en cada intervalo entre PEA y POA.....	10

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1. Histograma de los datos capturados para el tiempo entre peticiones.....	4
Figura 1-2. Histograma de los datos capturados para el tiempo de inicio de respuesta	8

ANEXO A

1 DETERMINACIÓN DE LAS FUNCIONES DE PROBABILIDAD DE LOS ASPECTOS QUE CARACTERIZAN EL TRÁFICO GENERADO POR LOS CONTENIDOS EDUCATIVOS DE ITV

En el presente anexo se realiza una descripción detallada de cómo se determinaron las distribuciones de probabilidad de los aspectos que caracterizan el tráfico generado por los contenidos educativos de iTV, teniendo en cuenta las aplicaciones analizadas y la serie de datos capturados con el analizador de protocolos *Wireshark* [1] en la laboratorio de iTV del proyecto EDiTV [2]. Los aspectos a caracterizar son: el tiempo entre peticiones para solicitar información al programa de televisión y el tiempo de inicio de envío de información como respuesta a una pregunta.

1.1 PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE

Normalmente el paso de búsqueda y análisis de la información es el que más tiempo consume dentro del desarrollo total del modelo de tráfico de una aplicación o servicio de telecomunicaciones, ya que se trata de obtener un comportamiento basado en variabilidad con cierto comportamiento probabilístico [3]. Así pues, para conocer el comportamiento, se debe presentar la información capturada como tablas de frecuencia, con la finalidad de realizar cualquiera de las siguientes pruebas [3]:

- Prueba de bondad de ajuste χ^2 .
- Prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Si el objetivo es encontrar el tipo de distribución de probabilidad de una serie de datos, es posible utilizar la prueba de bondad de ajuste de *Kolmogorov-Smirnov*, la cual, comparándola con la de χ^2 , es más eficiente en varios aspectos ya que trabaja con la distribución de probabilidad acumulada [3].

1.1.1 Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov

La metodología que se utilizó para determinar la distribución de probabilidad de cada uno de los aspectos es la siguiente [3]:

1. Se colocan los n datos históricos en una tabla de frecuencia observada (FO) con $m \approx \sqrt{n}$ intervalos. Se obtiene la frecuencia observada en cada intervalo i (FO $_i$) como la cantidad de datos en cada intervalo de tamaño T, dado por:

$$T = \frac{> dato - < dato}{m} \quad (1-1)$$

Se calcula la media y la varianza de los datos como:

$$media = \mu_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1-2)$$

$$Varianza = \sigma_x^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)^2 \quad (1-3)$$

2. Se propone una distribución de probabilidad de acuerdo con la forma de la tabla de frecuencias obtenida en el paso 1, graficando un histograma de frecuencia observada versus intervalos.

3. Se calcula la frecuencia observada acumulada (FOA) para cada intervalo como:

$$FOA_i = \sum_{n=1}^i FO_n \quad (1-4)$$

4. Se calcula la probabilidad observada acumulada (POA) para cada intervalo como:

$$POA_i = \frac{FOA_i}{n} \quad (1-5)$$

5. Con la distribución propuesta se calcula la probabilidad esperada acumulada (PEA) para cada uno de los intervalos como:

$$PEA_i = \left[F(x) \Big|_0^{LS} \right] \quad (1-6)$$

donde:

$$F(x) = \int_0^x f(y) dy \quad (1-7)$$

para distribuciones continuas y:

$$F(x) = \sum_0^x p(y) \quad (1-8)$$

para distribuciones discretas.

6. Se calcula el estimador de máxima diferencia DM como:

$$DM = \text{Máx} | PEA_i - POA_i | \quad (1-9)$$

7. Se obtiene el correspondiente valor de la distribución de *Kolmogorov-Smirnov* (*D*) para *n* grados de libertad y a un nivel de confiabilidad de $1 - \alpha$ de la tabla 1-1, para cuando se tiene un tamaño de la muestra mayor que 40.

Tabla 1-1. Valor de la distribución de Kolmogorov-Smirnov (*D*) para $n > 40$ grados de libertad y a un nivel de confiabilidad de $1 - \alpha$

Tamaño de la Muestra	$D_{n,1-\alpha}$		
	$\alpha=0,1$	$\alpha=0,05$	$\alpha=0,01$
$n \geq 40$	$\frac{1,23}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$

8. El estimador DM se compara con el valor límite $D_{n,1-\alpha}$. Si el estimador DM es menor o igual al valor límite, entonces se dice que la hipótesis propuesta se ajusta a la distribución de probabilidad que sigue la información histórica. En caso contrario debe retornarse al punto 2 y realizar nuevamente el proceso.

1.2 DETERMINACIÓN DE LA FUNCIÓN DE PROBABILIDAD PARA EL TIEMPO ENTRE PETICIONES

Después de realizar las capturas de tráfico para la aplicación de solicitud de información adicional al programa de televisión, se determinó el tiempo entre peticiones realiza por 50 usuarios para solicitar dicha información. Utilizando la prueba de *Kolmogorov-Smirnov*, se definió la distribución de probabilidad que siguen los datos del tiempo entre peticiones siguiendo la metodología explicada anteriormente.

Se colocan los $n=50$ datos en una tabla de frecuencia observada (FO) con $m \approx \sqrt{50} = 7,07$ intervalos donde el tamaño de cada intervalo en segundos es:

$$T = \frac{102,4706 - 1,0479}{7,07} = 14,3455 \approx 15$$

En la tabla 1-2, se presenta la tabla de frecuencia observada, la cual muestra la cantidad de usuarios que realizan la solicitud de información al servidor de aplicaciones en cada intervalo de tiempo. Asimismo, en la figura 1-1 se muestra el histograma de los datos capturados.

Tabla 1-2. Tabla de frecuencia observada (FO)

Intervalos	FO
15	19
30	12
45	8
60	4
75	3
90	3
105	1

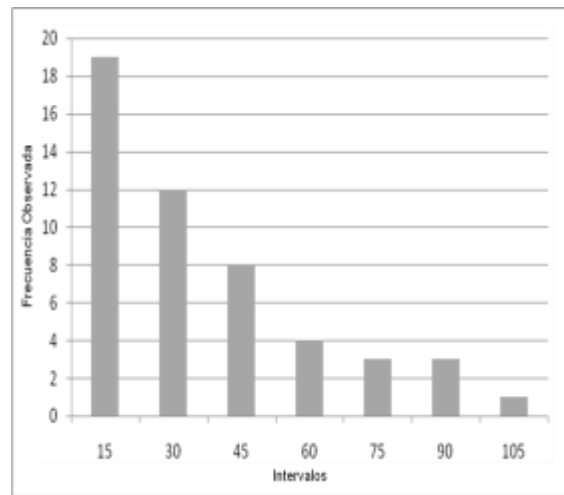


Figura 1-1. Histograma de los datos capturados para el tiempo entre peticiones

Además se calcula la media y la varianza de los datos, obteniéndose:

$$media = \mu_x = \frac{1}{50} \sum_{i=1}^{50} x_i = 28,5262$$

$$Varianza = \sigma_x^2 = \sum_{i=1}^{50} (x_i - 28,5262)^2 = 630,69198$$

De acuerdo con los datos de la columna de la frecuencia observada (FO) en la tabla 1-6 y del histograma mostrado en la figura 1-1, se puede pensar que siguen distribución de probabilidad exponencial con media $\mu = 28.5262$, luego la hipótesis será:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\mu} e^{-\frac{1}{\mu}x} & \text{si } x \geq 0 \\ 0 & \text{si } x < 0 \end{cases} \quad (1-10)$$

Se calcula la frecuencia observada acumulada (FOA) y la probabilidad observada (POA) para cada intervalo según las ecuaciones 1-4, y 1-5 respectivamente, cuyos valores se presentan en la tabla 1-3.

Tabla 1-3. Tabla de frecuencia observada acumulada y la probabilidad observada

Intervalos	FO	FOA	POA
15	19	19	0,38
30	12	31	0,62
45	8	39	0,78
60	4	43	0,86
75	3	46	0,92
90	3	49	0,98
105	1	50	1

Integrando la función desde el límite inferior del primer intervalo hasta el límite superior de cada uno de los intervalos se obtiene la función de densidad de probabilidad:

$$F(x) = \int_0^{LS} \frac{1}{28,5262} e^{-\frac{x}{28,5262}} dx$$

$$F(x) = 1 - e^{-\frac{x}{28,5262}} \quad \text{Si } x \geq 0$$

luego en cada intervalo la probabilidad esperada acumulada (PEA) para cada uno de los intervalos es la mostrada en la tabla 1-4.

Tabla 1-4. Tabla de probabilidad esperada acumulada (PEA)

Intervalos	FO	FOA	POA	PEA
15	19	19	0,38	0,4089
30	12	31	0,62	0,6507
45	8	39	0,78	0,7936
60	4	43	0,86	0,8779
75	3	46	0,92	0,9278
90	3	49	0,98	0,9574
105	1	50	1	0,9748

Se calcula las diferencias absolutas en cada intervalo entre la probabilidad esperada acumulada (PEA) y la probabilidad observada acumulada (POA), obteniendo la tabla 1-5.

Tabla 1-5. Diferencias absolutas en cada intervalo entre PEA y POA

Intervalos	FO	FOA	POA	PEA	PEA – POA
15	19	19	0,38	0,4089	0,0289
30	12	31	0,62	0,6507	0,0307
45	8	39	0,78	0,7936	0,0135
60	4	43	0,86	0,8779	0,0179
75	3	46	0,92	0,9278	0,0079
90	3	49	0,98	0,9574	0,0226
105	1	50	1	0,9748	0,0252

De la tabla 1-5 se tiene que el estimador $DM = 0,0483$ se compara con la $D_{50,0.05} = 0,1923$, encontrándose DM es menor que $D_{50,0.05}$, lo que indica que los datos anteriores siguen una distribución de probabilidad exponencial con media $\lambda = 28,5262$, a un nivel de confianza del 95 %.

Por lo tanto y para esta aplicación en particular, se concluye que el tiempo entre peticiones para solicitar información adicional a un programa de televisión educativo sigue una distribución exponencial, el cual depende del tiempo de lectura y comprensión de los contenidos por parte de los usuarios. Con esto se tiene uno de los aspectos que permitirán configurar una aplicación personalizada en la herramienta de simulación *OPNET Modeler* para emular el comportamiento de la aplicación de solicitud información adicional a un programa de televisión educativo, como se puede ver en el video denominado “*Configuración de escenarios HFC*” que está en el CD adjunto.

Ahora se realiza una correlación entre los datos capturados en el laboratorio y los datos generados por la simulación del modelo matemático para igual número de muestras ($n=50$), La correlación (r) permite determinar que tan propicio es el modelo para representar el comportamiento real de la aplicación y se calcula con la ecuación (1-11):

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum ((x_i - X_m) * (y_i - Y_m))}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_i - X_m)^2 * \frac{1}{n} \sum (y_i - Y_m)^2}} \quad (1-11)$$

Donde:

- X : Datos reales
- X_m : Media de los datos reales
- Y : Datos de simulación del modelo
- Y_m : Media de los datos de simulación del modelo

Así, para la aplicación de solicitud de información la correlación para el tiempo entre peticiones es:

$$r = \frac{\frac{1}{50} 37839,4293}{\sqrt{\frac{1}{50} 30903,9092 * \frac{1}{50} 47702,616}}$$

$$r = 0,9855$$

Como se puede la correlación para el tiempo entre peticiones es muy cercana a 1, lo cual indica que el modelo representa de manera adecuada el comportamiento de las muestras tomadas en el laboratorio para la aplicación de solicitud de información.

1.3 DETERMINACIÓN DE LA FUNCIÓN DE PROBABILIDAD PARA EL TIEMPO DE INICIO DE ENVÍO DE INFORMACIÓN

Después de realizar las capturas de tráfico para la aplicación del programa de televisión educativo con preguntas de selección múltiple, se determinó el tiempo de inicio de respuesta para 50 muestras cuando se contestaba a una pregunta. Utilizando la prueba de *Kolmogorov-Smirnov*, se encontró la distribución de probabilidad que siguen los datos del tiempo inicio de envío de información siguiendo la metodología explicada anteriormente. Se colocan los $n=50$ datos en una tabla de frecuencia observada (FO) con $m \approx \sqrt{50} = 7,07$ intervalos donde el tamaño de cada intervalo en segundos es:

$$T = \frac{45,0136 - 1,0717}{7,07} = 6,2152 \approx 7$$

En la tabla 1-6, se muestra la tabla de frecuencia observada que muestra la cantidad de usuarios que realizan la solicitud de información al servidor de aplicaciones en cada intervalo de tiempo. Asimismo en la figura 1-2 se muestra el histograma de los datos capturados.

Tabla 1-6. Tabla de frecuencia observada (FO)

Intervalos	FO
7	5
14	12
21	15
28	8
35	5
42	4
49	1

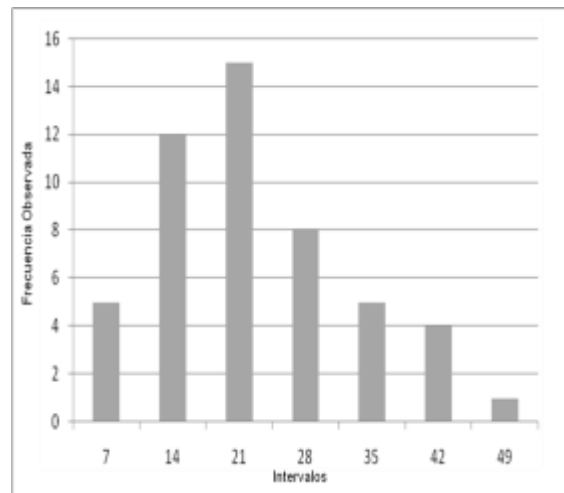


Figura 1-2. Histograma de los datos capturados para el tiempo de inicio de respuesta

Además se calcula la media y la varianza de los datos, obteniéndose:

$$media = \mu_x = \frac{1}{50} \sum_{i=1}^{50} x_i = 18,7055$$

$$Varianza = \sigma_x^2 = \sum_{i=1}^{50} (x_i - 18,7055)^2 = 101,1632$$

De acuerdo con los datos de la columna de la frecuencia observada (FO) en la tabla 1-6 y al histograma de la figura 1-2, se puede pensar que siguen distribución de probabilidad normal con media $\mu = 18,7055$ y desviación estándar $\sigma = 10,0579$, luego la hipótesis será:

$$f(x) = \frac{1}{2\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad \text{si } -\infty \leq x \leq \infty$$

Se calcula la frecuencia observada acumulada (FOA) y la probabilidad observada (POA) para cada intervalo según las ecuaciones 1-4, y 1-5 respectivamente, cuyos valores se presentan en la tabla 1-7.

Tabla 1-7. Tabla de frecuencia observada acumulada y la probabilidad observada

Intervalos	FO	FOA	POA
7	5	5	0,1
14	12	17	0,34
21	15	32	0,64
28	8	40	0,8
35	5	45	0,9
42	4	49	0,98
49	1	50	1

Integrando la función desde el límite inferior del primer intervalo hasta el límite superior de cada uno de los intervalos se obtiene la función de densidad de probabilidad:

$$F(x) = \int_0^{LS} \frac{1}{2\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx \quad (1-12)$$

luego en cada intervalo la probabilidad esperada acumulada (PEA) para cada uno de los intervalos es la mostrada en la tabla 1-8 y se sacó a partir de la tabla estadística para la distribución normal mostrada en [3] teniendo en cuenta el valor Z, dado por:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (1-13)$$

Tabla 1-8. Tabla de probabilidad esperada acumulada (PEA)

Intervalos	FO	FOA	POA	PEA
7	5	5	0,1	0,123
14	12	17	0,34	0,3728
21	15	32	0,64	0,5871
28	8	40	0,8	0,8212
35	5	45	0,9	0,9474
42	4	49	0,98	0,9896
49	1	50	1	0,9987

Se calcula las diferencias absolutas en cada intervalo entre la probabilidad esperada acumulada (PEA) y la probabilidad observada acumulada (POA), obteniendo la tabla 1-9.

Tabla 1-9. Diferencias absolutas en cada intervalo entre PEA y POA

Intervalos	FO	FOA	POA	PEA	PEA – POA
7	5	5	0,1	0,123	0,023
14	12	17	0,34	0,3728	0,0328
21	15	32	0,64	0,5871	0,0529
28	8	40	0,8	0,8212	0,0212
35	5	45	0,9	0,9474	0,0474
42	4	49	0,98	0,9896	0,0096
49	1	50	1	0,9987	0,0013

De la tabla 1-9 se tiene que el estimador $DM = 0,0529$ se compara con la $D_{50,0.05} = 0,1923$, encontrándose DM es menor que $D_{50,0.05}$, lo que indica que los datos anteriores siguen una distribución de probabilidad normal con media $\mu = 18,7055$ y desviación estándar $\sigma = 10,0579$, a un nivel de confianza del 95 %.

Por lo tanto y para esta aplicación en particular, se concluye que el tiempo de inicio de envío de información como respuesta a una pregunta en un programa de televisión educativo sigue una distribución normal, y las variaciones depende del tiempo de lectura y comprensión de los contenidos por parte de los usuarios. Con esto se tiene uno de los aspectos que permitirán configurar una aplicación personalizada en la herramienta de simulación *OPNET Modeler* para emular el comportamiento de la aplicación del programa educativo con preguntas de selección múltiple, como se puede observar en el video denominado “*Configuración de escenarios HFC*” que está en el CD adjunto.

Ahora se realiza una correlación entre los datos capturados en el laboratorio y los datos generados por la simulación del modelo matemático para igual número de muestras ($n=50$), Así, para la aplicación de preguntas con respuestas de selección múltiple la correlación para el tiempo de inicio de respuesta es:

$$r = \frac{\frac{1}{50} 4228.6109}{\sqrt{\frac{1}{50} 4957.0482 * \frac{1}{50} 3707.2599}}$$

$$r = 0.9864$$

Como se puede la correlación para el tiempo de inicio de respuesta es muy cercana a 1, lo cual indica que el modelo representa de manera adecuada el comportamiento de las muestras tomadas en el laboratorio para la aplicación de preguntas de selección múltiple.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Sitio Web del analizador de protocolos *Wireshark*: <http://www.wireshark.org>
- [2] Amaya J.P, Urbano F.A, Campo W. Y, Arciniegas J. L, “*Infraestructura Tecnológica para un laboratorio experimental de Televisión Digital interactiva*”. Congreso colombiano de comunicaciones – Colcom 2008, Popayán, Colombia, Noviembre de 2008.
- [3] Aztaiza H., Bermudez H., Muñoz P., “*Simulación de Sistemas de Telecomunicaciones*”. Arte Imagen, 1^{ra} Edición. Armenia, Colombia, 2007.

ANEXO B

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	ii
LISTA DE FIGURAS	ii
ANEXO B	1
1 MODELO DE NODOS Y DEL PROTOCOLO DOCSIS EN LA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN OPNET MODELER	1
1.1 MODELO DE NODOS	1
1.2 MODELO OPNET DEL PROTOCOLO DE ACCESO.....	6
1.3 CONFIGURACIÓN DE UN MODELO DE RED HFC BÁSICO	7
BIBLIOGRAFÍA.....	9

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-1. Descripción del Modelo del CMTS	2
Tabla 1-2. Descripción del Modelo del Servidor	2
Tabla 1-3. Descripción de las estaciones de trabajo Ethernet	3
Tabla 1-4. Descripción de los Cable Modem DOCSIS Ethernet	3
Tabla 1-5. Descripción de las estaciones de trabajo DOCSIS	4
Tabla 1-6. Descripción del Bus DOCSIS	4
Tabla 1-7. Descripción del Bus Tap DOCSIS	4
Tabla 1-8. Descripción del nodo de configuración de tareas	4
Tabla 1-9. Descripción del nodo de definición de aplicaciones	5
Tabla 1-10. Descripción del nodo de definición de perfil	5
Tabla 1-11. Descripción del nodo de perfil DOCSIS	6
Tabla 1-12. Parámetros de configuración de perfiles para DOCSIS	8
Tabla 1-13. Parámetros de configuración de CMTS y CM en DOCSIS	8

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1. Modelo de red HFC en OPNET Modeler	2
--	---

ANEXO B

1 MODELO DE NODOS Y DEL PROTOCOLO DOCSIS EN LA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN OPNET MODELER

En este anexo se describen los nodos involucrados en un modelo básico de red HFC en las que los dispositivos de red hacen uso del protocolo DOCSIS para intercambiar información. Adicionalmente, se describen las particularidades del modelo proporcionado por la herramienta de simulación para el protocolo DOCSIS y de las opciones de configuración del CMTS y CM.

1.1 MODELO DE NODOS

OPNET *Modeler* proporciona nodos (objetos globales) para definir perfiles, aplicaciones y dispositivos de red. Las ventajas de usar un objeto global es que una vez se haya definido los perfiles y las aplicaciones, se puede reutilizar a través de la topología. Estos objetos globales son entidades portables que están definidas independientes de otros objetos, por lo tanto, se puede copiar y pegar los objetos globales a partir de un proyecto a otro sin perder la configuración que se les ha sido asignada [1].

En un modelo de red HFC en OPNET Modeler, las estaciones de trabajo al igual que el CMTS se conectan al **Bus DOCSIS** por medio de los **Bus Tab DOCSIS**, además el CMTS se conecta con los servidores por medio de sus interfaces Ethernet, permitiendo que de esta manera que los servidores y las estaciones de trabajo intercambien información de una forma transparente. En la figura 1-1 se muestra un modelo de red HFC básico en el cual se tienen tres servidores (EDiTV, HTTP y FTP) y los clientes para cada uno de los servicios proporcionados por estos. A demás se tienen los clientes para VoIP.

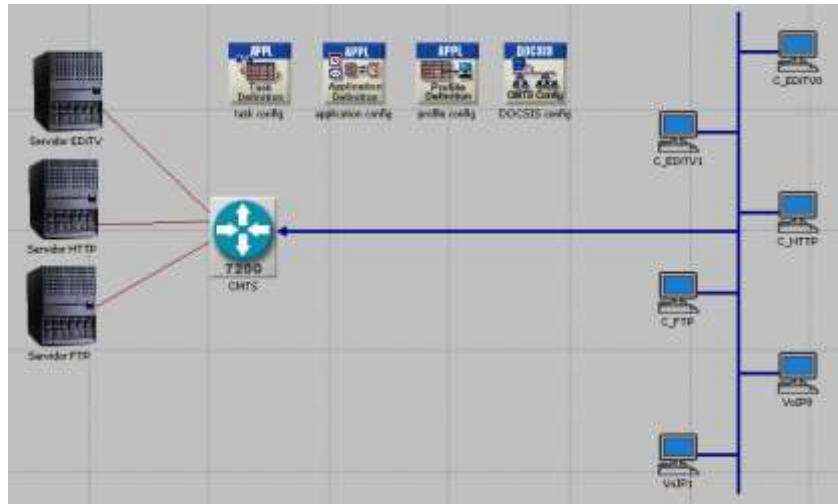


Figura 1-1. Modelo de red HFC en OPNET Modeler

A continuación se hace una descripción de las características proporcionadas por OPNET Modeler [1] para cada uno de los elementos mostrados en la figura 1-1.

Tabla 1-1. Descripción del Modelo del CMTS


CS_7214_sl1_a1_d1_e4		
	Descripción	Representa un modelo del Sistema de Terminación de Cable Modem, se encarga de implementar los perfiles de control de acceso al medio y de modulación en la capa física definidos en el nodo de configuración de perfil DOCSIS, administrando así la forma en que las estaciones de trabajo hacen uso de los canales ascendente y descendente. Sirve de pasarela entre las interfaces RF DOCSIS y las demás interfaces.
	Interfaces	1 ATM, 1 DOCSIS, 4 Ethernet y 1 SLIP, La interface DOCSIS soporta 1 canal downstream y 4 canales upstream.

Tabla 1-2. Descripción del Modelo del Servidor


Dell_PowerEdge_2650_2400_2CPU		
	Descripción	Representa un modelo de servidor para aplicaciones cliente-servidor a través de TCP / IP y UDP / IP.
	Interfaces	Ethernet, SLIP
	Protocolos	RIP, UDP, IP, TCP, OSPF

Tabla 1-3. Descripción de las estaciones de trabajo Ethernet


Ethernet workstation		
	Descripción	<p>Representa una estación de trabajo que corre aplicaciones sobre TCP/IP y UDP/IP.</p> <p>Implementa las aplicaciones según esté descrito en los perfiles de usuario creados en el nodo de configuración de Perfil.</p> <p>Permite establecer preferencias para los destinos de las peticiones.</p> <p>Para conectarse al bus DOCSIS necesita de un Cable Modem DOCSIS externo.</p>
	Interfaces	Ethernet 10BaseT, 100BaseT, or 1000BaseX
	Protocolos	RIP, UDP, IP, TCP, DOCSIS

Tabla 1-4. Descripción de los Cable Modem DOCSIS Ethernet


CM DOCSIS Ethernet		
	Descripción	<p>Representa un <i>hub</i> Ethernet –DOCSIS, sirve de interface entre la red DOCSIS y la red Ethernet en las premisas de usuario.</p> <p>Hace posible la configuración de parámetros DOCSIS para el acceso al medio previamente habilitados en el CMTS, permite configurar flujos de servicio y parámetros relacionados con QoS, fragmentación, concatenación y Piggyback.</p> <p>Permite configurar el tiempo entre concesiones no solicitadas y el tiempo entre sondeos periódicos para los servicios de rTPS, nrtPS y UGS.</p> <p>Sigue algoritmos que le permiten seguir los mensajes de gestión enviados desde el CMTS.</p>
	Interfaces	DOCSIS, Ethernet 10BaseT, 100BaseT, or 1000BaseX
	Protocolos	DOCSIS, Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet (IEEE 802.3)

Tabla 1-5. Descripción de las estaciones de trabajo DOCSIS


DOCSIS workstation		
	Descripción	<p>Representa una estación de trabajo que corre aplicaciones sobre TCP/IP y UDP/IP.</p> <p>Tiene incorporado el Cable Modem DOCSIS, lo que hace posible que se conecte directamente al bus DOCSIS y permita hacer las configuraciones que le corresponden al CM.</p>
	Interfaces	DOCSIS
	Protocolos	RIP, UDP, IP, TCP, DOCSIS

Tabla 1-6. Descripción del Bus DOCSIS

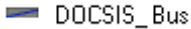
DOCSIS Bus		
	Descripción	A este Bus se conectan los Bus tap que provienen de los CM individuales y del CMTS

Tabla 1-7. Descripción del Bus Tap DOCSIS

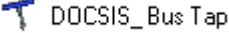
DOCSIS Bus Tap		
	Descripción	Este bus conecta al Bus DOCSIS con los CM individuales y con el CMTS

Tabla 1-8. Descripción del nodo de configuración de tareas


Task Definition		
	Descripción	<p>Este nodo se usa para definir o crear tareas usadas para caracterizar aplicaciones personalizadas, las cuales hacen posible obtener tráficos particulares sobre diferentes nodos de manera flexible.</p> <p>A diferencia de las aplicaciones estándar de un solo nivel (petición/respuesta) las aplicaciones personalizadas establecen conexiones en más niveles o categorías lo que puede estar repartido en equipos independientes.</p>

Tabla 1-9. Descripción del nodo de definición de aplicaciones


Application Definition		
	Descripción	Este nodo permite definir las aplicaciones a utilizar, a partir de modelos de aplicaciones de OPNET, aplicaciones personalizadas y a nivel de información ACE
	Nivel de Información ACE	Se especifica mediante la importación de topologías después de una captura de tráfico como "tráfico de conversación par"
	Especificación de aplicación	Especifica aplicaciones a partir de los modelos de aplicación estándar disponibles en OPNET Modeler y a través de las tareas para una aplicación personalizada. El nombre de la aplicación especificada será utilizado durante la creación de perfiles de usuario.
	Esquemas de codificación de voz	Especifica los parámetros de codificación para cada uno de los esquemas de codificación usados para generar tráfico de voz en la red.

Tabla 1-10. Descripción del nodo de definición de perfil


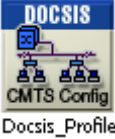
Profile Definition		
	Descripción	<p>Para configurar una estación de trabajo de un usuario o grupo de usuarios, se necesita describir su comportamiento. El comportamiento de un usuario o perfil puede describirse por las aplicaciones que se utilizan, cuánto tiempo y que tan a menudo las manipula. Una aplicación puede describirse en términos de sus acciones, las cuales se refieren a tareas en el simulador.</p> <p>Este nodo se usa para crear perfiles de usuario a partir de las aplicaciones creadas en el nodo de definición de aplicaciones. Estos usuarios pueden ser especificados en los diferentes nodos para generar tráfico en la capa de aplicación.</p> <p>Permite generar replicas de las aplicaciones creadas en el nodo de definición de aplicaciones, repartidas, organizadas y combinadas con otras aplicaciones en intervalos de tiempo más amplios en aras de simular el comportamiento de un usuario.</p>

Tabla 1-11. Descripción del nodo de perfil DOCSIS

DOCSIS profile		
	Descripción	Este nodo se utiliza para configurar los perfiles del protocolo DOCSIS en cuanto a capa física y MAC que serán asignados a las interfaces RF DOCSIS del CMTS
	PHS Profiles	Define perfiles para la supresión de cabeceras de carga útil
	Upstream Physical Profiles	Define los perfiles físicos asociados a los canales ascendentes, permite definir sobre un perfil el tipo de modulación, la tasa de datos, el ancho del canal RF, la frecuencia central del canal asociado al perfil, el tamaño de los minislots y permite además habilitar o deshabilitar el soporte de concatenación y fragmentación en el canal asociado al perfil.
	MAP perfiles	Define los parámetros asociados a los mensajes MAP para la asignación de concesiones, permite definir el tiempo entre mensajes MAP, el número de slots de contienda y configurar los Elementos de Información tales como: Request/Data IE, Short Grant IE, Long Grant IE, initial Maintenance IE.
	Modulación de los perfiles	Define la modulación de los perfiles que se pueden asociar a los canales ascendentes

1.2 MODELO OPNET DEL PROTOCOLO DE ACCESO

Para el protocolo de acceso al medio se ha utilizado el modelo DOCSIS implementado por OPNET Technologies. En el año 2001 OPNET Technologies anunciaba el primer modelo DOCSIS 1.1 [1]. Este modelo, empleado para la simulación de escenarios de redes de cable, está basado en las especificaciones del protocolo descritas en [2]. No es objeto de esta documentación la descripción completa del modelo, sin embargo, sí se resaltan de forma esquemática las características que incorpora.

Por un lado, respecto a los tipos de servicios soportados, el modelo permite la implementación de servicios UGS, rtPS, nrtPS y BE. Para proporcionar calidad de servicio, se incorporan las características de fragmentación, concatenación, contención, *piggyback* y PHS. Respecto a las especificaciones de radio frecuencia configurables en los canales upstream y downstream, el modelo permite la configuración de los diferentes esquemas de modulación soportados por el estándar DOCSIS, ancho de banda del canal,

velocidad de transferencia de datos y frecuencia central del canal configurado. También es posible la configuración de múltiples canales en los sentidos upstream y downstream.

Respecto a las limitaciones del modelo, no se han tenido en cuenta las siguientes características [1]:

- Creación, modificación o supresión dinámica de servicios. Una vez que el servicio se establece durante el tiempo de *ranging*, tiene efecto hasta el final de la simulación.
- Múltiples tipos de servicios en un módem de cable. El modelo soporta solamente un tipo de servicio por módem de cable, de forma que si varias aplicaciones se están ejecutando en un mismo dispositivo conectado a un módem de cable, todas ellas utilizan el mismo tipo de servicio seleccionado para el módem de cable.
- Calidad de servicio en el canal downstream. Como la capa MAC de DOCSIS está por debajo de la capa IP, la calidad de servicio en sentido downstream se puede configurar a partir de los parámetros QoS que se proporcionan en IP.
- Denegación del servicio por solicitud de transferencia de más información que la configurada (*Oversubscription*). Esta limitación solamente afecta a los servicios que requieren concesiones (UGS, rtPS, nrtPS).
- Características de seguridad. No se han modelado los mecanismos de seguridad especificados en el protocolo.

Para la implementación de escenarios de redes de cable, el modelo soporta modelos de nodos CM, nodos CMTS, modelos de enlaces entre CMTS y hosts CM, además de un objeto de configuración para la definición de los atributos DOCSIS. En las tablas 11 y 12 [1] siguientes se resumen las posibilidades de configuración de cada uno de estos elementos.

1.3 CONFIGURACIÓN DE UN MODELO DE RED HFC BÁSICO

El procedimiento de configuración de un modelo de red HFC básico en la herramienta de simulación OPNET *Modeler* se muestra en detalle en el video denominado “*Configuración de escenarios HFC*”, cuyo archivo está en el CD.

El video muestra en detalle la simulación del modelo de tráfico de las aplicaciones de iTV y donde además se evaluó el desempeño de la red frente a diferentes opciones de configuración del protocolo DOCSIS.

Tabla 1-12. Parámetros de configuración de perfiles para DOCSIS

Objeto de Configuración de DOCSIS		
Perfiles Downstream	Perfiles MAP	Perfiles de Modulación
<i>Modulation</i> <i>Data Rate (bps)</i> <i>Channel Width (Hz)</i> <i>Center Frequency (Hz)</i> <i>Interleave Latency</i>	<i>Time Covered by MAP</i> <i>Time Covered by MAP</i> <i>MAP Interarrival Time (sec)</i> <i>Grant Interval (sec)</i> <i>Request/Data IE</i> <i>Data Backoff Start</i> <i>Data Backoff End</i> <i>Number of Contention Slots</i> <i>Short Grant IE</i> <i>Long Grant IE</i> <i>Initial Maintenance IE</i> <i>Station Maintenance IE</i>	<i>Request Frames Overhead</i> <i>Request/Data Frames Overhead</i> <i>Short Data Frames Overhead</i> <i>Long Data Frames Overhead</i>
Perfiles PHS	Perfiles de sobrecarga de la capa física	Perfiles de capa física en Upstream
<i>Do Not Suppress</i> <i>Suppress All</i> <i>Suppress TCP Only</i> <i>Suppress IP Only</i> <i>Suppress Ethernet Only</i> <i>Suppress UDP Only</i> <i>Suppress TCP and IP</i>	<i>Preamble Length</i> <i>FEC Error Correction</i> <i>FEC Codeword Length</i> <i>Guard Time</i> <i>Last Codeword Mode</i>	<i>Physical Parameters</i> <i>Modulation</i> <i>Data Rate (bps)</i> <i>Channel Width (Hz)</i> <i>Center Frequency (Hz)</i> <i>Bytes per Minislot</i> <i>QoS Parameters</i> <i>Management Message Intervals</i> <i>UCD Interarrival Time</i>

Tabla 1-13. Parámetros de configuración de CMTS y CM en DOCSIS

Parámetros CMTS		Parámetros CM
Parámetros de la capa física	Management Message Intervals	<i>Protocol Version</i> <i>US Scheduling Service</i> UGS, rtPS, nrtPS, BE <i>Grant Size (bytes)</i> <i>Nominal Grant Interval (sec)</i> <i>Priority</i> <i>Contention</i> <i>Piggyback</i> <i>Fragmentation</i> <i>Concatenation</i> <i>PHS Profiles</i>
<i>Upstream Channels</i> <i>Channel ID</i> <i>US Physical Profile</i> <i>MAP Profile</i> <i>Modulation Profile</i> <i>Associated Downstream</i> <i>Downstream Channels</i> <i>Channel ID</i> <i>DS Channel Profile</i>	<i>End of Ranging</i> <i>SYNC Interarrival Time</i>	

BIBLIOGRAFÍA

- [1] *“Modeler Documentation Set. Version: 12.0”*. OPNET Technologies, 2006.
- [2] Cable Television Laboratories, Inc. (2007), *“Data-Over-Cable Service Interface Specification, DOCSIS 1.1, Radio Frequency Interface Specification”*.

ANEXO C

ANEXO D

ANEXO E