

**MODELAMIENTO DE TRÁFICO PARA LA INTERACTIVIDAD EN UN CANAL
DE RETORNO DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE**

DIEGO ALEJANDRO RUIZ CARDENAS

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA SAN MARTÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ
2011 II**

**MODELAMIENTO DE TRÁFICO PARA LA INTERACTIVIDAD EN UN CANAL
DE RETORNO DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE**

**DIEGO ALEJANDRO RUIZ CARDENAS
041078
DR041078@INGENIERIA.SANMARTIN.EDU.CO**

MONOGRAFÍA

**ASESOR TÉCNICO
JOAQUÍN FERNANDO SÁNCHEZ CIFUENTES
MODELAMIENTO DE TRÁFICO**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA SAN MARTÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ
2011 II**

Nota de aceptación

**Nombre Asesor Técnico
Asesor**

**Nombre Jurado 1
Jurado 1**

**Nombre Jurado 2
Jurado 2**

Ciudad y fecha (día, mes, año)

Agradezco primero a Dios por brindarme la oportunidad de realizar mis sueños mediante mis esfuerzos, mi dedicación y mi perseverancia; a mi padre Carlos José Ruiz y mi madre Rosa María Cárdenas por estar conmigo en esta etapa de mi vida, aconsejándome, apoyándome y llevándome siempre por el camino del bien. A mis hermanos Carlos, Milena, Diana y Yubit por sus ánimos para continuar en mi sendero profesional.

Y un agradecimiento en especial a mis amigos Marcela Medina que fue fuente de inspiración y de amor en esta etapa; a Jhonnathan Páez y Jhon Freddy Ruiz por ser fuente de persistencia y de apoyo incondicional en esta etapa universitaria.

AGRADECIMIENTOS

Quiero mostrar mi más sincero agradecimiento a todas y cada una de las personas que de manera directa o indirecta contribuyeron con el desarrollo de este proyecto de grado, a mi asesor y buen amigo Ingeniero Joaquín Fernando Sánchez por sus exigencias, por el animo que me brindo, por su gran conocimiento y por la ayuda en este trabajo.

Al ingeniero Hans López, quien con su conocimiento me aconsejo en distintos aspectos de este proyecto de grado. A mi amigo el Ingeniero Miguel Andrés Vásquez, por contribuir y aclarar muchas dudas en este proceso. Por último doy un agradecimiento especial a todas esas personas con las que compartí en esta mi formación académica.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. PROBLEMA	19
2. JUSTIFICACIÓN	20
3. OBJETIVOS	21
3.1 OBJETIVO GENERAL	21
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
4. MARCO REFERENCIAL	22
4.1 MARCO CONCEPTUAL	22
4.1.1 Televisión	22
4.1.2 Televisión Digital Terrestre	22
4.1.3 Proceso de la Televisión digital Terrestre en Colombia	23
4.1.4 Estándares de la televisión digital	26
4.1.5 Televisión Interactiva	28
4.1.6 Tráfico	28
4.2 MARCO TEÓRICO	29
4.2.1 Fundamentos DVB-T	29
4.2.2 Transmisión en DVB-T	30
4.2.3 Funcionamiento de la televisión digital terrestre	32

4.2.4	Compresión de video	36
4.2.5	MPEG-2	38
4.2.6	Concepto de Interactividad	43
4.2.7	MHP (Multimedia Home Platform)	45
4.2.8	Servicios de la Televisión interactiva	47
4.2.9	Decodificadores para la televisión digital terrestre	53
4.2.10	Modelos de tráfico	54
4.3	ANTECEDENTES	63
4.3.1	Televisión digital interactiva	63
4.4	ESTADO DEL ARTE	65
5.	LIMITACIONES Y ALCANCES	67
5.1.1	Limitaciones	67
5.1.2	Alcances	67
6.	DISEÑO METODOLÓGICO	68
6.1	Metodología	68
6.2	Fases y/o PROCEDIMIENTOS	68
6.3	Instrumentos	69
7.	DESARROLLO	70
7.1	CANALES DE RETORNO EN TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE	70
7.1.1	Canal Satelital	71

7.1.2	Canal por Cable	74
7.1.3	Canal por PLC	79
7.1.4	Canal Terrestre	80
7.2	TRANSMISIÓN DE DATOS Y APLICACIONES MHP	85
7.2.1	Data Carousel	87
7.2.2	Object Carousel	89
7.2.3	Canal de Interactividad	91
7.3	NETWORK SIMULATOR 2 (NS-2)	91
7.3.1	Implementación de la simulación en NS-2	95
7.3.2	Desarrollo de la simulación en NS-2	96
7.3.3	Análisis de las Trazas	101
7.3.4	Análisis de la distribución	106
7.4	PLANTEAMIENTO DEL MODELO	109
7.4.1	Modelo On-Off	112
8.	PRUEBAS Y RESULTADOS	115
8.1	ANALISIS DEL MODELO PROPUESTO	115
8.2	ANALISIS DE DISTINTOS ESCENARIOS DE SIMULACIÓN	118
8.2.1	Análisis de la Latencia	119
8.2.2	Análisis del ancho de banda	121
8.2.3	Análisis de la velocidad de transmisión	124

9.	CONCLUSIONES	128
10.	RECOMENDACIONES	130
	GLOSARIO	131
	BIBLIOGRAFÍA	135

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Niveles de interactividad en la aplicaciones	47
Tabla 2. Media de los Nodos (Televidentes)	110

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Transmisor marca Harris modelo Ranger estándar ATSC.	24
Figura 2. Transmisor Marca BTSA estándar DVB-T.	25
Figura 3. Sistema Radiante Torre y Antenas.	25
Figura 4. Estándar de televisión digital a nivel mundial.	26
Figura 5. Ortogonalidad de subportadoras en OFDM.	31
Figura 6. Transmisión de símbolos OFDM en dominio de frecuencia y tiempo.	31
Figura 7. Propagación de la televisión digital.	32
Figura 8. Recepción de TDT para un televisor analógico.	33
Figura 9. Recepción de TDT para un televisor con codificador integrado.	33
Figura 10. Constelaciones usadas en DVB-T.	35
Figura 11. Diagrama de bloques empleado para el sistema DVB-T.	36
Figura 12. Cabecera de un PES en MPEG-2.	39
Figura 13. Esquema conceptual de la generación de transporte en MPEG-2.	40
Figura 14. Creación de un tren de transporte en MPEG-2.	41
Figura 15. Construcción de un paquete de transporte.	42
Figura 16. Diagrama de bloque general de video MPEG-4.	42
Figura 17. Interactividad Local.	46
Figura 18. Interactividad sin respuesta por canal de retorno.	46
Figura 19. Interactividad Remota.	46
Figura 20. Información Meteorológica.	48
Figura 21. Tele tráfico en Televisión Digital.	49
Figura 22. Teletexto aplicado a una compra.	49
Figura 23. T-commerce en Televisión Digital.	51
Figura 24. T-Government en Televisión Digital.	51
Figura 25. T-Educación en Televisión Digital.	52
Figura 26. T-Salud en Televisión Digital.	52
Figura 27. Decodificador STB.	53
Figura 28. Cadena de Markov de dos estados.	56

Figura 29. Copo de Nieve de Von Koch con dimensión fractal.	57
Figura 30. Objetos autosimilares de dimensión "fractal" 1, 2 y 3.	58
Figura 31. Dirección de la curva de Von Koch con dimensión "fractal".	58
Figura 32. Conjunto de Mandelbrot.	59
Figura 33. Tráfico observado en una red Ethernet.	59
Figura 34. Un sistema de cola típico.	61
Figura 35. Red satelital bidireccional.	72
Figura 36. Modelo de referencia de un sistema satelital interactivo.	73
Figura 37. Procesamiento de la señal en el enlace de retorno por satélite.	73
Figura 38. Red de distribución de televisión a través de cable.	75
Figura 39. Esquema de red de cable bidireccional.	77
Figura 40. Modelo interactivo en DVB-RCC.	78
Figura 41. Segmentos de una red PLC.	79
Figura 42. Sistema genérico de modelo de referencia para interactividad.	81
Figura 43. Modelo de referencia para interactividad en sistemas terrestres.	82
Figura 44. Red DVB-RCT.	83
Figura 45. Diagrama de la red DVB-RCT.	84
Figura 46. Interfaces de aplicaciones y servicios.	86
Figura 47. Capas de aplicaciones de Carrusel.	87
Figura 48. Esquema de Data Carousel de una y dos capas.	88
Figura 49. Esquema del Data Carousel y sus Módulos.	89
Figura 50. Esquema de como se referencian los Object Carousel en DVB.	90
Figura 51. Jerarquía parcial de las clases NS-2.	92
Figura 52. Estructura de NS-2.	93
Figura 53. Esquema de módulos de NS-2.	93
Figura 54. Ventana de simulación de la herramienta NAM.	94
Figura 55. Peticiones y Respuestas en TDT.	95
Figura 56. Topología de la simulación en NS-2.	97
Figura 57. Seguimiento de paquetes desde el servidor hacia el usuario.	98
Figura 58. Zoom del seguimiento desde el servidor hacia el usuario.	98
Figura 59. Seguimiento de paquetes desde el usuario hacia el servidor.	99

Figura 60. Zoom del seguimiento desde el usuario hacia el servidor.	99
Figura 61. Diagrama de Bloques para la implementación de la simulación.	100
Figura 62. Estructura de fichero de traza.	101
Figura 63. Segmento de traza obtenida de la simulación realizada.	101
Figura 64. Tiempo entre arribos del nodo 1 al nodo 0.	102
Figura 65. Tiempo entre arribos del nodo 2 al nodo 0.	102
Figura 66. Tiempo entre arribos del nodo 3 al nodo 0.	103
Figura 67. Tiempo entre arribos del nodo 4 al nodo 0.	103
Figura 68. Tiempo entre arribos del nodo 5 al nodo 0.	104
Figura 69. Número de ocurrencias del nodo 1 al nodo 0.	104
Figura 70. Número de ocurrencias del nodo 2 al nodo 0.	105
Figura 71. Número de ocurrencias del nodo 3 al nodo 0.	105
Figura 72. Número de ocurrencias del nodo 4 al nodo 0.	105
Figura 73. Número de ocurrencias del nodo 5 al nodo 0.	106
Figura 74. Distribuciones a comparar.	106
Figura 75. Tiempo de arribos generados en MATLAB para la función exp.	107
Figura 76. Tiempo de arribos generado en MATLAB para la función gp.	107
Figura 77. Distribución exponencial generada por MATLAB.	108
Figura 78. Distribución de pareto generada por MATLAB.	108
Figura 79. Grafica de distribución exponencial característica del modelo.	111
Figura 80. Grafica de Densidad característica del Modelo	111
Figura 81. Modelo ON-OFF del tráfico.	112
Figura 82. Modelo de fuente ON-OFF.	113
Figura 83. Modelo planteado.	114
Figura 84. Diagrama del modelo propuesto.	115
Figura 85. Tamaño de paquetes enviados del nodo 1 al nodo 0.	116
Figura 86. Tamaño de paquetes enviados del nodo 2 al nodo 0.	116
Figura 87. Tamaño de paquetes enviados del nodo 3 al nodo 0.	117
Figura 88. Tamaño de paquetes enviados del nodo 4 al nodo 0.	117
Figura 89. Tamaño de paquetes enviados del nodo 5 al nodo 0.	118
Figura 90. Latencia 100ms Vs Latencia 50ms del nodo 1 al nodo 0.	119

Figura 91. Latencia 100ms Vs Latencia 50ms del nodo 2 al nodo 0.	120
Figura 92. Latencia 100ms Vs Latencia 50ms del nodo 3 al nodo 0.	120
Figura 93. Latencia 100ms Vs Latencia 50ms del nodo 4 al nodo 0.	120
Figura 94. Latencia 100ms Vs Latencia 50ms del nodo 5 al nodo 0.	121
Figura 95. BW de 1Mhz Vs BW de 450Khz del nodo 1 al nodo 0.	122
Figura 96. BW de 1Mhz Vs BW de 450Khz del nodo 2 al nodo 0.	122
Figura 97. BW de 1Mhz Vs BW de 450Khz del nodo 3 al nodo 0.	122
Figura 98. BW de 1Mhz Vs BW de 450Khz del nodo 4 al nodo 0.	123
Figura 99. BW de 1Mhz Vs BW de 450Khz del nodo 5 al nodo 0.	123
Figura 100. Perdida de paquetes con un ancho de banda de 450Khz.	123
Figura 101. Velocidad de tx de 38Kbps Vs 120Kbps del nodo 1 al nodo 0.	124
Figura 102. Velocidad de tx de 38Kbps Vs 120Kbps del nodo 2 al nodo 0.	125
Figura 103. Velocidad de tx de 38Kbps Vs 120Kbps del nodo 3 al nodo 0.	125
Figura 104. Velocidad de tx de 38Kbps Vs 120Kbps del nodo 4 al nodo 0.	126
Figura 105. Velocidad de tx de 38Kbps Vs 120Kbps del nodo 5 al nodo 0.	126
Figura 106. Perdida de paquetes con velocidad de tx de 120Kbps	127

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Definición de la señal QPSK	35
Ecuación 2. Relación Tráfico-Desempeño	54
Ecuación 3. Movimiento Browniano	60
Ecuación 4. Movimiento Browniano Fraccional	60
Ecuación 5. Función de distribución exponencial	109
Ecuación 6. Función de densidad exponencial	109
Ecuación 7. Tiempo medio de llegadas	110
Ecuación 8. Media de la distribución exponencial	110
Ecuación 9. Varianza de la distribución exponencial	110
Ecuación 10. Distribución exponencial característica del modelo	111
Ecuación 11. Densidad exponencial característica del modelo	111
Ecuación 12. Estado ON	113
Ecuación 13. Estado OFF	113
Ecuación 14. Modelo interactivo en un canal de retorno de TDT	114

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1. En el anexo 1 se encuentra el archivo de la simulación realizada en NS-2 con una extensión .TCL
- Anexo 2. En el anexo se encuentran los distintos archivos realizados en MATLAB, para observar el comportamiento del modelo propuesto.
- Anexo 3. En el anexo 3 se encuentran las trazas obtenidas de cada una de las pruebas realizadas, para ser cargadas en MATLAB.

RESUMEN

El presente proyecto de grado describe las principales características de la transmisión y de la recepción de los contenidos interactivos de la televisión digital terrestre en el estándar Europeo DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial), enfocándolo hacia el planteamiento de un modelo de tráfico que caracterice dicho comportamiento específicamente en un canal de retorno de televisión digital terrestre.

Para el cumplimiento de este objetivo fue necesario documentar en primera instancia sobre el funcionamiento de la televisión digital terrestre en el estándar DVB-T, que fue el adoptado por Colombia; caracterizando de esta forma como se realiza la transmisión de los distintos contenidos. En esta documentación fue de vital importancia hacer énfasis en los requerimientos básicos, que se precisan para que se pueda cumplir la interactividad, en donde se hace mención del funcionamiento de los estándares como el MHP y el equipamiento físico (como el set top box), para que estos contenidos interactivos sean recepcionados y visualizados en nuestros hogares; por otro lado se documento sobre cuatro canales de retorno de TDT utilizados para la comunicación con el servidor de interactividad, estos canales fueron el satelital, canal por cable, canal por PLC y el canal terrestre; siendo el terrestre el escogido ya que en principio cumple con las características de DVB-T y esta también especificado para este estándar con el nombre de DVB-RCT (Digital Video Broadcasting - Return Channel Terrestrial).

Con las características del funcionamiento de la televisión, se realizó una simulación en el programa llamado NS-2, tratando de hacer que fuera lo mas cercana a la realidad, para así después obtener unas trazas que caracterizaran el comportamiento de la interactividad; estas trazas fueron analizadas en el software MATLAB para observar el tiempo entre llegada de los paquetes de cada televidente hacia el servidor interactivo y deducir el tipo de distribución de la mismas. Por último se planteo un modelo de tráfico de características ON-OFF para el comportamiento del canal de retorno de la televisión digital terrestre.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la televisión es el medio masivo de información y de esparcimiento de la sociedad, que se hace indispensable para mantenerse al tanto de lo que ocurre en una región o en el mundo. Con la llegada de la televisión digital, se cambia todo el concepto que hasta hoy se tenía de la televisión análoga, en donde el tele espectador puede disfrutar de beneficios y mejoramientos significativos, como lo es una mejor calidad en la imagen, mejor calidad de sonido, mayor número de canales y disfrutar de contenidos interactivos; con la interactividad el televidente puede convertirse en una persona activa con algunos programas que se estén emitiendo y contengan contenido interactivo, en este caso con un proveedor de servicios al que se conecta mediante un canal de retorno. La interactividad por medio de este canal de retorno permite no sólo ver contenidos adicionales a la programación y navegar por ellos, sino también enviar respuestas por parte de los usuarios, responder a ciertas preguntas, realizar una compra de un producto que este a la venta e incluso comunicarse con otros usuarios.

Con la llegada de esta nueva tecnología digital y de la interactividad se abre un gran abanico de posibilidades, tanto para los radiodifusores de televisión, para los creadores de nuevos contenidos y para los usuarios; cambiando el modelo tradicional, a un modelo convergente de nuevas tecnologías, para generar nuevas fuentes de empleo y de economía. Por otra parte, estos servicios de televisión digital no llegarán solo a nuestros televisores, si no que también serán compatibles para equipos móviles y portátiles, haciendo que se incremente de una forma considerable la cantidad de usuarios tanto a nivel nacional, como a nivel mundial; esto puede de que afecte en un futuro a este sistema, ya que la demanda que tendrán estos contenidos será mucho mayor y por lo tanto el tráfico que circulara por estas redes también aumentara en gran medida.

El tráfico de esta red, es el principal objetivo que se pretende analizar, para determinar como es su comportamiento; y de esta forma poder prever mejoramientos en nuevas implementaciones que se pretendan hacer en televisión digital terrestre.

1. PROBLEMA

Los seres humanos hoy en día, comparten e intercambian información en formatos de tipo digital, los cuales se ven integrados por una gran cantidad de datos. Esta información se puede clasificar en ciertos contenidos como lo son el texto, la voz, el sonido las imágenes y el video, haciendo que la mezcla de todos estos produzca un desorden en el transporte de la información, y como consecuencia se tenga una disminución en el desempeño de la red de telecomunicaciones.

En la actualidad la televisión digital es considerada como la evolución tecnológica del sistema analógico que ha ido desapareciendo a lo largo del tiempo; en el caso de Colombia, el “apagón analógico” esta previsto para el año 2019 (Hernández, s.f). Es evidente que Colombia es un país en vía de desarrollo; y por eso es necesario incursionar en los sistemas de televisión digital, atrayendo un nuevo mercado tanto para la producción y la emisión de ciertos contenidos para una nueva economía, ya que gracias a estas se generaran varias fuentes de empleo y nuevas inversiones. Pero para ello Colombia tiene que analizar el primer gran problema de la televisión digital terrestre, que radica en que no es un término a grandes rasgos conocidos por el colombiano del común, como lo expresa Martha Isabel Aguirre, en su revista Razón y Palabra; si no mas bien por algunas personas interesadas y estudiosas del tema. Esto implica que los profesionales del presente y futuros aspirantes a ingenieros en telecomunicaciones se documenten y se involucren más con el tema, para así poder competir en el campo laboral que se incrementará de una forma considerable en unos pocos años y se hará más difícil por la demanda que tendrá; existen organismos de derecho público, como la comisión nacional de televisión encargada de dirigir y desarrollar políticas en materia de televisión, regulando el servicio, gestionando y controlando el espectro electromagnético utilizado para el servicio de la televisión, que hace que se le facilite mas a algunos de los televidentes comprender la televisión digital terrestre.

El segundo problema, y por ende el más importante para esta investigación, es que en Colombia no existen estudios específicos que analicen el modelamiento de tráfico en un canal de retorno para la interactividad de la televisión digital terrestre, por lo que se hace supremamente necesario analizar este tipo de modelamiento de tráfico en la nueva red, y en las nuevas plataformas de televisión digital terrenales en el país. Por otra parte es bien sabido, que actualmente la televisión digital ha tenido gran demanda a cuanto nuevos servicios y a nuevas tecnologías de alta capacidad de transmisión (Jiménez Bahamón, 2010). Lo que hace que se incremente el tráfico de una forma considerable; a lo que se podría pensar, ¿La eficiencia de la red será optima para el uso que se le dará a la interactividad en unos cuantos años? Así de esta forma en un futuro se podrán tomar decisiones correctas para la optimización y la mejora del servicio televisivo en cuanto a la gran cantidad de tráfico.

2. JUSTIFICACIÓN

La televisión digital terrestre es un tema que ha venido estudiándose durante los últimos años, haciéndose útil para el desarrollo de nuevas tecnologías en el país (Figueroa Clausen, Maestre Cuello, Noriega de la Hoz, Alvarez Corredor, & Carreño Cardona, 2009).

El motivo principal, por el cual se decidió desarrollar este trabajo de investigación, es para dar un conocimiento claro, al colombiano del común, del funcionamiento y del comportamiento del estándar Europeo, que adoptó la Comisión Nacional de Televisión para transmitir sus señales digitales terrestres, que trae consigo varias características con las cuales el televidente podrá disfrutar de una mejor calidad de imagen, de audio, multicanalidad y de la interactividad que es una de las grandes ventajas que trae esta nueva tecnología (Cobo, 2009), ya que mediante esta se puede hacer una comunicación bidireccional entre el televidente y la estación de transmisión, haciendo que se transforme el concepto que se tenía de la televisión análoga, donde el espectador sólo se limitaba a ver el contenido de la programación de una forma pasiva.

En este proyecto de grado se quiere estudiar de una forma más profunda la interactividad de esta nueva tecnología, desarrollando una simulación de un canal de retorno que caracterice el modelamiento de tráfico mediante un programa llamado NS-2, tomando muestras de cómo es la comunicación del televidente con el canal. Con el fin de observar que tan eficiente es la transmisión de datos y la congestión en el envío de paquetes. Con los datos obtenidos en este estudio, se puede llegar a mejorar las condiciones de transmisión en un futuro (Martínez, 2011). Esto implica que mediante este proyecto de grado se puedan generar y se puedan abrir nuevos campos para nuevos profesionales, fomentando así nuevas investigaciones en el campo de la televisión digital terrestre en Colombia.

También se fundamentará sobre el tema de interactividad, ya que no se cuenta con la suficiente documentación sobre este tipo de proceso. Además de esto la investigación servirá en un futuro para el implanteamiento de algoritmos o procedimientos más sencillos en los sistemas de transmisión digital, optimizando la interactividad del usuario.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Plantear un modelo de tráfico para la interactividad en un canal de retorno de televisión digital terrestre.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Documentar el funcionamiento de la televisión digital en el estándar Europeo.
- Clasificar los canales de la transmisión de televisión digital, haciendo énfasis en el envío de datos por el canal de retorno seleccionado.
- Simular en la plataforma NS-2 los canales de subida y bajada de la televisión digital, realizando el análisis en el canal de retorno.
- Plantear un modelo de tráfico para el canal de retorno, que caracterice la interactividad de televisión digital, basándose en la simulación realizada.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO CONCEPTUAL

4.1.1 Televisión

El término televisión hace referencia a un sistema de comunicación que transmite a grandes distancias. Este modo de transmisión puede ser efectuada por ondas de radio o por redes especializadas; como por cable. La televisión como tal es el medio de comunicación más utilizado a nivel mundial, así mismo tiene una gran variedad de servicios y aplicaciones tanto en la sociedad, como en la industria, y ciencia. Su uso más común es el de medio informativo y de entretenimiento para el espectador. Una imagen de televisión es básicamente una imagen monocromática con variaciones de luz (Islas & Sandoval, 2007).

4.1.2 Televisión Digital Terrestre

La TDT, o televisión digital terrestre hace referencia a la aplicación de nuevas tecnologías del medio digital al tipo de transmisión de contenidos a través de una antena convencional. Aplicando la tecnología digital se consiguen mayores posibilidades, como lo es proveer un mayor número de canales, como aprovechar en ancho de banda y tener una mejor calidad de imagen y de sonido (Aguirre, 2009).

La televisión digital técnicamente consiste en una señal analógica que es transformada en una sucesión de 0 y 1 respectivamente a una alta velocidad. Para esta conversión se toman muestras de la amplitud de la señal analógica a ciertos intervalos que sean precisos, regulares (millones de veces por segundo), cada medición genera un número representativo del valor de la misma; mediante la codificación, estos valores se convierten en una secuencia de números binarios (Díaz, 2002).

Las ventajas con la que cuenta la televisión digital terrestre en Colombia, frente a la actual televisión analógica son (Arboleda, 2008):

- Una recepción económica en el hogar.
- Permite ver un mayor realismo en los contenidos.
- Optimización del uso del ancho de banda sobre cada canal de 6Mhz.

- Permite visualizar un formato panorámico 16:9 (televisión de alta definición).
- Permite la multicanalidad.
- Promueve la interactividad.
- Fomentará el desarrollo de la industria de la televisión, ya que los operadores de la televisión digital terrestre crearán nuevos modelos de negocios basados en la interactividad, la industria electrónica crecerá con la renovación de los aparatos receptores, y habrá una mayor producción de contenidos.
- La televisión digital terrestre sin duda alguna tendrá mejor aceptación por el consumidor (televigente) ya que cuenta con variadas y mejores características que con las que cuenta la televisión analógica.
- Mejor calidad en audio y video: La televisión digital permite una alta calidad de imagen sin ruidos ni interferencias, ofrece contenidos de la imagen con panorámico 16:9 y múltiples subtítulos.
- Mayor número de canales: Con la televisión digital podrán transmitirse varios canales por un mismo transmisor o ancho de banda, además de hacerlo con una calidad superior.
- Portabilidad y movilidad: permite la recepción portátil, que implica que la señal pueda ser recibida directamente en un terminal, como un celular, palm, portátil con una simple antena telescópica, siempre que esté situado dentro de la zona de cobertura de servicio.
- Interactividad: La televisión digital terrestre permite al espectador convertirse en un agente activo de la comunicación (teletexto, radio, acceso a internet desde el televisor).

4.1.3 Proceso de la Televisión digital Terrestre en Colombia

La Comisión Nacional de Televisión (CNTV) aprobó la ejecución del proyecto “Plan para la Implementación del Servicio de Televisión Digital Terrenal en Colombia”, mediante Determinación de Junta Directiva 1226 Numeral 11 del 23 de Febrero –de 2006.

El proceso y el análisis de las características de cada uno de los estándares mundiales en nuestro país fueron iniciados por la Comisión Nacional de Televisión

desde hace cinco años. Luego se suministraron los equipos para hacer las pruebas de televisión digital en Colombia, los cuales fueron instalados en la estación “Calatrava”, de propiedad de los operadores nacionales privados.

Las pruebas se tomaron sobre ocho radiales y puntos adicionales en Bogotá para determinar el comportamiento de los tres estándares. En Bogotá se realizaron las pruebas de cubrimiento, de movilidad y las de indoor con los tres estándares. Posteriormente, las pruebas se trasladaron a Pereira ya que la estación cumple con características topográficas diferentes a Bogotá. Para las pruebas la CNTV asignó las frecuencias 60 y 62 de la banda UHF para los estándares ATSC y DVB respectivamente, donde se realizarán transmisiones en definición estándar SDTV (Standard Definition TV) y alta definición HDTV (High Definition TV). Para realizar las pruebas con el estándar ATSC fue instalado un transmisor de estado sólido marca HARRIS de potencia nominal de 1 KW con potencia de operación de 500W. Para realizar las pruebas con el estándar DVB-T fue instalado un transmisor de estado sólido marca BTSA de potencia nominal de 1 KW operando a 500W (Arboleda, 2008).

En la figura 1 se observa el transmisor utilizado para las pruebas en Colombia con el estándar Americano.

Figura 1. Transmisor marca Harris modelo Ranger estándar ATSC.



Comisión Nacional de Televisión (2008)

En la figura 2, se observa el transmisor utilizado para las pruebas en Colombia con el estándar Europeo.

Figura 2. Transmisor Marca BTSA estándar DVB-T.



Comisión Nacional de Televisión (2008)

El sistema radiante está conformado por una torre auto soportada de 120 metros de altura en la cual se instaló el sistema de antenas. Las antenas se ubicaron a 119 metros, son de tipo panel de 4 dipolos para operar en la banda V (UHF). Los dos estándares utilizan un sistema de compresión y multiplexación de video que manejan dos formatos de calidad, uno de alta definición y otro de definición estándar los cuales son entregados al transmisor. En la figura 3, se visualiza las torres empleadas para transmitir las señales.

Figura 3. Sistema Radiante Torre y Antenas.



Comisión Nacional de Televisión (2008)

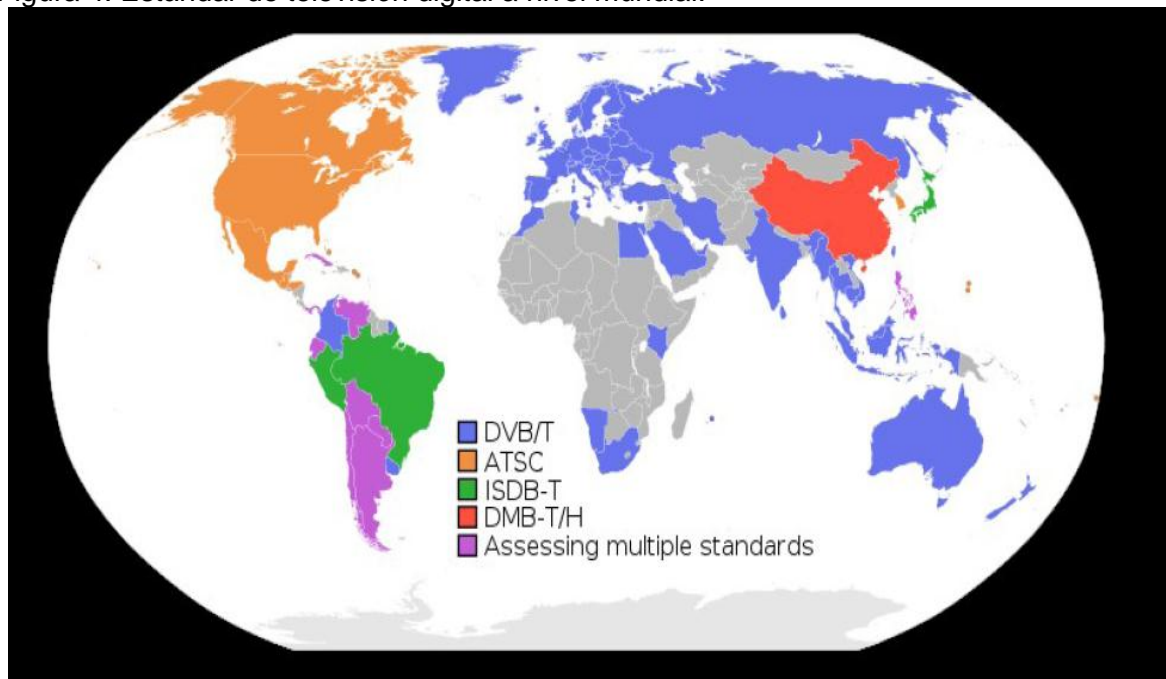
Como parte del proceso se llevaron a cabo diferentes actividades entre las que se destacan: el estudio socioeconómico, las visitas a 9 países para conocer los estándares que han adoptado, 120 reuniones aproximadamente, llevadas a cabo por la Junta Directiva de la CNTV y 12 foros a nivel nacional en las ciudades de: Cali, Medellín, Manizales, Bucaramanga, Barranquilla, Bogotá, Villavicencio, Pasto, Ibagué, Valledupar, Arauca y Bogotá.

Finalmente el 28 de agosto de 2008 se seleccionó el estándar europeo DVB-T para Colombia, utilizando el sistema de compresión MPEG 4, estableciéndose un período máximo de transición de 10 años. Esta innovación tecnológica implicará para el país no solo un cambio en la forma de producir, comercializar, transmitir y recibir la televisión, sino también en cómo la verán los televidentes (Arboleda, 2008).

4.1.4 Estándares de la televisión digital

Existen cuatro grandes estándares de televisión digital a nivel mundial, pero tan solo tres de ellos son los que se encuentran más centralizados en la TDT; como lo es el estándar Americano (ATSC), el estándar Japonés (ISDB-T), el Europeo (DVB-T); que es en el que se centralizará en este proyecto de grado, y el Chino (DMB-TH) que es más utilizado para televisión móvil. En la figura 4, se aprecia la adopción que a tomado cada estándar a nivel mundial.

Figura 4. Estándar de televisión digital a nivel mundial.



Stanichevsky (2009)

- Estándar ATSC-T (Advanced Television Estándar Comité): Estados Unidos fue el primer país del mundo en discutir el modelo de TV digital y proponer un patrón. El modelo adoptado por los norteamericanos se centra en incluir un escenario de alta definición y alta resolución. Este programa inicia con la aprobación de un programa llamado 8-VSB de modulación que es básicamente una evolución de los regímenes de modulación analógica. Curiosamente, hoy en día la patente estándar 8-VSB pertenecen a una empresa coreana, e incluso en Corea del Sur han adoptado la norma ATSC, con el objetivo de ser una plataforma de exportación a los EE.UU. Este estándar aún no incluye los recursos relacionados con la movilidad y la portabilidad (Knörich, s.f).
- Estándar DVB-T (Digital Video Broadcasting Terrestrial): El estándar DVB fue propuesto por un consorcio de países europeos de la Comisión Europea. El padrón Europeo contempla el pragmatismo de la Unión Europea, creando oportunidades para las empresas de estos países. Inicialmente más de 30 países fueron invitados para participar, y los europeos aprendieron mucho con los errores de los norteamericanos. Este padrón es muy flexible, a punto de contemplar peculiaridades específicas de cada país; gracias al padrón DVB-T, el concepto de televisor de tubo largo (wide-screen) ya es una realidad en Europa, sin incorporar necesariamente la alta definición. De todos los estándares existentes actualmente, DVB-T es el que tiene mayor penetración en el mercado mundial (Knörich, s.f).
- Estándar ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial) ISDB-T es fomentado por un consorcio amplio de empresas y concesionarias japonesas denominadas DiBEG. Desde el punto de vista de tecnología y desempeño, el estándar Japonés es el más avanzado ya que considera flexibilidad, una intensa convergencia, soporta modulación digital de alta calidad, movilidad, portabilidad y alta definición. Un recurso adicional del estándar Japonés es la segmentación, ósea; el canal digital es sub dividido en varios sub canales permitiendo la transmisión simultánea de varios servicios (Knörich, s.f).
- Estándar DMB-T/H (Digital Multimedia Broadcast Terrestrial/Handheld) DMB T/H, es el estándar Chino que cubre tanto la TV móvil como la televisión tradicional o la televisión de alta definición. Éste estándar ha sido producto de la colaboración entre Universidades chinas (principalmente la de Pekín y Shanghái). Este estándar, está basado en las características de HDTV y ha sido principalmente diseñado para la transmisión en móviles, donde es capaz de recibir la señal de TDT a una velocidad de 200km y alcanza un radio de difusión hasta de 100 km; sin embargo, dadas sus características tendientes a la parte móvil, es poco flexible (Knörich, s.f).

4.1.5 Televisión Interactiva

El concepto que se tiene de televisión interactiva, está basado en la evolución y capacidades tecnológicas que han sido desarrolladas en la televisión digital. La televisión interactiva, puede ser definida como un servicio digital que permite tanto a los espectadores, como a quienes desarrollan programas televisivos establecer un dialogo bidireccional (Sauvalle, 2005).

4.1.6 Tráfico

El tráfico en sistemas de comunicaciones hace referencia a la cantidad de información y al envío de datos, que circula por las redes de interconexión.

Según Alzate (2001) “el tráfico se modela mediante un proceso estocástico que representa la demanda que los usuarios de una red de comunicaciones, imponen sobre los recursos de una red. Originalmente se considero que los tiempos entre llegadas de las demandas de los usuarios, eran independientes entre sí, así como la cantidad misma de la demanda (tiempos entre llamadas y duración de llamadas, tiempos entre llegada de paquetes y longitud de paquetes, tiempos entre solicitud de conexiones y duración de la sesiones). Posteriormente se vio la necesidad de incluir el efecto de la correlación existente entre estas variables, para lo cual se desarrollaron modelos más elaborados en los que la correlación decaía exponencialmente con el tiempo. Sin embargo recientemente se ha evidenciado que en las redes modernas de comunicaciones, la correlación entre estas variables no decae tan rápidamente y puede persistir a través de muchas escalas de tiempo. Este fenómeno que afecta significativamente el desempeño de las redes de comunicaciones, se puede representar adecuadamente, mediante modelos de trafico fractales, o autosimilares”.

La teoría de tráfico, consiste simplemente en la aplicación de modelos matemáticos para poder explicar la relación que existe entre la capacidad de una red de comunicaciones, la demanda del servicio que los usuarios imponen, en este caso los televidentes y el nivel de desempeño que dicha red pueda llegar a alcanzar. Como dicha demanda es de naturaleza aleatoria, se puede representar mediante un proceso estocástico adecuado, con lo que se constituyen diferentes modelamientos de tráfico.

A lo largo del desarrollo de las redes de comunicaciones en los últimos cien años, se han propuesto diferentes modelos de tráfico, cada uno de los cuales ha resultado útil dentro del contexto particular para el cual fue propuesto. Al utilizar estos modelos en el estudio de desempeño de redes (mediante un análisis o una simulación), se obtienen resultados estadísticamente significativos (Alzate, 2007).

4.2 MARCO TEÓRICO

4.2.1 Fundamentos DVB-T

El DVB (Digital Video Broadcasting) es un organismo encargado de proponer y de crear procedimientos de estandarización para la televisión digital. Se constituye por más de 270 instituciones y empresas en todo el mundo. En donde todos los procedimientos de codificación de fuentes de video y audio se basan en estándares definidos por MPEG, en el caso de Colombia se definirá por MPEG-4 que es el que cubre los aspectos en cuanto a la compresión de señales de audio y de video, y los procedimientos de la multiplexación y de sincronización de este tipo de señales digitales en tramas de transporte. Una vez que está definida cierta trama, es supremamente necesario definir que sistema de modulación de señal se utilizara para la radiodifusión terrestre. El estándar DVB-T actualmente está implantado en la mayoría de países Europeos y algunos Latinoamericanos, en donde esta transmisión digital terrestre utiliza los canales UHF convencionales (Martín, 2008).

4.2.1.1 Introducción a DVB-T

DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial), es el último y más sofisticado de los tres sistemas componentes de DVB (siendo los otros dos DVB-C el sistema para cable y DVB-S para satélite). Basado en COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex) y modulación QPSK, 16 QAM y 64 QAM, es el más sofisticado y flexible sistema de transmisión digital terrestre disponible hoy en día (Almarza V, s.f)

DVB-T permite a los proveedores del servicio televisivo igualar, e incluso mejorar, la cobertura analógica con una fracción de la potencia. Junto con el empleo de técnicas avanzadas de modulación, como COFDM que optimizan las pérdidas de información en la recepción cuando se encarga a un gran número de subportadoras, modular con bajas tasas de bit (Kbps) parte de la información de entrada al modulador, este sistema compite siendo el más robusto del mercado en la actualidad. Como menciona Almarza en su escrito Radiodifusión Digital Terrestre, El sistema DVB define un conjunto de estándares que permiten la interoperabilidad de los sistemas de difusión de video digital basados en el estándar MPEG-2 para varios medios de transmisión incluyendo satélite, cable, radiodifusión terrestre, y microondas. Estos estándares también cubren servicios interactivos utilizando diferentes tipos de canal de retorno y prestando funcionalidades tales como el Service Information (SI), entre muchas otras.

Los estándares DVB son desarrollados y mantenidos por la Oficina del Proyecto DVB ubicada en Ginebra, Suiza. DVB es un consorcio de unas 300 organizaciones

pertenecientes a los sectores público y privado de la industria de la televisión cuyo objetivo es establecer la estructura para la introducción de los servicios de televisión digital basados en el esquema MPEG-2. Dichos estándares son publicados por la European Telecommunications Standards Institute (ETSI) (Almarza V, s.f).

4.2.1.2 Desarrollo de la Televisión Digital Terrestre

Digital Video Broadcasting - Terrestrial es el sistema de Televisión Digital Terrestre más popular del mundo, aceptado en más países que ningún otro. Ha sido exitosamente implantado en el Reino Unido, Alemania, Suecia, Finlandia, España, Italia, Holanda, Suiza, Singapur y Australia. Asimismo, se están realizando ensayos en China, Malasia, Tailandia, Vietnam, Ucrania, Azerbaiyán, Croacia y Sudáfrica, entre otros. El futuro de la TDT es aún incierto. Si se considera el número de canales como el único factor de importancia, podría argumentarse que la TDT tiene poca oportunidad al competir con la TV satelital y el cable. Sin embargo, la TDT posee ciertas ventajas basadas en la posibilidad de recepción portátil y la radiodifusión de programas regionales y locales. Los programas regionales pueden ser recibidos por cable, pero no con un receptor portátil. Además, existen áreas donde no es posible desarrollar redes de cable. Por otro lado, la transmisión satelital de programas regionales o locales no siempre será económicamente factible, especialmente en países pequeños. En el caso de los radiodifusores públicos que no contemplan implantar servicios de televisión paga, la entrega satelital de su programación impondría un costo adicional debido a la posible necesidad de cifrar programas en virtud de los derechos para su transmisión (Almarza V, s.f)

4.2.2 Transmisión en DVB-T

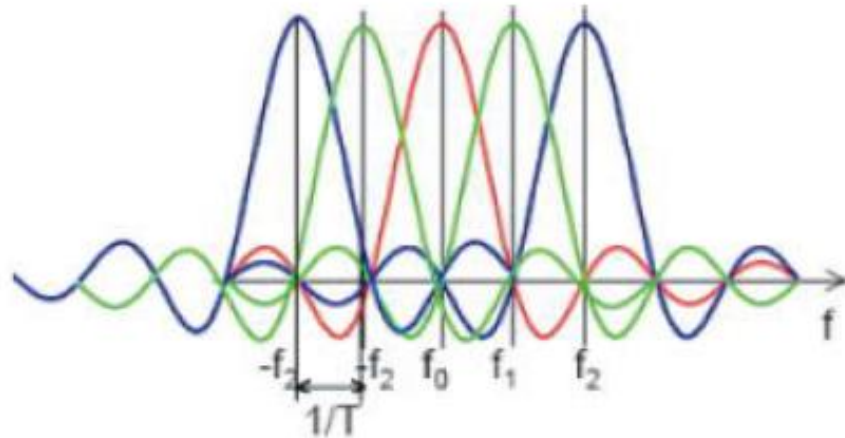
Según Almarza (s.f), DVB-T usa un esquema llamado C-OFDM, la C por codificado y OFDM de multiplexado por división de frecuencia ortogonal. Este esquema trabaja en dos modos: 2k y 8k, corresponde al número de subportadoras 1705 y 6817 respectivamente. Esta nueva técnica permite que la data del usuario se proteja antes de la transmisión.

Existen dos tipos de receptores: 2K y el 2k/8k, éste último soporta ambos modos en la recepción, y en ambos casos la técnica C-OFDM permite que los demoduladores en el receptor puedan recuperar la data perdida usando los códigos de protección de información redundante.

En esta técnica C-OFDM, la ortogonalidad se logra haciendo coincidir los picos del espectro de las subportadoras con los valores nulos del espectro de las otras subportadoras pertenecientes al mismo canal, obteniéndose como resultado un

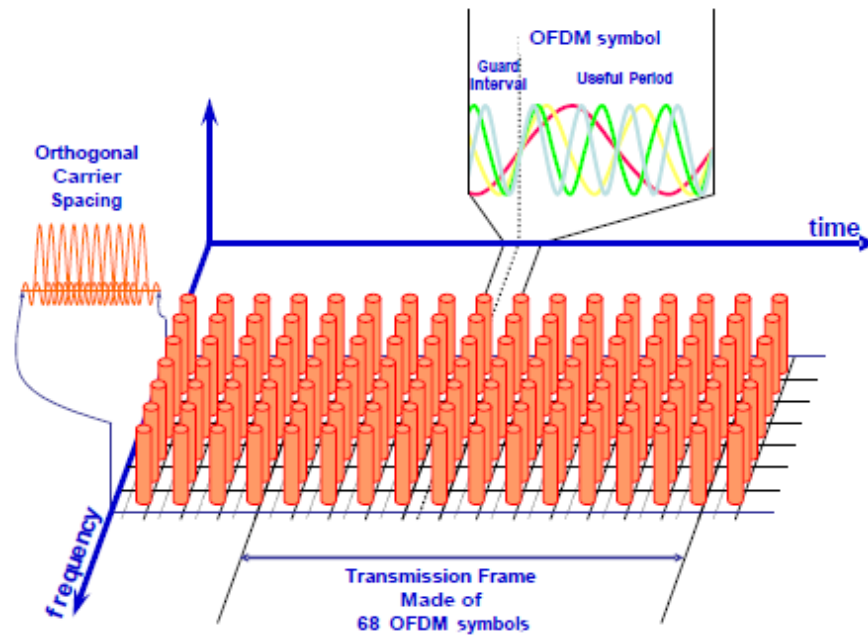
perfecto alineamiento y espaciado de las señales sub-portadoras, como se muestra en las figuras 5 y 6.

Figura 5. Ortogonalidad de subportadoras en OFDM.



Marcons (2008)

Figura 6. Transmisión de símbolos OFDM en dominio de frecuencia y tiempo.



Almarza (s.f)

La señal transmitida es organizada en frames. Cada frame tiene una duración de TF, y consiste de 68 símbolos OFDM. Cada símbolo está constituido por un conjunto de subportadoras que en modo 8k pueden llegar a ser 6817 y en modo 2k pueden llegar a ser 1705.

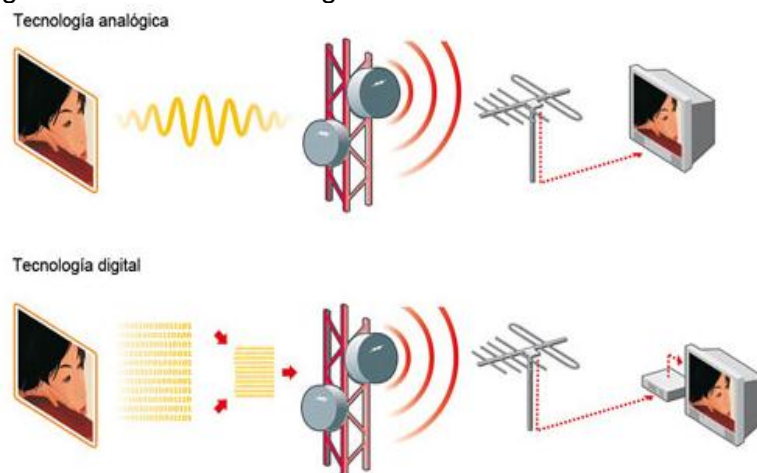
4.2.2.1 Transmisores DVB-T

En principio, los transmisores de televisión digital utilizarían las mismas infraestructuras actuales de transmisores de televisión analógica, con lo cual podría ser reutilizada gran parte de los equipos disponible actualmente. En algunas situaciones se requeriría una nueva antena; si la antena disponible fuera a ser empleada, habría de tenerse en cuenta que las señales digitales tendrían que ser combinadas en alta potencia con las señales analógicas actuales (al menos durante la transición analógico-digital), o bien el conjunto debería pasarse por un amplificador multicanal, lo cual conllevaría problemas de filtrado y de no linealidades. Hay que ser muy cuidadoso cuando de reutilizar los recursos en las estaciones de transmisión se refiere, se requiere de estudiados diseños para hacer reingeniería en este campo (Almarza V, s.f).

4.2.3 Funcionamiento de la televisión digital terrestre

La Televisión Digital Terrestre se transmite exactamente igual a como lo hace la televisión analógica convencional, lo que quiere decir que es transmitida mediante ondas electromagnéticas terrestres, y es recibida por el consumidor o televidente a través de las antenas UHF convencionales. Para la recepción del contenido se requiere únicamente de la instalación de un decodificador (SET TOP BOX) o un televisor que tenga integrada la tecnología para DVB-T y pequeñas adaptaciones en las antenas colectivas. La gran diferencia es que la televisión analógica se transmite a través de un conjunto de ondas hertzianas continuas en el tiempo, mientras que la televisión digital lo hace a través de una señal discreta en el tiempo, denominada binaria; que consiste en una secuencia de ceros y unos, que son los que componen este tipo de señal. En la figura número 7 se observa cómo se propaga la tv análoga y la tv digital.

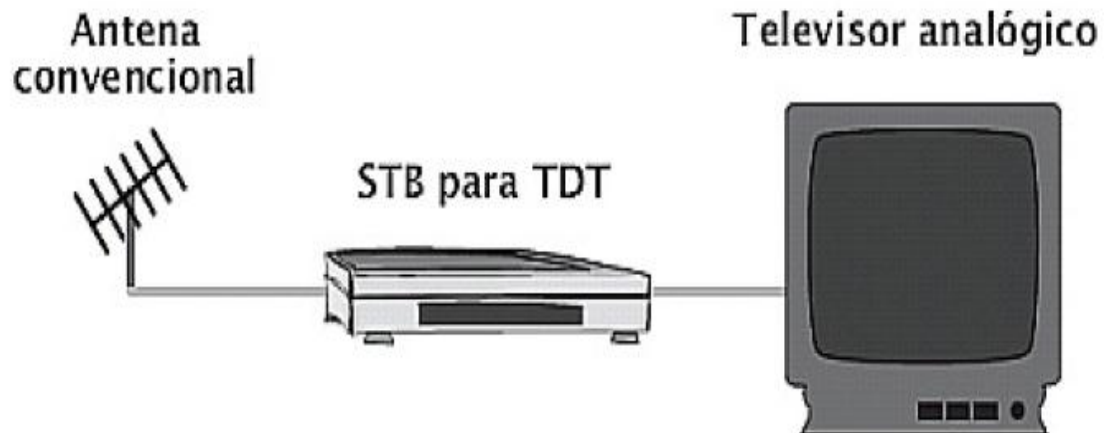
Figura 7. Propagación de la televisión digital.



Cyberespia (2010)

En la figura 8, se ilustra la recepción de la televisión digital terrestre mediante un decodificador (Set Top Box) que está conectado a un televisor análogo convencional.

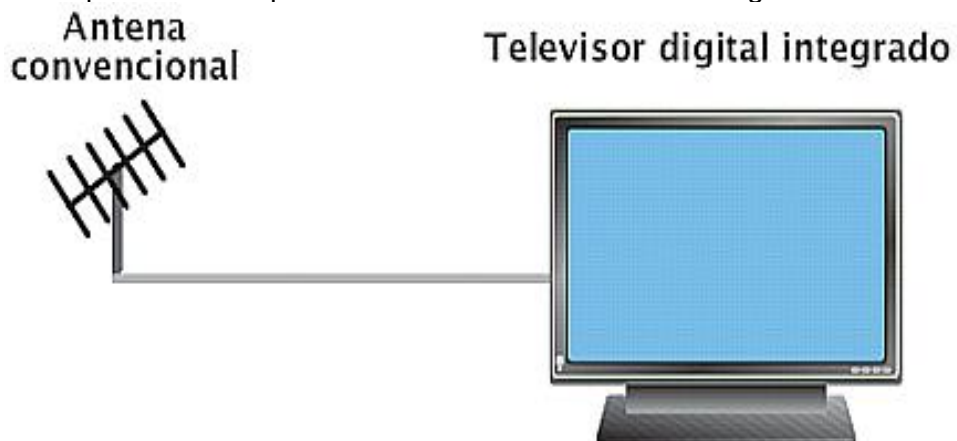
Figura 8. Recepción de TDT para un televisor analógico.



Alonso (2007)

Para la recepción de imágenes con mayor calidad, se pueden utilizar televisores pantalla plana de nueva generación que contengan integrado el decodificador como se puede ver en la figura 9.

Figura 9. Recepción de TDT para un televisor con codificador integrado.



Alonso (2007)

4.2.3.1 Sistema de modulación para televisión digital

La modulación digital consiste en modular la amplitud (ASK), la frecuencia (FSK) o la fase (PSK) de una onda sinusoidal mediante una señal digital. Los principales

tipos de modulación que se utilizan para la televisión digital y para otros tipos de aplicaciones son Q-PSK, QAM, 16-QAM, 64-QAM Y 256-QAM. El estándar digital DVB-T, el cual nos interesa está diseñado principalmente para canales de 6Mhz, pero también funciona para canales de 7 Mhz y 8 Mhz, en donde se utiliza la modulación tipo multiportadora la cual puede ser modulada por QPSK o diferentes niveles de QAM.

Para el caso del estándar Europeo DVB-T también se utiliza una técnica de modulación llamada OFDM, que transmite datos en paralelo utilizando un gran número de portadoras, con suficiente separación de banda como para que estas sean ortogonales, brindándole esto una gran robustez frente a la interferencia debido al multitrayecto (Sotelo & Durán, 2008).

El estándar de televisión digital europeo transmite streams MPEG-2 utilizando modulación con detección y corrección de errores. Está definido en la norma ETSI EN 300 744. Este tipo de sistema está previsto para convivir con las transmisiones de televisión analógica existentes VHF y UHF, por lo que debe tener protección suficiente respecto a la interferencia co-canal y a la interferencia en canal adyacente que provenga de canales en los sistemas PAL/SECAM/NTSC. La norma especifica el uso de canales de 8, 7 y 6 MHz. Entre ellos cambia sólo un parámetro, el período elemental T. Admite dos modos de funcionamiento 2K y 8K, diferentes modos de modulación QAM y de inner code rates. Se permite una modulación jerárquica en la que dos transport streams MPEG-2 son transmitidos. Uno de ellos es de baja prioridad y el otro es de alta. De esta forma una señal televisiva puede ser transmitida simultáneamente en un modo de bajo bit rate con gran robustez, permitiendo recepción muy segura con un receptor más sencillo, y en un modo de alto bit rate, para receptores más sofisticados y permitiendo mejor calidad de imagen. Un tercer modo (4K) es usado para DVB-T, transmisión para receptores móviles (Sotelo & Durán, 2008).

- Modulación QAM: La Modulación de Amplitud en Cuadratura o QAM es una modulación digital en la que el mensaje está contenido tanto en la amplitud como en la fase de la señal transmitida; se basa en la transmisión de dos mensajes independientes por un único camino. Esto se consigue modulando una misma portadora, desfasada 90° entre uno y otro mensaje. Esto supone la formación de dos canales ortogonales en el mismo ancho de banda, con lo cual se mejora en eficiencia de ancho de banda que se consigue con esta modulación (Hernández, s.f).
- Modulación QPSK: QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) es un esquema de modulación lineal digital donde la información transportada por la señal transmitida está contenida en la fase. La fase de la portadora toma uno de

cuatro valores igualmente espaciados ($0, \pi/2, \pi$ y $3\pi/2$), cada uno corresponde a un único símbolo. La señal QPSK está definida por la expresión:

Ecuación 1. Definición de la señal QPSK

$$S_{\text{QPSK}}(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos \left[2\pi f_c t + (i-1) \frac{\pi}{2} \right] \quad 0 \leq T \leq t \quad i = 1, 2, 3, 4$$

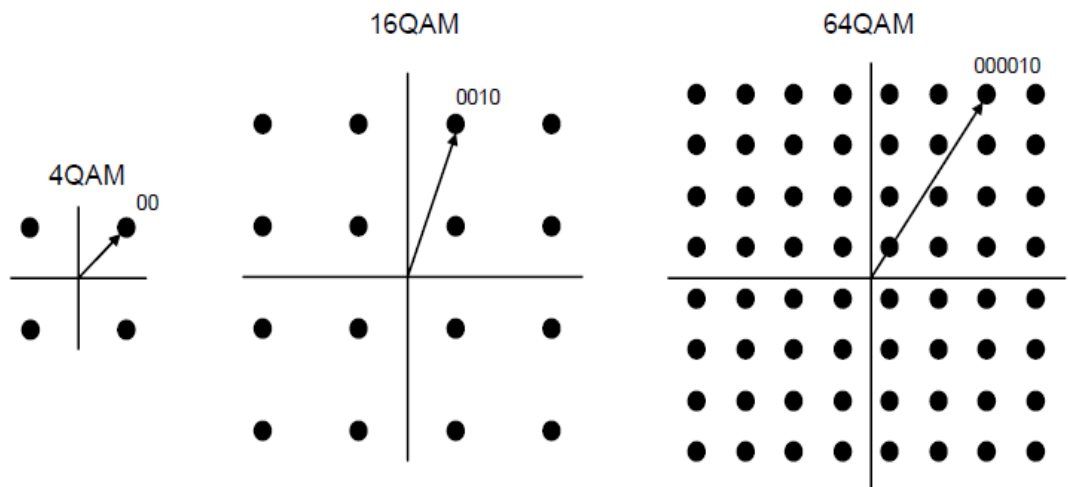
Hernandez (s.f)

Donde E es la energía de símbolo, T es el tiempo del símbolo y es igual a dos veces el período de bit. La frecuencia f_c se toma como n_c/T para un entero n_c . Cada uno de los posibles valores de fase corresponde a una pareja de bits determinada llamada dibit (Campanella, Morales & Saad, 2001).

4.2.3.2 Constelaciones básicas

Para conseguir la modulación OFDM los datos de entrada se mapean en símbolos OFDM, lo que significa que modulan cada una las subportadoras individuales. Esta modulación puede ser de diferentes tipos, en el sistema DVB-T las constelaciones contempladas son 4QAM, 16QAM y 64QAM. En la figura 10 se ilustran las distintas constelaciones.

Figura 10. Constelaciones usadas en DVB-T.

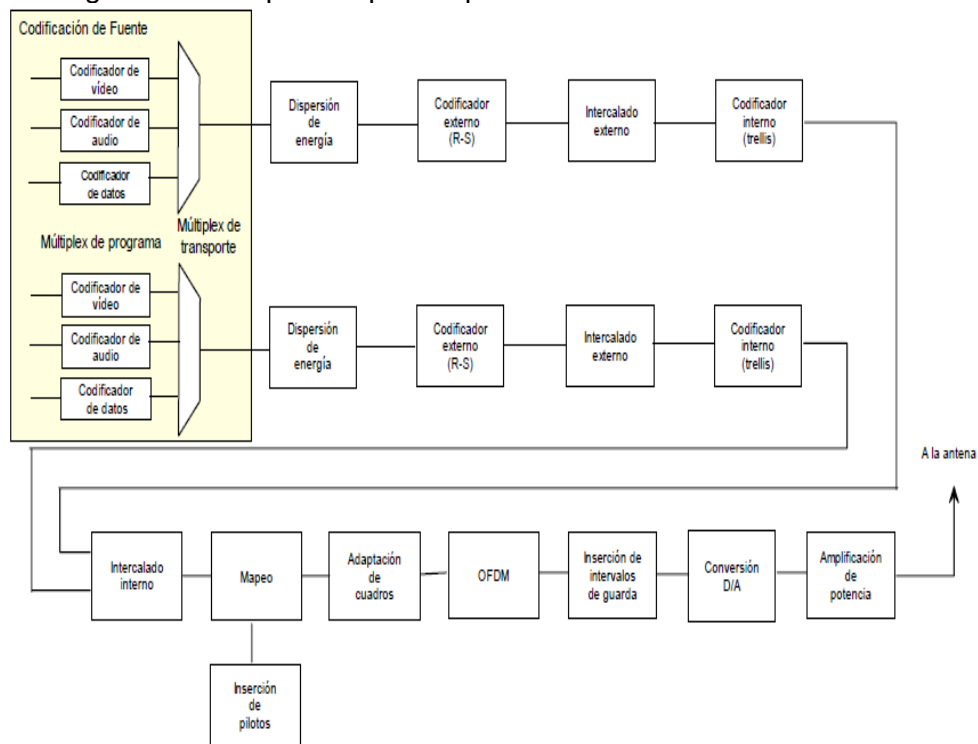


Vega (2004)

Dependiendo de la constelación utilizada, cada subportadora transportará 2, 4 u 8 bits de información. Cada punto de la constelación se puede representar por un

número complejo; así la primera etapa en el proceso de modulación OFDM es el de mapear los grupos de 2, 4 u 8 bits en las componentes real e imaginaria que corresponden al número complejo en la constelación. Cada constelación tiene una robustez propia con respecto a la relación C/N mínima que puede tolerar para una demodulación correcta. En términos aproximados, 4QAM es de cuatro a cinco más robusta que 64QAM. Estos números complejos corresponden a una representación en el dominio de la frecuencia y para trasladarlos al dominio del tiempo es necesario aplicar la transformada inversa de Fourier. Estos dos procesos, el mapeo del flujo binario de entrada en símbolos complejos de la constelación y su transformación inversa bajo Fourier, constituyen la primera parte del proceso de modulación (Pérez, 2004) en la figura 11, se muestra paso por paso el diagrama de bloques empleado para el sistema europeo DVB-T.

Figura 11. Diagrama de bloques empleado para el sistema DVB-T.



Pérez (2004)

4.2.4 Compresión de vídeo

Cuando se digitaliza una secuencia de vídeo analógico cualquiera de acuerdo al estándar ITU-R BT.601 (CCIR 601), se requiere un ancho de banda de 116 Mbit/segundo ó de 116 millones de bits cada segundo. Dado que la mayoría de las redes son sólo de 100 Mbit/segundo, no es posible ni deseable transmitir las secuencias de vídeo sin alguna modificación. Para solucionar este problema se

han desarrollado una serie de técnicas denominadas técnicas de compresión de vídeo e imágenes, que reducen el alto nivel de bits precisos para transmisión y almacenamiento. La compresión de imágenes se aplica sobre una imagen individual haciendo uso de las similitudes entre píxels próximos en la imagen y de las limitaciones del sistema de visión humana. JPEG es un ejemplo de una técnica de compresión de imágenes. La compresión de vídeo se aplica sobre series consecutivas de imágenes en una secuencia de vídeo, haciendo uso de las similitudes entre imágenes próximas. Un ejemplo de este tipo de técnicas es MPEG (Sánchez, 2006).

La efectividad de una técnica de compresión de imágenes viene dada por la tasa de compresión, calculado como el tamaño del fichero de la imagen original (sin comprimir) dividido por el tamaño del fichero de imagen resultante (comprimida). A mayor tasa de compresión se consume menos ancho de banda manteniendo un número de imágenes por segundo determinado. O si el ancho de banda se mantiene constante se aumenta el número de imágenes por segundo. Al mismo tiempo, un mayor nivel de compresión implica menor nivel de calidad de imagen para cada imagen individual (COMP, 2004).

- Compresión de imágenes JPEG.

JPEG es un conocido método de compresión, que fue originalmente estandarizado a mediados de los años 80 en un proceso iniciado por el Joint Photographic Experts Group. La compresión JPEG puede realizarse a diferentes niveles definidos por el usuario y que determinan cuanto tiene que comprimirse una imagen, de esta forma el nivel de compresión seleccionado tiene una relación directa con la calidad de imagen obtenida. Además del nivel de compresión, la escena de la imagen en sí misma también tiene un impacto en el nivel de compresión resultante; mientras que un muro blanco, por ejemplo, puede producir un fichero de imagen relativamente pequeño (y aceptar un mayor nivel de compresión), el mismo nivel de compresión aplicado a una escena compleja y patronizada producirá un fichero de mayor tamaño y con un nivel de compresión menor (Sánchez, 2006).

- Compresión de video MPEG.

Una de las técnicas de vídeo y audio más conocidas es el estándar denominado MPEG (iniciado por el Motion Picture Experts Groups a finales de los años 80). Descrito de forma sencilla, el principio básico de MPEG es comparar entre dos imágenes para que puedan ser transmitidas a través de la red, y usar la primera imagen como imagen de referencia (denominada I-frame), enviando tan solo las partes de las siguientes imágenes (denominadas B y P frames) que difieren de la imagen original. La estación de visualización de red reconstruirá todas las

imágenes basándose en la imagen de referencia y en los datos diferentes contenidos en los B y P frames. Hay que tener en cuenta que un P frame puede solo referenciar a un I o P frame anterior, mientras que un B frame puede referenciar tanto a I o P frames anteriores y posteriores (Sánchez, 2006).

4.2.5 MPEG-2

Según Gerld (2001), "MPEG-2 se refiere a un conjunto de cuatro normas adoptadas por la International Standards Organization (ISO). En conjunto, estas normas definen la sintaxis de la fuente de codificación de vídeo, audio, paquetización y multiplexado de video, audio y señales de datos para la televisión digital, DVB-T, y los sistemas de ISDB T".

4.2.5.1 Estándar MPEG-2

La segunda fase de MPEG, llamada MPEG-2, consta de tres partes o estándares, cubiertas por la: ISO/IEC 13818-1 Sistemas MPEG-2 (Draft ITU-T Rec. H.222), ISO/IEC 13818-2 Vídeo MPEG-2 (Draft ITU-T Rec. H.262) y ISO/IEC 13818-3 Audio MPEG-2. Estas fueron aprobadas finalmente como Estándar Internacional (IS) por la asamblea N° 29 de la ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 (MPEG) hecha en Singapore en noviembre de 1994.

El registro ITU-T H.262 trata con codificación de vídeo de alta calidad con posible vídeo entrelazado de NTSC, PAL o Televisión de Alta Definición (HDTV). Esto es un intento para operar en un rango de 2 a 15 Mbit/s. Sin embargo puede funcionar a velocidades superiores de 100 Mbit/s. Un amplio rango de aplicaciones, velocidades, resolución calidades de las señales y servicios son direccionados, incluyendo todas las formas de medios de almacenamiento digital, televisión (incluyendo HDTV), broadcasting y comunicaciones.

Entre las varias mejoras o extensiones introducidas en los codificadores MPEG 2, tenemos:

- Nuevos modos de predicción de campos y tramas para scanning entrelazado.
- Cuantización mejorada.
- Nuevos códigos intra-trama de longitud variable (VLC).
- Extensión escalada de resoluciones para compatibilidad, servicios jerárquicos y robustos.

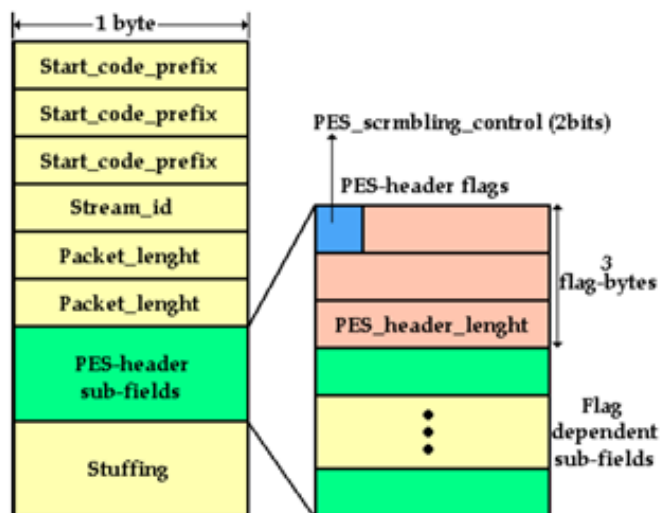
- Dos nuevas capas de sistema para multiplexación y transporte que provee celdas/paquetes de vídeo de alta o baja prioridad, cuando son llevados a través de una red conmutada.
- Incrementos soportados por accesos aleatorios.
- Soporte resistente para incremento de errores.

Al igual que el H.261 y JPEG (Joint Photographic Expert Group), el estándar MPEG-2 es un esquema híbrido de compresión para imágenes en pleno movimiento que usa codificación inter-trama y codificación intra-trama y combina la codificación predictiva con la codificación con la transformada DCT 8x8 (Discrete Cosine Transform, o sea, transformada discreta de coseno). La DCT es un algoritmo matemático (conversión del dominio del tiempo hacia el dominio de la frecuencia), que es aplicado típicamente a un bloque de 8x8 elementos de imagen, dentro de un cuadro. La DCT elimina redundancia en la imagen a través de la compresión de la información contenida en 64 pixels. El cuantizador otorga los bits para los coeficientes DCT más importantes, los cuales son transmitidos (Gerld, 2001).

4.2.5.2 Multiplexado en las señales MPEG-2

Los trenes elementales (ES) están organizados en paquetes para formar los Packetized Elementary Streams (PES) de video, audio y datos privados; los paquetes PES empiezan por una cabecera de paquete. Como se muestra en la figura numero 12 (Islas Lascano & Sandoval Orozco, 2007).

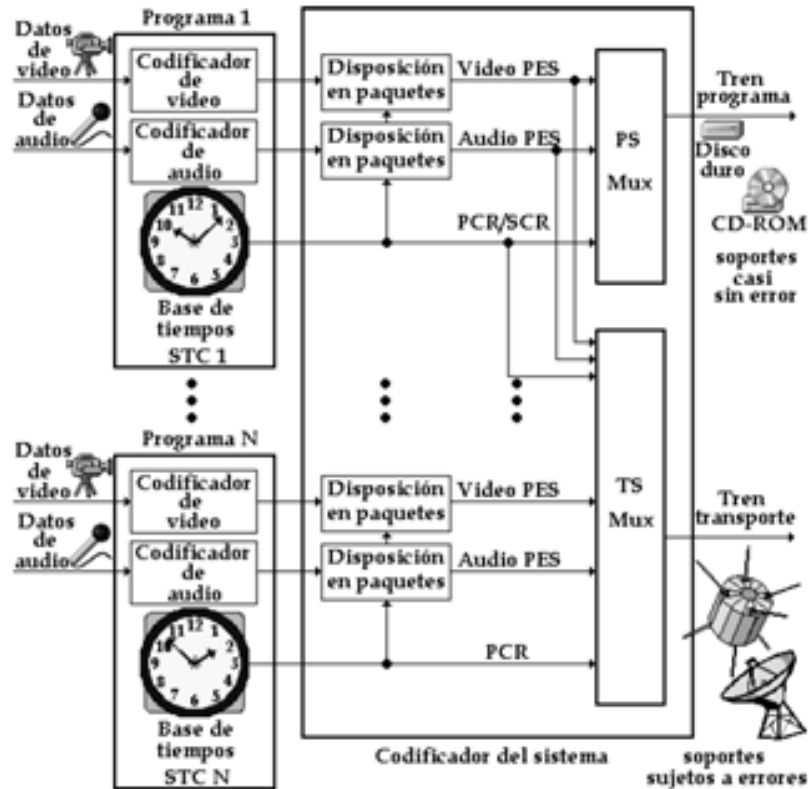
Figura 12. Cabecera de un PES en MPEG-2.



Islas & Orozco (2007)

La parte "sistema" de MPEG-2 (ISO/IEC 13818-1), que define la organización del multiplexado MPEG-2, prevé dos maneras diferentes de multiplexar estos PES para formar dos tipos de trenes, dependiendo de la aplicación a la cual esté enfocada, como se puede visualizar en la figura 13.

Figura 13. Esquema conceptual de la generación de transporte en MPEG-2.



Islas & Orozco (2007)

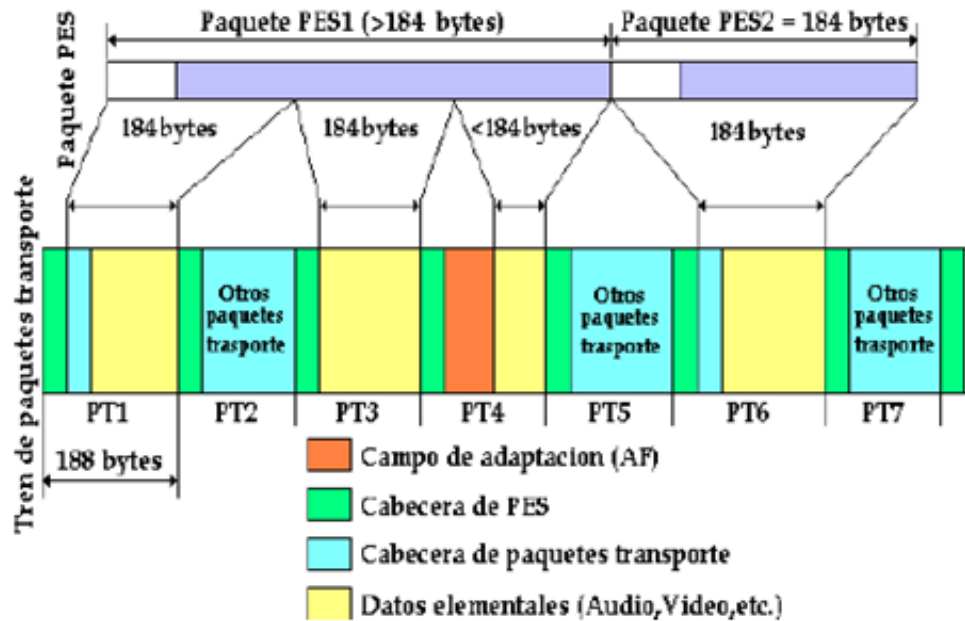
4.2.5.3 Tren de programa MPEG-2

El tren "programa" de MPEG-2 se crea a partir de uno o varias PES que deben obligatoriamente compartir el mismo reloj de referencia. Este tipo de tren está destinado a aplicaciones donde el dispositivo de almacenamiento o de transmisión sea susceptible de introducir muy pocos errores (error free medium), como es el caso, por ejemplo, de las aplicaciones multimedia en CD-ROM o disco duro. Aquí, estos paquetes pueden ser relativamente largos (por ejemplo, 2.048 bytes) y dado que está organizada de manera similar a un tren o "sistema" MPEG-1 Tren de Transporte MPEG-2.

El tren transporte de MPEG-2 está principalmente destinado al transporte de programas de televisión a larga distancia sobre soportes o en medios susceptibles

de introducir un índice de errores bastante elevado; la longitud de los paquetes debe ser relativamente corta para permitir la introducción de los dispositivos de corrección de errores eficaces. La longitud de los paquetes transporte de MPEG-2 han sido fijada, por tanto, en 188 bytes, valor reservado especialmente para las emisiones vía satélite, cable o terrestres de la norma europea DVB. Este tipo de tren está destinado a combinar varios programas que no compartan forzosamente el mismo reloj de sistema (STC) en el interior de un mismo multiplexor. Los diferentes PES (video, audio, etc.) que forman un programa dado, deben sin embargo compartir el mismo reloj con el fin de poder ser sincronizados por el decodificador. La Figura 14 ilustra el proceso de creación de un tren de transporte MPEG-2 (Ibrahim, 2007).

Figura 14. Creación de un tren de transporte en MPEG-2.

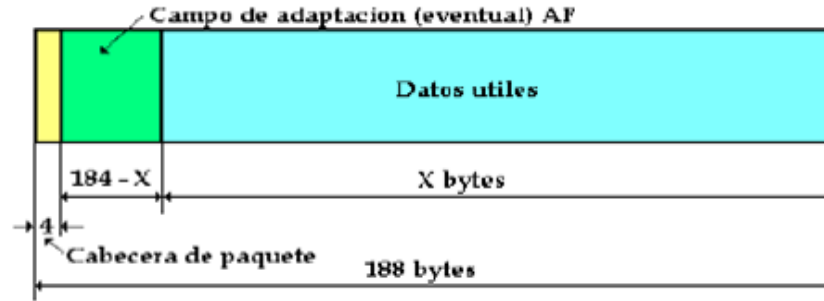


Islas & Orozco (2007)

- Constitución de un paquete de transporte.

Un paquete "transporte" de 188 bytes se compone de una cabecera de paquete (packet header), de 4 bytes y de una "carga útil" (payload) de 184 bytes como máximo, eventualmente precedida de un campo de adaptación (adaptation field), como se muestra en la Figura 15. La "carga útil" está formada por paquetes de trenes elementales (Packetized Elementary Stream, PES) que componen los programas de televisión transmitidos por el canal, así como cierto número de datos auxiliares que permiten al codificador no perderse por el tren de transporte MPEG-2 (Ibrahim, 2007).

Figura 15. Construcción de un paquete de transporte.



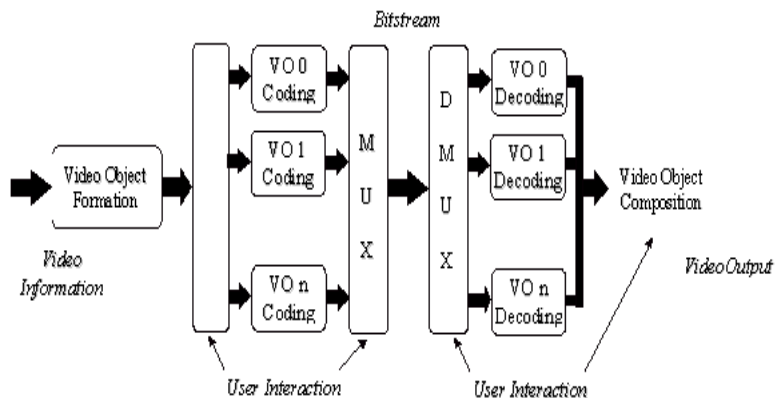
Islas & Orozco (2007)

4.2.5.4 MPEG-4

MPEG-4 es un estándar internacional (ISO/IEC 14496) desarrollado por MPEG (Moving Picture Experts Group). La especificación de MPEG-4 fue finalizada en Octubre de 1998 y se convirtió en un estándar Internacional a principio del 1999. MPEG-4 versión 2 se convirtió en un estándar Internacional a principio del 2000. Distintas extensiones han sido agregadas desde entonces, incluyendo MPEG-4 (MSDL: lenguaje de descripción sintáctica) (Sánchez, 2006).

MPEG-4 es uno de los tantos sistemas de compresión de video digital que compite actualmente en el mercado para satisfacer las necesidades de los usuarios en esta área. Entre los protagonistas más importantes se encuentran RealPlayer de RealNetworks, Windows Media Player de Microsoft y QuickTime de Apple. La ventaja que MPEG-4 posee, además de que sus versiones previas 1 y 2 ya están establecidas, es que fue creado y diseñado de forma de poder trabajar con diversos dispositivos electrónicos de bajo costo y bajo poder de procesamiento contra los otros tres que requieren hacer uso de la potencia de procesamiento de los PC. En la figura 16 se observa un diagrama de bloques de MPEG-4.

Figura 16. Diagrama de bloque general de video MPEG-4.



Sánchez (2006)

Otra ventaja del formato MPEG-4 es que contiene una gran y robusta caja de herramientas, lo cual permite a un usuario adaptar uno o más de sus 23 perfiles matemáticos para cualquier número de dispositivos, desde PDAs hasta STBs. Los estándares MPEG-1 y 2 fueron creados con alcances claramente definidos y tecnologías conocidas. Por el contrario, los trabajos en el estándar MPEG-4 comenzaron en un período de grandes y rápidos cambios, por lo que surgieron dificultades en definir el alcance del mismo. MPEG-4 es el primer estándar de representación de imágenes en movimiento que pasa de simplemente “mirar” a “interactuar”. A diferencia de MPEG-2, el MPEG-4 ofrece: (Larrañaga, 2003)

- Todo tipo de representación de datos. Desde video (altas y bajas tasas de bits) y música a objetos en tres dimensiones y texto.
- La posibilidad de manipular varios objetos dentro de una escena.
- La posibilidad de interactuar.
- Proveer un sistema de entrega independiente del formato de representación y de esa manera permitir que sea usado sobre una amplia variedad de entornos para la entrega de los datos.

4.2.6 Concepto de Interactividad

El concepto de interactividad, sin duda alguna ha tomado fuerza y gran aceptación por el televidente, gracias a la llegada de la digitalización de la televisión en abierto; debido a que la posibilidad de ofertar varios servicios interactivos, es una de las grandes ventajas que esta trae consigo. Sin embargo se trata de un tema muy amplio, extenso y complejo. Es por ello que este proyecto llamado Modelamiento de Tráfico para la interactividad en un canal de retorno de Televisión Digital Terrestre pretende dar una explicación clara de cómo es su funcionamiento, y de qué manera se comporta y se hace útil para el usuario o televidente; adicional a esto se explicaran el tipo de servicios que nos puede prestar.

La televisión siempre ha sido el medio masivo por excelencia y desde sus orígenes ha sido sustentado como un modelo de comunicación unidireccional. Sin embargo, las cadenas televisivas a nivel mundial han propuesto en marcha varias iniciativas que intentan alejarse de este modelo dando paso a un modelo que se aproxime a la bidireccionalidad. Ello verifica la idea resaltada por Gubert (1999) en la que apunta que el hombre, a medida que la tecnología lo ha ido posibilitando, ha intentado aplicar a los medios una comunicación bidireccional. Así por ejemplo, la prensa, medio unidireccional desde sus orígenes, ofrece la posibilidad de que

sus lectores envíen opiniones y sugerencias o fotografías convirtiéndolos de este modo, en creadores de discurso y fomentando de manera directa su participación.

Por otra parte el diccionario de la Real Academia Española (RAE) define a la interactividad como una cualidad de lo interactivo, o lo que es lo mismo, que procede de interacción. En el caso concreto de la informática, dice: "Dicho de un programa: Que permite una interacción, a modo de diálogo, entre el ordenador y el usuario"; este último concepto de la RAE es válida para el entendimiento de televisión digital interactiva.

4.2.6.1 Descripción de un canal de interactividad

Según Mello (2005) "en el sistema de la TDT televisión digital terrestre, el usuario posee un televisor digital, o bien un televisor análogo conectado a un Set-top box que permite la interacción del usuario con el equipo. Esta facilidad permite varias aplicaciones como por ejemplo al momento de estar viendo una película, el televidente puede activar cierto tipo de funciones sobre la pantalla de su televisor, en donde se puede visualizar (duración de la película, director, actores principales, etc). Las aplicaciones interactivas pueden ser implementadas de 3 formas distintas: sin canal de interactividad, con canal de interactividad unidireccional y canal de retorno bidireccional; cuando se habla de televisión unidireccional y bidireccional el televisor del usuario se comunica con un servidor de aplicación distante.

La interconexión entre el televisor y el servidor es hecha por un canal de interactividad; en donde este canal puede utilizar diferentes redes de transmisión de datos. En el caso de la interactividad unidireccional, el módulo de interactividad recibe informaciones por la señal de video, pero también se puede comunicar con un servidor de aplicaciones por medio de un canal de interactividad que transporta el tráfico de los aparatos para el servidor. Un ejemplo de unidireccionalidad son las aplicaciones en donde el televidente tiene la opción de hacer una votación, o también un test o quiz con respuestas múltiples, y enviarlo a la emisora televisiva por el canal de interactividad. Cuando es de tipo bidireccional, el canal de interactividad puede ser utilizado tanto para enviar como para recibir información.

Un ejemplo típico de este tipo de aplicación son los juegos que tienen interacción entre 2 o más participantes (multiplayer). El modo bidireccional permite aplicaciones de navegación en internet, servicio de mensajes instantáneos y de correo electrónico".

4.2.7 MHP (Multimedia Home Platform)

Según como expresa Cobo (2009) Multimedia Home Platform define una plataforma común para las aplicaciones interactivas de la televisión digital, independiente tanto del proveedor de servicios interactivos como del receptor del televisor utilizado. Con la llegada al mercado de la televisión digital se abre un abanico de posibilidades técnicas, entre las que se encuentra la interactividad. El estándar de interactividad en televisión digital más popular en la actualidad es MHP ya que es un sistema de código abierto en el que cualquier persona puede crear su propia aplicación.

Las aplicaciones interactivas en sistemas analógicos son de difícil desarrollo e implantación. Sin embargo, hoy en día las mejoras técnicas introducidas en la televisión se desarrollan más deprisa y tienen más y mejores prestaciones. Todo ello gracias a que la televisión digital dispone de dos elementos diferenciales que la hacen más adecuada para la interactividad: un estándar ampliamente aceptado como es MHP y el hecho que los receptores van equipados con una maquina virtual de Java. Esta base tecnológica de la televisión interactiva debería conducir a la introducción de nuevas aplicaciones. Además pueden reducir significativamente el time to market de las nuevas aplicaciones, esto hace que sea posible descartar aplicaciones antes de producir costes adicionales. La televisión digital, por tanto, dispone de más posibilidades más allá del mundo tradicional de la radiodifusión.

La ventaja de la televisión interactiva es que los servicios interactivos se ejecutan en un entorno controlado. La emisión mediante DVB-T/S/C permite a los programas con grandes audiencias ser sintonizados sin necesidad de escalar la capacidad del servicio en términos de bit rate. A diferencia de lo que ocurre en Internet, en televisión digital no se colapsa el servidor al acceder muchos usuarios a un mismo servicio, por ser, en principio, un sistema unidireccional (Cobo, 2009).

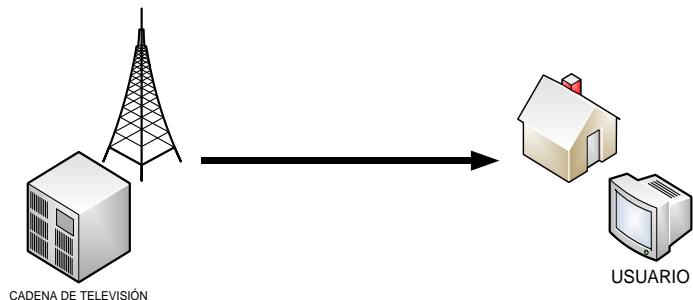
4.2.7.1 Niveles de interactividad de MHP

Desde un punto de vista de servicio y aplicación, actualmente se han definido tres perfiles y la opción DVB-HTML, permitiendo a los fabricantes desarrollar una serie de productos que proporcionen diferentes funcionalidades. Cada perfil puede coexistir con los demás y se corresponde con un nivel de interactividad (Cobo, 2009).

- Enhanced broadcast profile: Nivel 1 de interactividad. Interactividad local. Este tipo de aplicaciones, como el teletexto digital y PVR (Personal Video Recording), obtienen los datos requeridos del stream emitido. Únicamente soportan interactividad local donde el cliente puede interactuar sólo con los

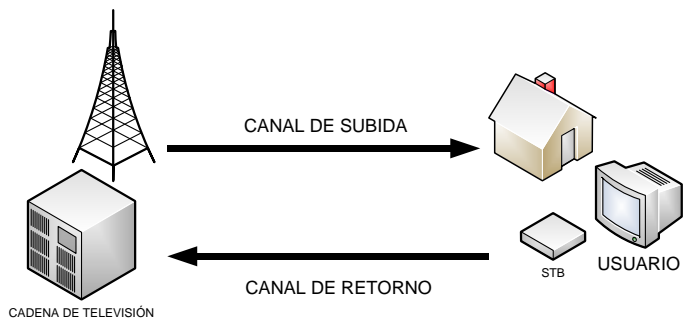
datos almacenados en el STB. Este tipo de interactividad no cuenta con canal de retorno.

Figura 17. Interactividad Local.



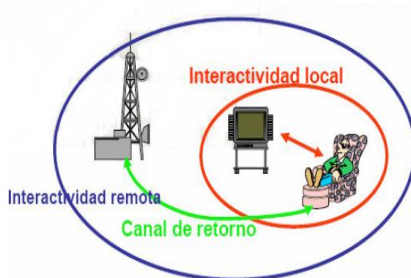
- Interactive broadcast profile: Nivel 2 de interactividad. Interactividad sin respuesta por el canal de retorno. Aplicaciones como el voto "on-line" permiten al usuario proporcionar información de respuesta en una sola dirección, sin una contestación directa sobre el mismo enlace, ya que la información vuelve por el canal de radiodifusión.

Figura 18. Interactividad sin respuesta por canal de retorno.



- Internet access profile: Nivel 3 de interactividad. Acceso total a Internet. Aplicaciones como el T-Mail, navegación Web o juegos on-line, permiten al usuario adquirir información de fuentes externas al stream emitido por el canal de retorno. Suele necesitar conexión de banda ancha.

Figura 19. Interactividad Remota.



RTVE (2005)

En la tabla 1, se observan los distintos tipos de interactividad, que requieren los servicios anunciados, donde se observa el tipo de servicio que presta, el tipo de aplicación y el nivel de interactividad al cual se encuentre ligado.

Si es Enhanced broadcast profile, del nivel 1, o Interactive broadcast profile del nivel 2, o ya sea Internet acces profile del nivel 3. Cada uno de estos niveles representa el tipo de servicio que brinda, ya sea de información, comunicación, entretenimiento, comercio, T-Government o ya sea T-Learnin.

Tabla 1. Niveles de interactividad en la aplicaciones

TIPO DE SERVICIO	APLICACIÓN	NIVEL DE INTERACTIVIDAD		
		1	2	3
Información	EPG	x		
	Noticias	x		
	Meteorología	x		
	Tráfico	x		
	Teletexto	x		
Comunicación	T-Mail			x
	T-chat			x
Entretenimiento	T-Games	x	x	x
	VoD		x	
	Apuestas			x
Comercio	Promociones		x	
	Anuncios			x
T-Government	Portales de Información	x	x	x
T-Learning	Juegos Educativos	x		
	Educación Profesional	x	x	x

Cobo (2009)

4.2.8 Servicios de la Televisión interactiva

La TDT hace posible la adición de nuevos servicios audiovisuales entre los cuales se destacan las aplicaciones interactivas que son uno de los principales valores añadidos con la que cuenta la misma y permite abandonar el papel pasivo de los televidentes empezando a interactuar en un tiempo real con los contenidos de televisión.

Estas aplicaciones interactivas de la televisión digital, no son más que programas informáticos adicionales a los contenidos de televisión, difundidos junto con los canales de televisión, que se ejecutan en el receptor de televisión digital y permiten llevar a cabo una interacción, ya sea de forma local o remota como se menciono en los niveles de interactividad MHP (Arcos Gómez, 2008).

Las aplicaciones interactivas pueden ser vistas de distintas maneras, pero de manera general se pueden dividir en:

- Servicios de información.

Entre estos servicios informativos se pueden encontrar las EPG o guías electrónicas de programación que son muy comunes y son disponibles para cualquier Set Top Box. En estas guías se puede ver la programación televisiva de todas las cadenas o solo de las que son del mismo proveedor de contenidos. Ésta puede contener hasta 7 días de programación televisiva y ocasionalmente se puede acceder a más información sobre un programa de televisión (Jiménez Cobo, 2009).

- Servicios de noticias y eventos.

Existen varios tipos de servicios de noticias, donde la mayoría de estos son portales en donde se observa una lista de los sucesos más recientes. Otro tipo de servicios de noticias son los "Tickers" que consisten en una franja ubicada en la parte inferior de la pantalla donde van pasando los titulares, en donde los televidentes con tan solo pulsar un botón, pueden acceder a este tipo de noticias (Jiménez Cobo, 2009).

Entre estos se encuentran inmersos la previsión meteorológica, el teletexto y los servicios de tráfico.

a) Previsión Meteorológica: Este tipo de servicio consiste en que el usuario pueda localizar la previsión del clima, de la temperatura y de otros factores naturales en una determinada región del país, como se observa en la figura 20.

Figura 20. Información Meteorológica.



Universidad Politécnica de Madrid (s.f)

b) Servicios de tráfico: Estos servicios son similares a los meteorológicos, en el sentido de localización geográfica. Determinan mapas de vías afectadas bien sea por tráfico o por accidentes que halla en cierto lugar de una región. En la figura 21 puede apreciarse un ejemplo de tele tráfico.

Figura 21. Tele tráfico en Televisión Digital.

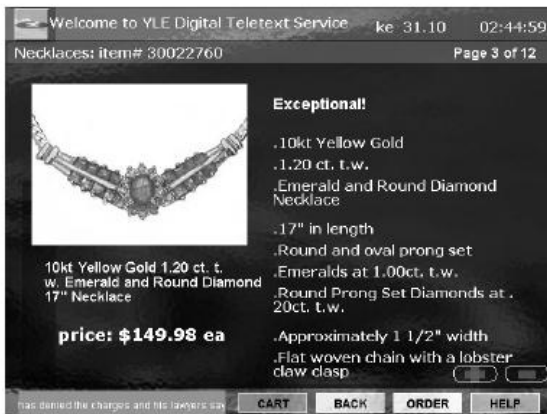


Universidad Politécnica de Madrid (s.f)

c) Teletexto.

El teletexto es un servicio de la televisión interactiva el cual contiene, tablas, gráficos de alta calidad, imágenes, animaciones. El espectador puede acceder a las páginas de los menús y las listas de desplazamiento de página en pantalla o incluso utilizar marcadores y un código de colores para hipervínculos, que son activados por el color de los botones del control remoto (Peng, Cesar, & Vuorima, 2001). En la figura 22, se puede observar un ejemplo claro de cómo funciona el teletexto al momento de realizar una compra.

Figura 22. Teletexto aplicado a una compra.



Petri (2002)

- Servicios de Comunicación.

Entre los servicios de comunicación se pueden encontrar el T-Mail y el T-Chat, que son servicios que las compañías televisivas ofrecen a sus televidentes, como el correo electrónico basado en MHP. Tanto las aplicaciones tipo chat como el correo electrónico son aplicaciones bidireccionales; lo que quiere decir que es necesario un canal de retorno para el envío de mensajes a un servidor de correo (Jiménez Cobo, 2009).

- Servicios de entretenimiento.

Estos servicios hacen que el usuario interactúe de una forma más placentera con el servidor de contenidos, entre estos servicios se encuentran los tele juegos, y el video por demanda.

a) T-Juegos.

Los juegos interactivos en TDT van desde los simplemente radiodifundidos, como lo son el tetrís, el solitario o el buscaminas a los bidireccionales. Este tipo de juegos en su mayoría son compatibles con la televisión ya que la interacción solo requiere unos pocos comandos dados por el control remoto, por lo que son fáciles de manejar. Normalmente este tipo de juegos no está relacionado con un programa de televisión, ya que con frecuencia son proporcionados por el STB más que por los radiodifusores. Otro tipo de juego común son los quiz, que consisten en preguntas con varias respuestas (Jiménez Cobo, 2009).

b) VoD (Video on Demand)

La televisión digital interactiva, puede funcionar también como una interfaz de distribución para servicios de video bajo demanda o video a la carta. En este los televidentes pueden seleccionar una película de alguna lista de películas disponibles. Normalmente la caja decodificadora debe tener acceso a banda ancha y la película seleccionada debe ser entregada por alguna conexión de algún canal de retorno (Jiménez Cobo, 2009).

- T-Commerce

Entre este tipo de servicios se encuentra el tele shopping y los anuncios interactivos. Lo hace de una forma similar a como se adquieren los artículos en internet, en donde el prestador de servicios muestra sus productos y el usuario final compra el que mejor se acomode a su necesidad. En la figura 23 se puede observar un ejemplo de T-commerce.

Figura 23. T-commerce en Televisión Digital.



Universidad Politécnica de Madrid (s.f)

- T-Administración (T-Government)

La T-Administración cubre todo tipo de servicios de información e idealmente de comunicación y acciones administrativas. Son utilizados sobre todo para gestiones de ámbito local o regional como se aprecia en la figura 24. También existe la posibilidad de responder encuestas hechas por las administraciones públicas y ver sus resultados (Jiménez Cobo, 2009).

Figura 24. T-Government en Televisión Digital.



Universidad Politécnica de Madrid (s.f)

- T-Educación

Este tipo de servicio usualmente está relacionado con los programas televisivos, en donde se comprueban las respuestas y se monitoriza el progreso de los televidentes o participantes del servicio; el formato que más se utiliza para este servicio, es el de juegos educativos interactivos para niños, ya que la interactividad es un método eficiente de aprendizaje debido a que los niños recuerdan más fácilmente algo en lo que han participado, que algo que simplemente han oído, leído o incluso visto como se puede apreciar en la figura 25 (Jiménez Cobo, 2009).

Figura 25. T-Educación en Televisión Digital.



Sotelo (2010)

- T-Salud (T-Healt o T-Care)

Este tipo de servicios proporciona información sobre la salud, bienestar y temas médicos. T-Care es un servicio que ofrece verdadera interactividad de forma bidireccional, conectando a los pacientes "televidentes" con profesionales del sector sanitario "médicos y enfermeras". Este tipo de servicio se realiza mediante el t-chat; en la figura 26 se observa una aplicación de información sanitaria relacionada a la tele salud.

Figura 26. T-Salud en Televisión Digital.



Universidad Politécnica de Madrid (s.f)

4.2.9 Decodificadores para la televisión digital terrestre

Los decodificadores o sintonizadores tienen la función de recibir la señal de la televisión digital terrestre compuesta por ceros y por unos, para después demodularla y convertirla en una imagen que el televisor pueda mostrar. Un decodificador TDT permite determinar si la señal recibida corresponde al estándar para el que está diseñado.

Los dos codificadores existentes más utilizados son el IDTV (Integrated Digital Tv), ó televisor digital integrado y el STB (Set Top Box).

- IDTV: El decodificador está integrado al televisor y este mismo suele incluir todas las funciones para la interactividad, teniendo la ventaja de ser controlado por un único mando; en la figura 28 se puede observar cómo se compone un iDTV.
- STB: El decodificador Set Top Box, se encuentra externo al televisor, y permite captar la TDT en televisores analógicos, o también en televisores digitales que no contengan integrado el decodificador. Contemplan un mando adicional que trae el televisor así como se aprecia en la figura 27.

Figura 27. Decodificador STB.



Pérez (2009)

Existen distintos tipos de Set Top Box, dentro de los cuales se pueden encontrar: (Pérez, 2009).

- Decodificador Sencillo: Este solamente se encarga de convertir la señal digital recibida para que sea vista en el televisor. No tiene canal de retorno.
- Decodificador Intermedio: Además de convertir la señal digital recibida para que pueda ser vista en el televisor, permite el acceso a la EPG. No posee canal de retorno.

- Decodificador Premium: Contempla ranura para tarjeta inteligente (smart card), que permita identificar al usuario. Permite acceso a la interactividad por medio de pago. Contempla canal de retorno.
- Decodificador con Disco Duro: Cumple con las mismas funciones que los anteriores, pero adicionalmente permite grabar, congelar imagen, y otras funciones interactivas. Son lo más completos y a su vez mas costosos. Poseen canal de retorno.

4.2.10 Modelos de tráfico

Según Alzate (2001) La teoría de tráfico consiste en la aplicación de modelos matemáticos para explicar la relación que existe entre la capacidad de una red de comunicaciones, la demanda de servicio que los usuarios le imponen y el nivel de desempeño que la red puede alcanzar. Como dicha demanda es de naturaleza estadística, se suele representar mediante algún proceso estocástico adecuado, con lo que se constituyen diferentes modelos de tráfico. Así, pues, dado un modelo de tráfico particular, el desempeño de la red se podría predecir, en principio, aplicando herramientas adecuadas proporcionadas principalmente por la teoría de procesos estocásticos y otros recursos matemáticos. Los resultados de dicho análisis de desempeño son los puntos de partida para el diseño de mecanismos de control de la red en aspectos tan variados como el control de admisión, control de flujo, control de congestión, el control de la memoria en las colas, la asignación dinámica del ancho de banda en los enlaces de la memoria de los buffer de transmisión, el enrutamiento dinámico adaptable y otros tantos.

Un ejemplo tradicional y exitoso es el de las redes telefónicas, en las que la relación tráfico-desempeño se describe mediante una expresión cerrada y compacta, la fórmula B de Erlang, con la cual se calcula la probabilidad de que una llamada sea rechazada, P_B cuando hay N circuitos sobre los que los usuarios imponen una intensidad de tráfico ρ , definida como el producto de la tasa de llegada de las llamadas por la duración promedio de cada llamada:

Ecuación 2. Relación Tráfico-Desempeño

$$P_B = \frac{\rho^N}{N! \sum_{n=0}^N \frac{\rho^n}{n!}}$$

Maldonado (2005)

Esta ecuación hace referencia a que las llamadas telefónicas llegan según un proceso estacionario de Poisson, así que la probabilidad de bloque que no se ve afectada por otras características del tráfico como la distribución de tiempos de duración de las llamadas.

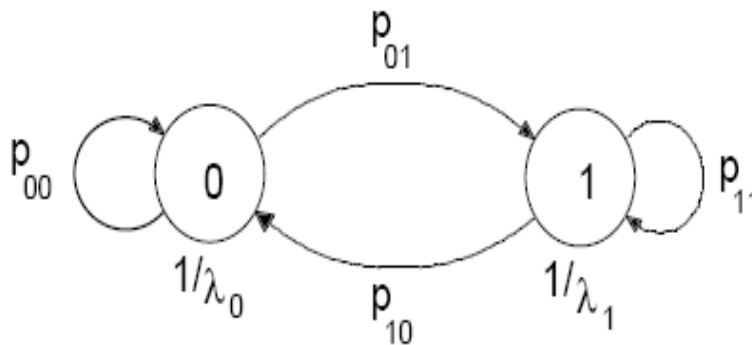
En redes modernas de comunicaciones, es importante poder encontrar relaciones entre el tráfico y el desempeño, semejantes a la ecuación de Erlang B, con las cuales se puedan determinar los tipos de garantías de servicio que pueden ofrecerse. Por supuesto, no se puede esperar que dichas relaciones se puedan expresar de una manera tan compacta como la fórmula de Erlang, pero si se deberá estar en la capacidad de encontrar procedimientos de diseño de redes en los que se tengan en cuenta las características esenciales del tráfico que afectan significativamente las medidas de desempeño y en los que se ignoren las características irrelevantes. A lo largo del desarrollo de las redes de comunicaciones en los últimos años, se han propuestos diferentes modelos de tráfico, cada uno de los cuales han resultado útil dentro del contexto particular para el que se propuso. Esto es, al utilizar estos modelos en el estudio del desempeño de redes, mediante análisis o simulación, se obtienen resultados estadísticamente significativos. Este aspecto es importante pues un modelo puede ser tan bueno como otro si ambos satisfacen pruebas de hipótesis adecuadas, en especial, los criterios de ajuste del modelo no sólo deben incluir distribuciones marginales y estructuras de auto correlación sino que, en últimas, deben predecir con suficiente exactitud las medidas de desempeño de interés.

Recientemente, a partir de la necesidad de prestar servicios integrados con una única estructura de red, el modelamiento de tráfico se ha convertido en una extensa área de investigación en la que el objetivo es desarrollar modelos que predigan el impacto de la carga impuesta por las diferentes aplicaciones sobre los recursos de la red, de manera que se pueda evaluar la calidad de servicio ofrecida (Alzate, 2001).

- Modelos de tráfico no correlacionados: Cuando se agrega tráfico proveniente de una gran cantidad de usuarios independientes entre ellos, es de esperar que los tiempos entre llegadas de demanda (paquetes, llamadas, flujos, conexiones, etc.) a los nodos de ingreso a la red sean no correlacionados, a menos que la magnitud de las demandas (longitud de los paquetes, duración de las llamadas) tengan algún tipo de dependencia de rango largo. Esta suposición de independencia respecto al tráfico que ingresa a la red permitió el desarrollo de la teoría de colas, la cual constituye la más exitosa herramienta matemática hasta ahora usada en el análisis y control de redes de comunicaciones (Alzate, 2001).

- Modelos de tráfico para video: A partir de los años 80 han venido desarrollando nuevos modelos de tráfico que tienen en cuenta la correlación entre los tiempos de llegada. La forma de llegadas de paquetes de voz se pueden modelar mediante un proceso determinístico Markovianamente modulado (MMDP); el abonado transita de activo a inactivo de acuerdo una cadena de Markov de dos de sus estados, en el estado activo genera paquetes a una tasa constante y en estado inactivo no genera paquetes. Otro ejemplo puede ser el tráfico sobre una red LAN con datos interactivos permanentes y sesiones esporádicas de transferencia de archivos. Este tráfico compuesto se podría modelar mediante una cadena de Markov de dos estados; en cada estado, la llegada forma un proceso de Poisson con distinta intensidad, por lo que se trata de un proceso de Poisson Markovianamente modulado. (MMPP). Estos tipos de modelos capturan mucho contenido de la correlación entre llegadas que impacta el desempeño de la red y cuyo efecto no se observa con el modelo de Poisson. Los modelos MMPP han sido especialmente utilizados en el modelamiento de tráfico de video con tasa variables de bit, como MPEG-2, en las que la transición entre tipos de tramas I, P, B constituye una cadena de Markov, cada una con su respectiva tasa promedio de llegadas tipo Poisson; en la figura 28 se muestra como es utilizada la cadena de Markov para solo 2 estados (Sánchez, 2006).

Figura 28. Cadena de Markov de dos estados.



Sánchez (2006)

- Modelos de tráfico correlacionados con dependencia de rango corto: Con el advenimiento de redes multimedia de banda ancha, en las últimas décadas se han tratado de desarrollar nuevas herramientas para modelamiento que tengan en cuenta las características del tráfico real, en especial las correlaciones que existen entre los tiempos de llegadas, completamente ausentes en los modelos de renovación. Algunos de estos modelos se basan en incluir correlaciones que decaen exponencialmente rápido con el tiempo, ya que esos modelos pueden representar con relativa exactitud muchas fuentes reales de tráfico en redes modernas de comunicación y todavía permiten cierta tratabilidad

matemática. Debido a ese rápido decremento de la correlación, se dice que estos modelos tienen “dependencia de rango corto” (Sánchez, 2006).

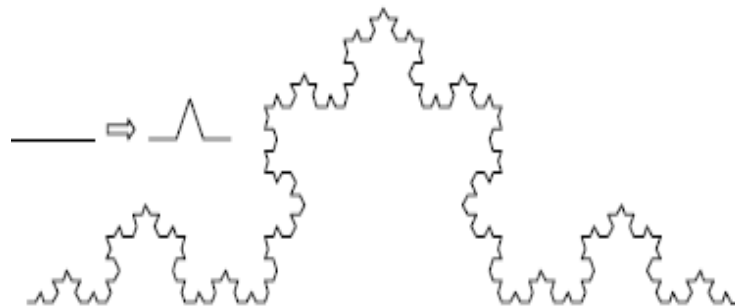
4.2.10.1 Teoría fundamental de tráfico autosimilar

La autosimilitud y la fractalidad describen el fenómeno en el que cierta propiedad de un objeto se preserva con respecto a la escalización en el tiempo o en el espacio, este fenómeno sucede en imágenes naturales, en el subdominio de convergencia de ciertos sistemas dinámicos y en muchas series de tiempo. En un objeto autosimilar o fractal, sus partes magnificadas se asemejan a la forma de objeto completo, donde la semejanza se mide en algún sentido adecuado (Álzate, 2001, pag.7).

- Autosimilitud determinística.

Mediante la iteración de cierto procedimiento se puede obtener, por simple construcción la forma más sencilla de autosimilitud. Un buen ejemplo es el copo de nieve de Von Koch que se resalta en la figura 29; que se construye dividiendo cada línea en tres segmentos iguales y reemplazando el segmento de la mitad por dos segmentos iguales, como un triángulo equilátero. Si el procedimiento se repite para cada nuevo segmento indefinidamente, cualquier pequeña porción de la curva de Von Koch puede magnificarse para reproducir exactamente una porción mayor. Esta proporción se conoce como autosimilitud exacta (Alzate, 2001).

Figura 29. Copo de Nieve de Von Koch con dimensión fractal.



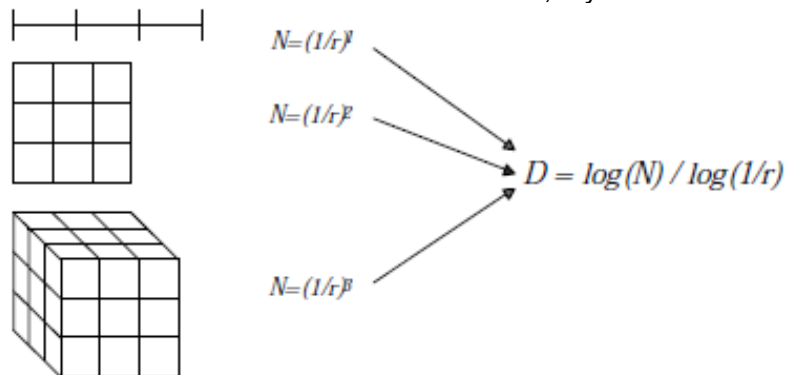
Alzate (2001)

Obsérvese que un segmento de línea es un objeto unidimensional autosimilar, pues puede dividirse en N segmentos idénticos, cada uno de ellos escalizado por el factor $r = N^{-1}$. Igualmente un cuadrado es un objeto bidimensional autosimilar, pues puede dividirse en N cuadrados idénticos, donde el lado de cada uno de ellos se ha escalizado por un factor $r = N^{-1/2}$. Finalmente un cubo es un objeto

tridimensional autosimilar que puede dividirse en N cubos idénticos, donde el lado de cada uno de ellos se ha escalizado por un factor $r = N^{-1/3}$.

En la figura 30 se aprecian los objetos autosimilares de dimensiones 1, 2 y 3 respectivamente.

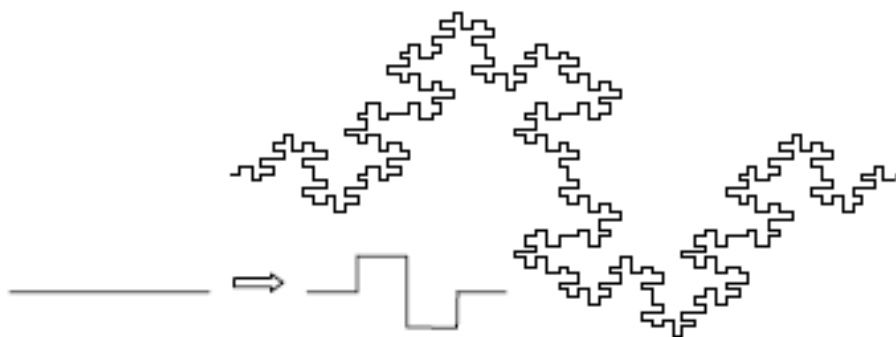
Figura 30. Objetos autosimilares de dimensión "fractal" 1, 2 y 3.



Alzate (2001)

Generalizando un objeto D-dimensional autosimilar, puede dividirse en N copias de si mismo, donde el lado de cada copia se ha escalizado por un factor $r = N^{-1/D}$. En el caso de la curva de Von Koch como se aprecia en la figura 31, cada segmento de línea se convierte en $N=4$ subsegmentos, cada uno de los cuales se escala por un factor $r = 1/3$, de manera que su dimensión es $D = \frac{\log(4)}{\log(3)} = 1.26$; Como ésta es una dimensión fraccional, a estos objetos autosimilares, se les llama también fractales.

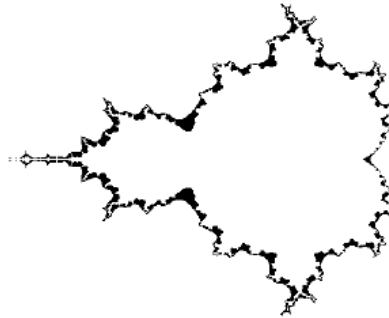
Figura 31. Dirección de la curva de Von Koch con dimensión "fractal".



Alzate (2001)

Otros objetos fractales, pueden surgir de los subdominios de convergencia de ciertos sistemas dinámicos. Por ejemplo el famoso conjunto de Mandelbrot que se aprecia en la figura 32 está formado por los puntos c que no escapan a infinito bajo la iteración $c = c + c^2$.

Figura 32. Conjunto de Mandelbrot.

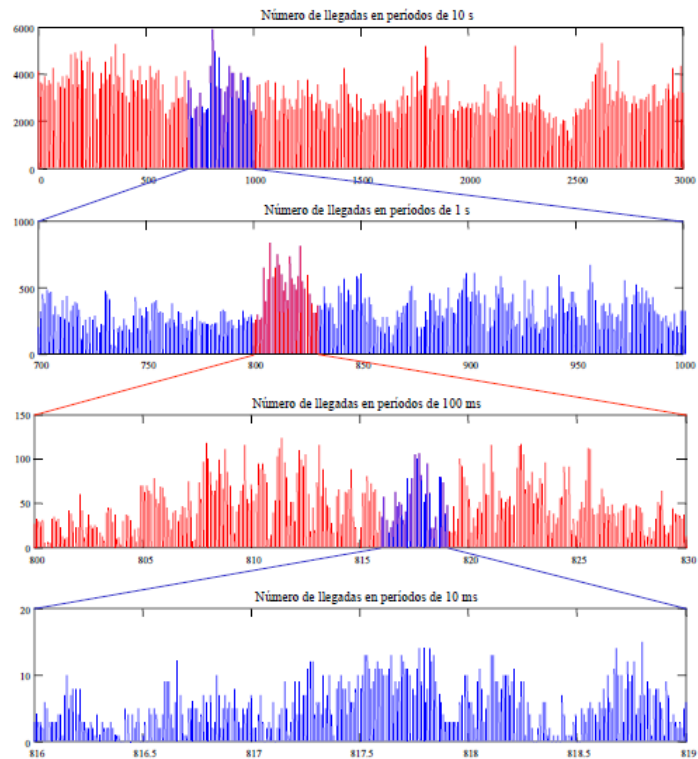


Alzate (2001)

- Atosimilitud Estocástica.

La autosimilitud estocástica, como la determinística, se puede ilustrar visualmente.

Figura 33. Tráfico observado en una red Ethernet.



Alzate (2001)

En la figura 33 se puede observar el número de paquetes que transitan por un segmento de una red Ethernet, en periodos de 10s, esto es la barra que aparece en el instante t de la gráfica, que corresponde al número de paquetes que pasaron por ese segmento de la red en el intervalo $(t, t + 10)$. Estas cuatro graficas de la figura de la red Ethernet se parecen mucho entre si. Sin embargo a diferencia de los objetos fractales determinísticos, cada grafica no es una reproducción exacta de la grafica anterior.

- Movimiento Browniano fraccional y ruido Gaussiano fraccional.

El ejemplo más importante para procesos exactamente autosimilares, corresponde al movimiento Browniano autosimilar y al ruido Gaussiano fraccional. $Y(t), t \in R$, es un movimiento Browniano fraccional con parámetros $0 < H < 1$ si $Y(t)$ es Gaussiano, exactamente autosimilar y tiene incrementos independientes. Al proceso de incrementos $X(t) = Y(t + 1) - Y(t)$ se le conoce como ruido Gaussiano fraccional. Para introducir estos procesos, se puede observar en la ecuación 3 como es este tipo de movimiento Browniano.

Ecuación 3. Movimiento Browniano

$$Y(t_2) - Y(t_1) \approx N(0, \sigma^2 \cdot |t_2 - t_1|)$$

Willinger (1995).

Suponiendo que $Y(0) = 0$, obtenemos $Y(t) \sim N(0, \sigma^2 |t|)$ de manera que $Y(at) \sim a^{1/2} N(0, \sigma^2 |t|)$. De acuerdo con el movimiento Browniano es exactamente autosimilar con parámetro $H=1/2$, su proceso de incrementos $X(t) = Y(t + 1) - Y(t) \sim N(0, \sigma^2)$ es ruido blanco Gaussiano; este es un ejemplo perfecto de un proceso autosimilar que no solo no tiene dependencia de rango largo, si no que es completamente no correlacionado con $1/2 < H < 1$, el movimiento Browniano fraccional obedece a la siguiente expresión.

Ecuación 4. Movimiento Browniano Fraccional

$$Y(t_2) - Y(t_1) \approx N(0, \sigma^2 \cdot |t_2 - t_1|^{2H})$$

Willinger (1995).

De manera que se trata de un proceso no estacionario como función de autorregulación. Gracias a esto es fácil utilizar la estructura de correlación de un movimiento Browniano fraccional para generar trazas muestrales (Álzate, 2001).

4.2.10.2 Teoría de colas

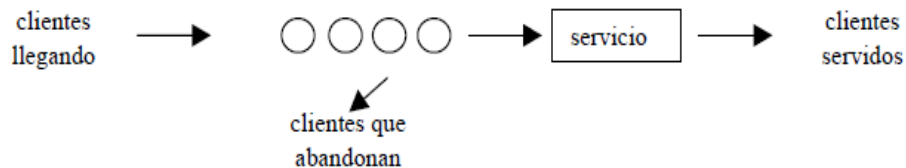
La Teoría de Colas ha desarrollado importantes resultados bajo modelos con dependencia de rango corto que, cuando se aplican al análisis de desempeño de

los nodos de una red de comunicaciones conducen a procedimientos apropiados de asignación de recursos, control de congestión, etc. Sin embargo, mediciones detalladas de tráfico realizadas en la última década revelan una estructura de correlación mucho más rica y compleja en casi todos los tipos de tráfico sobre las modernas redes de comunicaciones, que se extiende a muchas escalas de tiempo, en lo que se conoce como dependencia de rango largo (LRD) (Álzate, 2007).

4.2.10.3 Descripción de un problema de colas

Un sistema de colas se puede describir como: “clientes” que llegan buscando un servicio, esperan si este no es inmediato, y abandonan el sistema una vez han sido atendidos. En algunos casos se puede admitir que los clientes abandonan el sistema si se cansan de esperar. El término “cliente” se usa con un sentido general y no implica que sea un ser humano, puede significar piezas esperando su turno para ser procesadas o una lista de trabajo esperando para imprimir en una impresora en red (García, 2001). En la figura 34 se puede apreciar un sistema de cola típico.

Figura 34. Un sistema de cola típico.



García (2001)

Aunque cualquier sistema se puede representar como en la figura 31, debe quedar claro que una representación detallada exige definir un número elevado de parámetros y funciones.

La teoría de colas fue originariamente un trabajo práctico. La primera aplicación de la que se tiene noticia es del matemático danés Erlang sobre conversaciones telefónicas en 1909, para el cálculo de tamaño de centralitas. Después se convirtió en un concepto teórico que consiguió un gran desarrollo, y desde hace unos años se vuelve a hablar de un concepto aplicado aunque exige un importante trabajo de análisis para convertir las fórmulas en realidades, o viceversa (García, 2001).

La teoría de colas cumple con seis características básicas, con las cuales se puede describir bien este proceso.

a) Patrón de llegada de los clientes.

b) Patrón de servicio de los servidores.

c) Disciplina de cola.

d) Capacidad del sistema.

e) Número de canales de servicio.

f) Número de etapas de servicio.

- Patrón de llegada de los clientes.

En situaciones de cola habituales, la llegada es estocástica, es decir la llegada depende de una cierta variable aleatoria, en este caso es necesario conocer la distribución probabilística entre dos llegadas de cliente sucesivas. Además habría que tener en cuenta si los clientes llegan independiente o simultáneamente. En este segundo caso (es decir, si llegan lotes) habría que definir la distribución probabilística de éstos.

También es posible que los clientes sean “impacientes”. Es decir, que lleguen a la cola y si es demasiado larga se vayan, o que tras esperar mucho rato en la cola decidan abandonar. Por último es posible que el patrón de llegada varíe con el tiempo; si se mantiene constante es llamado estacionario, si por ejemplo varía con las horas del día es no-estacionario (García, 2001).

- Patrones de servicio de los servidores.

Los servidores pueden tener un tiempo de servicio variable, en cuyo caso hay que asociarle, para definirlo, una función de probabilidad. También pueden atender en lotes o de modo individual. El tiempo de servicio también puede variar con el número de clientes en la cola, trabajando más rápido o más lento, y en este caso se llama patrones de servicio dependientes. Al igual que el patrón de llegadas el patrón de servicio puede ser no-estacionario, variando con el tiempo transcurrido (García, 2001).

- Disciplina de cola.

La disciplina de cola es la manera en que los clientes se ordenan en el momento de ser servidos de entre los de la cola. Cuando se piensa en colas se admite que la disciplina de cola normal es FIFO (atender primero a quien llegó primero) Sin embargo en muchas colas es habitual el uso de la disciplina LIFO (atender primero

al último). También es posible encontrar reglas de secuencia con prioridades, como por ejemplo secuenciar primero las tareas con menor duración o según tipos de clientes.

En cualquier caso dos son las situaciones generales en las que trabajar. En la primera, llamada en inglés “preemptive”, si un cliente llega a la cola con una orden de prioridad superior al cliente que está siendo atendido, este se retira dando paso al más importante. Dos nuevos subcasos aparecen: el cliente retirado ha de volver a empezar, o el cliente retorna donde se había quedado. La segunda situación es la denominada “no-preemptive” donde el cliente con mayor prioridad espera a que acabe el que está siendo atendido (García, 2001).

4.3 ANTECEDENTES

La televisión en Colombia nació como un proyecto de estado, que en ese entonces era militar, mediante el gobierno del general Gustavo Rojas Pinilla quien quiso en el año de 1953 traer este tipo de tecnología a los hogares Colombianos. Pero fue sólo hasta el domingo 13 de junio de 1954 a las 9 de la noche que se dio la primera transmisión de televisión de la Radiodifusora Nacional de Colombia en la ciudad de Bogotá que mostró sus imágenes por el canal 8 y en la ciudad de Manizales que permitió visualizarla por el canal 10.

Para ese entonces la imagen tenía una excelente calidad; y se habían podido superar las distintas problemáticas técnicas en la instalación para ponerse en marcha este tipo de sistema. Las personas que tenían acceso a los televisores disfrutaron de inmediato del nuevo medio de comunicación, y para las personas que no tenían los recursos suficientes para su propio aparato televisivo, el gobierno instaló televisores en algunas vitrinas de Bogotá y Medellín para que se pudieran apreciar las primeras imágenes de la programación en el País. Luego de 25 años de televisión a blanco y negro el gobierno fija las normas para operar el nuevo sistema a color, y fue el primero de diciembre de 1979 que se iniciaron las emisiones a color por el canal 7 con programas extranjeros.

4.3.1 Televisión digital interactiva

Desde finales de la década de 1990, los usuarios de televisión asisten a la creciente relación que establecen los sistemas de televisión digital que vienen ligadas con internet. En donde los televidentes se fueron convirtiendo cada vez más en usuarios – consumidores, que pagan distintos servicios interactivos; entre los cuales se encuentran el video bajo demanda, los videos juegos en red y la tele compra. Miles de emisoras televisivas, se han volcado a crear sitios web en la red. Los estudios sobre contenidos de la televisión interactiva, han sido promovidos con propósitos regulatorios o de mercado y se ocupan de aspectos normativos o

de viabilidad, pero como tal, los trabajos académicos que definen a la televisión digital interactiva a partir de la caracterización de sus contenidos y de el tráfico son una aportación pendiente a la que la presente investigación, modelamiento de tráfico para la interactividad en un canal de retorno de televisión digital terrestre, quiere contribuir.

La referencia más antigua de interactividad televisiva es la del informe que la Independent Television Comisión (ITC), del Reino Unido, publicó en 2001 y que sugería acciones normativas destinadas a proteger los derechos de los receptores o televidentes sobre el consumo televisivo. Para ello, la ITC clasificó los servicios interactivos según sus prestaciones de interactividad. El reporte de la ITC consideraba que la interactividad era una funcionalidad que permitía a los tele espectadores interactuar con los programas de la televisión en dos formas: la primera consistía en cambiar el contenido de lo que se ofrecía en pantalla, y la segunda era informar al receptor de determinados momentos de consumo. Por esto se distinguían estos dos tipos de contenido. En el primero se mostraba un servicio de acceso independiente a la programación que podían estar o no, relacionados con un programa televisivo. El segundo trataba de servicios relacionados con unos programas específicos a los que se accedía para interactuar mientras se emitía dicho programa y al que se podía complementar.

Otro trabajo, el de Report on Television Services, de la Canadian Radio-Television and Telecommunications comisión (CRTC), ofrecía una clasificación semejante. Al contrario de la ICT, la CRTC desistía de definir la interactividad televisiva porque consideraba que era un fenómeno que evolucionaba rápidamente. En su lugar, sin embargo, proponía agrupar los servicios por sus características. En consecuencia, la dificultad y responsabilidad que entraña la definición de la televisión interactiva quedaba sesgada de esta manera. A pesar de ello, sugería que la interactividad implicaba alguna forma de comunicación bidireccional que podía ser entre el televidente y el contenido, proveedor o distribuidor. Además, afirmaba que existiera una respuesta del telespectador era necesario, al menos, un modo de interacción con el equipamiento televisivo. La clasificación de la CRTC incluía tres categorías: Non – traditional stand-alone ITV services, Enhanced Programming, ITV e internetover TV services. Las dos primeras eran similares a las de la ITC. Así, los servicios incluidos dentro de lo que llamaba Enhanced programming ITV podían requerir una vía de retorno para facilitar la comunicación bidireccional y se caracterizaban porque se relacionaban con la programación. También podían proveer funciones interactivas adicionales a través del aparato receptor; en la categoría Nontraditional stand-alone service, la CRTC incluía los servicios a los que nunca se hubiera podido acceder mediante el televisor convencional y que son independientes de la programación. Estos servicios eran los portales de TV (similares en apariencia a los website de Internet pero ofrecidos por una plataforma televisiva) y los virtual channels (contenidos independientes, y en su unicidad similares a los de un programa televisivo, pero

que se diferenciaban en que su formato era textual, gráfico o sonoro). Finalmente, la CRTTC incluía la categoría internet over TV services para diferenciar dos formas de acceso: la primera que conducía a contenidos de Internet, y la segunda que conducía a contenidos similares en apariencia a los de Internet pero ofertados por la plataforma (TV portals o walled gardens) (Prado, Franquer, Soto, Ribes, & Fernández, Tipología funcional de la televisión interactiva y de las aplicaciones de interacción con el televisor, 2008)

4.4 ESTADO DEL ARTE

En la actualidad son pocas las investigaciones que se han realizado en el tema de interactividad, ya que la televisión digital lleva poco tiempo en el mercado mundial, más específicamente en el Latino. Las investigaciones más relevantes que se ven ligadas a este proyecto de grado, son las de el Modelamiento de Tráfico de una transmisión de teletexto en Televisión Digital Terrestre en el estándar DVB-T, a cargo del ingeniero Alexander José Martínez Patiño, donde propone un modelo de tráfico MMPP para la transmisión del teletexto, analizando el comportamiento del tráfico desde la central de televisión, hacia el usuario final; otra investigación es la del sistema Brasileiro de televisión digital, donde existe un proyecto llamado “Modelos das fontes de Trafégo para e canal de interatividade” (Modelos de fuentes de tráfico para el canal de interactividad); proyecto realizado el 23 de julio de 2005 por Paulo Mello Marshall de la institución UNICAMP/FEEC en Brasil; donde propone presentar los modelos de tráfico que serán utilizados en el análisis del desempeño de los sistemas propuestos para el canal de interactividad, centralizándose en dos aspectos importantes que son: redes intrabanda y redes ad-hoc, el método de análisis utilizado para estos dos casos, es el empleo de un modelo de simulación, que tiene como principal característica permitir la representación de forma flexible y compleja de los modelos de tráfico y del comportamiento del canal de interactividad.

Existen proyectos que van muy ligados a el proceso de la interactividad en la televisión digital, como son la de la interatividade e sincronismo em televisão digital (Interactividad y sincronismo en televisión digital), realizada en febrero de 2006, por estudiantes de pos-graduación de la Pontíficia Universidad Católica do Rio de Janeiro, que propone un estudio basado en lenguaje Java, utilizando HTML para el desarrollo en la interactividad (Laiola Guimarães & Resende Costa, 2006).

Paralelo a investigaciones sobre interactividad, existen investigaciones sobre modelamiento de tráfico en formatos de video MPEG-4, una de estas investigaciones fue desarrollada por el ingeniero Joaquín Fernando Sánchez egresado de la Fundación Universitaria San Martín en el año 2006, donde propone Caracterizar el tráfico de video MPEG-4, para generar un modelo matemático que permita mejorar las condiciones de transporte sobre las redes de datos. Otra

investigación que se encuentra muy ligada al modelamiento de tráfico para la interactividad en televisión digital, es un proyecto llamado tecnología de la alta definición en la televisión de alta definición realizado por estudiantes de pregrado del Instituto Politécnico Nacional, ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y ELÉCTRICA “Unidad Culhuacan - México” en marzo de 2007, donde tienen como principal objetivo analizar la tecnología aplicada en la televisión de alta definición y dar a conocer los beneficios que aporta a la sociedad Mexicana requerida por dicha tecnología.

En Colombia, el sistema de televisión digital elegido fue el europeo (DVB-T). La decisión de la Comisión Nacional de Televisión fue anunciada el 28 de agosto de 2008, después de diferentes retrasos y negociaciones. Colombia determinó operar con el sistema de compresión MPEG-4. El apagón analógico está programado para el año 2019 (Hernández, s.f).

5. LIMITACIONES Y ALCANCES

5.1.1 Limitaciones

Las limitaciones que tiene la investigación se ven definidas por:

- El modelo obtenido, sólo será teórico. Por lo cual no se implementará en dispositivos.
- El modelo será la base de futuras investigaciones para la TDT.
- No se utilizarán datos reales. Sólo simulados.

5.1.2 Alcances

Los alcances que tiene la investigación, son definidos por:

- Realización de una simulación en NS-2 para la generación de trazas.
- Generar un modelo de tráfico para la interactividad en un canal de retorno.
- Se realizó la documentación sobre el estándar DVB-T ya que fue adoptado por Colombia.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto de grado, fue necesario el uso de una investigación de tipo experimental, ya que se señalan los aspectos independientes, dependientes, los parámetros constantes y la medición de cierto tipo de variables en la investigación. Mediante esta investigación se realizaron pruebas de forma simulada, que conllevaron a un análisis de resultados para la obtención de un modelo matemático.

6.2 FASES Y/O PROCEDIMIENTOS

La metodología para cumplir el objetivo del planteamiento del modelo de tráfico, se resume en las siguientes fases:

- Fase 1: El primer requerimiento que se llevo a cabo para realizar la investigación, fue documentar sobre los distintos estándares que tiene la televisión digital en el mundo, haciendo énfasis en el estándar Europeo, que fue el elegido por Colombia.
- Fase 2: Se documento sobre las características de la TDT, como lo son los tipos de canal, medio de transmisión y de recepción, compresión, codificación, equipos, aplicaciones y se hizo énfasis sobre la interactividad, que es el punto principal para el desarrollo de la investigación; por otra parte, después de haber documentado los tipos de canal de retorno existentes, se opto por escoger el más indicado, para realizar la simulación.
- Fase 3. Se definieron los aspectos de subida y de bajada de los canales de la televisión digital terrestre, para el desarrollo de la simulación en NS-2 que permitió hallar unas trazas que caracterizaron el tráfico.
- Fase 4: Luego de obtener las trazas mediante NS-2 se analizaron por medio del software MATLAB, para obtener los datos característicos de la interactividad en un canal de retorno, de la televisión terrestre en Colombia.
- Fase 5: Obtenidos los datos, se genero un modelo de tráfico que caracterizó el canal de retorno de la televisión digital terrestre, que es el que complementa la investigación.

- Fase 6: En la última fase se apreciara la viabilidad que ejerce este proyecto, para futuras investigaciones en el país y en el mundo.

6.3 INSTRUMENTOS

Para la realización del proyecto como tal, es de vital importancia contar con un computador portátil que cuente con sistema operativo LINUX, para la realización de la simulación en NS-2.

Se trabajo con NS-2, debido a que es una plataforma que se aproxima a la realidad, ya que evalúa parámetros muy concisos en el diseño de redes. Por otro lado, los resultados numéricos son ideales para la realización de trazas. Para el análisis de las trazas obtenidas, fue necesario contar con el software MATLAB.

7. DESARROLLO

Para el desarrollo de la presente investigación llamada, Modelamiento de Tráfico para la interactividad en un canal de retorno de televisión digital terrestre, es de vital importancia tener claros los objetivos a desarrollar; ya que son estos los que medirán y permitirán observar que tan alcanzable, y que tan viable es la investigación.

Ya que la televisión es por excelencia el medio masivo de información es importante tener conocimiento sobre el comportamiento de la misma. En este proyecto de grado se documentó sobre el funcionamiento de la televisión digital en el estándar Europeo DVB-T, que fue el escogido por Colombia; adicional a esto se explicó cómo actúa la interactividad en este estándar. Luego de tener claro como se comporta la TDT se clasificaron los canales de transmisión digital, haciendo énfasis en la forma de envío de datos tanto del televidente hacia el canal de televisión, como del canal de televisión hacia el televidente, especificando los aspectos que influyen en el canal de retorno, para así poder simular en la plataforma NS-2 los canales de subida y de bajada de la televisión digital que serán base fundamental para el planteamiento de un modelo de tráfico que conllevara a observar que tan viable es la investigación.

La documentación del estándar DVB-T junto con el funcionamiento de la interactividad, se encuentra en el marco teórico.

7.1 CANALES DE RETORNO EN TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE

Como se ha mencionado a lo largo del documento, para que exista una comunicación bidireccional entre el televidente y la central de televisión que trae consigo contenidos interactivos, es necesario contar con un canal de retorno distinto al canal de subida; ya que por medio de este canal el usuario podrá realizar sus peticiones a la central televisiva.

Existen distintos canales de retorno en televisión digital terrestre a nivel mundial. Lo que se realizó en esta parte de la investigación, fue clasificar los distintos canales existentes y escoger tan solo un canal, el (DVB-RCT) que es el que se amolda más al estándar escogido por la comisión nacional de televisión.

- Actualmente la mayoría de la población en Colombia, cuenta aun con televisión analógica, que se ha caracterizado por emitir su flujo de información de una forma unidireccional, desde la central televisiva, hacia los usuarios; lo que quiere decir, que solo se cuenta con un canal de transmisión que es el de la difusión. Este proyecto de grado, quiere recalcar uno de los aspectos más

importantes de la televisión digital terrestre, "la interactividad" que es la comunicación bidireccional, en donde el usuario puede interactuar con la televisión a través de un control remoto, permitiéndole observar y manipular la programación de los contenidos televisivos; sin embargo para que el usuario pueda gozar de aplicaciones y contenidos, se requiere añadir un canal de retorno que contemple al canal de bajada ya existente, para que de esta forma el televidente tenga la capacidad de interactuar directamente con el servidor exterior de aplicaciones interactivas.

El canal de retorno es un medio de transmisión, que conecta el receptor de televisión digital, con el operador y a su vez permite la recepción y el envío de datos que el televidente intercambia con la central televisiva para poder hacer uso de los servicios interactivos.

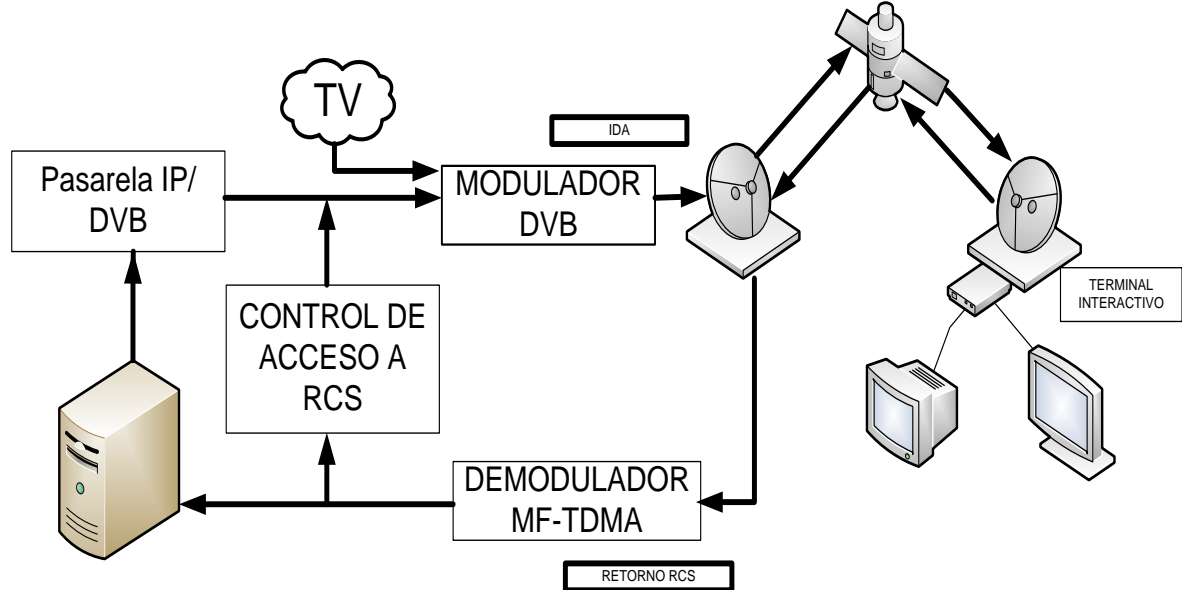
7.1.1 Canal Satelital

La televisión satelital es un medio de comunicación clásico, que ha utilizado los satélites como aspecto primordial en el desarrollo de la difusión televisiva. Las redes satelitales, ofrecen servicios de amplia cobertura, reducen los costos de instalación debido a que no dependen de la distancia o de la zona de cobertura y además de esto el ancho de banda que ofrece esta en el orden de los Mbps, dependiendo de los sistemas que utilicen. La televisión satelital, posee características de difusión y repetición que ofrece gran capacidad para proveer servicios de acceso; debido a que utiliza satélites en la órbita geoestacionaria de la tierra y pueden instalarse terminales en cualquier punto dentro de la zona de cobertura que tenga visión directa con el satélite.

Estos sistemas satelitales hoy en día, ofrecen servicios multimedia de banda ancha, tanto para dispositivos móviles, como para dispositivos fijos. Esto se debe a que los sistemas de televisión digital satelital, pueden utilizar parte de su capacidad para implementar un envío de paquetes IP de forma bidireccional, permitiendo de esta manera una comunicación más efectiva y de mejor capacidad, ya que no depende de ninguna otra red para el canal de retorno (Arcos Gómez, 2008).

En la figura 35, se muestra el esquema de una red bidireccional satelital, en donde se puede visualizar como se realiza la comunicación entre el servidor de aplicaciones interactivas, pasando su contenido por un modulador DVB, llevándolo hacia el satélite, y por ultimo como es recibido por el televidente o usuario final, que a su vez toma el contenido y realiza sus peticiones por un canal de retorno para que sea enviado hacia el servidor.

Figura 35. Red satelital bidireccional.

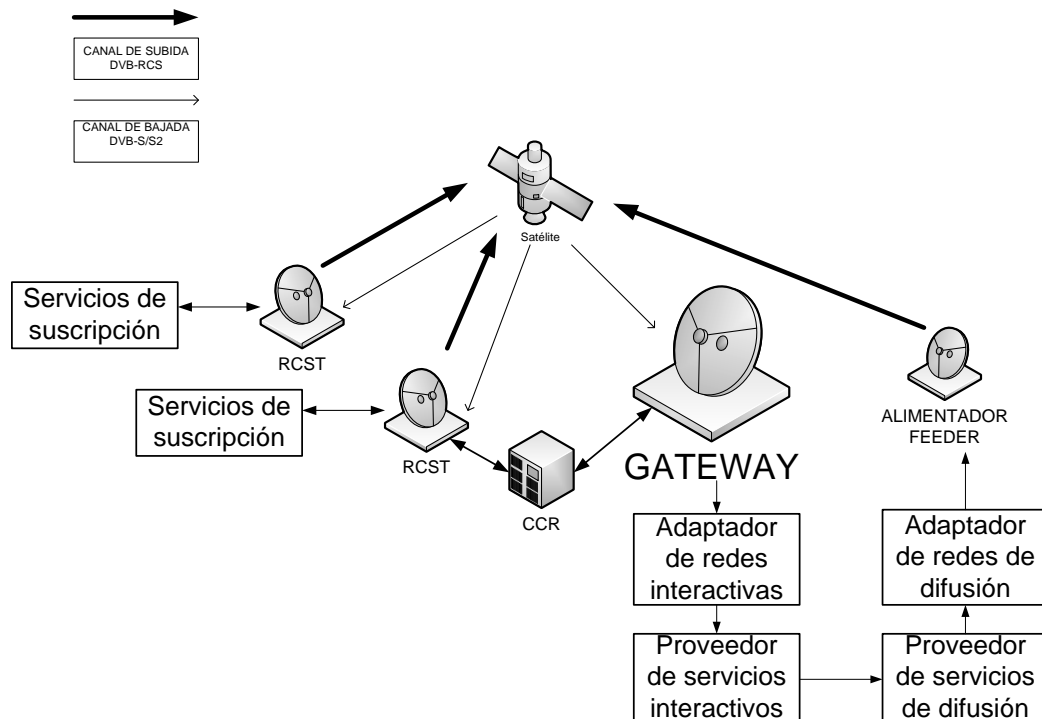


Arcos (2008)

El estándar DVB ha realizado especificaciones técnicas para cada uno de los medios de transmisión que utiliza. En el caso del sistema de transmisión satelital, DVB utilizó el DVB-RCS (Digital Video Broadcast - Return Channel by Satellite) que es el encargado de establecer las pautas para construir redes de satélite interactivas a través de pequeñas estaciones de satélites geoestacionarias bidireccionales así como se menciona en el documento de la ETSI (European Telecommunications Standards Institute) 3001 790.

DVB-RCS especifica un terminal de muy bajo costo y a su vez cuenta con un buen rendimiento que proporciona la interfaz a los televidentes, llamado Return Channel Satellite Terminal o bien RCST, que está basado en el formato MPEG y tiene la capacidad de soportar un sistema DVB bidireccional. En este tipo de sistema, el satélite recibe el tráfico IP de los proveedores y los envía a los terminales RCST, que reciben la señal de difusión basada en DVB-S o bien en DVB-S2, mientras que las señales de retorno enviadas por los RCSTs son recibidas por uno o por varios Gateways que a su vez, hacen la interacción con el CCR o bien llamado, centro de control de la red. Los Gateways son los que se encargan de las funciones de facturación, a los accesos de los servicios interactivos y a las conexiones de de los proveedores de los servicios públicos y privados. Mientras que por el otro lado el CCR se encarga de proporcionar las funciones de monitorización y de control de la red; por último el alimentador es quien se encarga de transmitir las señales del proveedor del usuario así como se muestra en la figura 36.

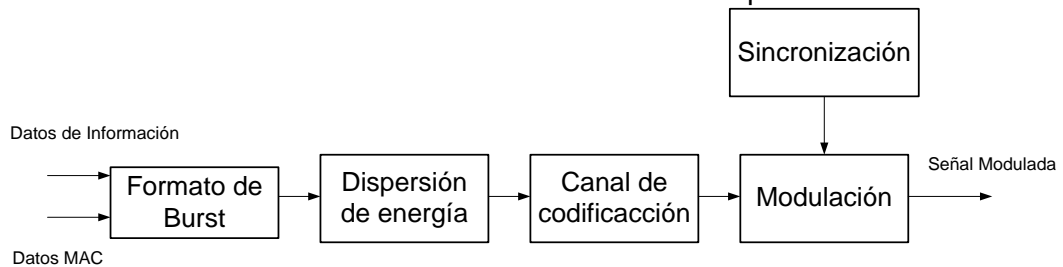
Figura 36. Modelo de referencia de un sistema satelital interactivo.



Arcos (2008)

Por otra parte la transmisión de los datos de la RTCS en el canal de retorno, se realiza siguiendo un proceso digital de señales, como se describe en la figura 37.

Figura 37. Procesamiento de la señal en el enlace de retorno por satélite.



- Formato de ráfagas Burst.

Existen cuatro tipos de ráfagas, los primeros son de tráfico (TRF), que son utilizados para transportar la carga útil de una RCST, hacia una misma RCST o hacia un Gateway; este a su vez puede ser de dos tipos, ya sea de células ATM o paquetes MPEG2. Los segundos son de adquisición (ACQ) que son utilizados para alcanzar la sincronización de la RCST con la red satelital de interactividad. El burst de sincronización (SYNC) que es usado por la RCST con el objetivo de mantener la sincronización y el envío de información de control al sistema. Y por

último los burts de señalización de canal (CSC) que son usados por un RCST para identificarse durante el registro (Arcos Gómez, 2008).

- Dispersión de energía.

Es usado con el fin de asegurar las transiciones binarias adecuadas; además el flujo de datos del canal de retorno debe ser organizado en ráfagas aleatorias.

- Codificación.

Es utilizada para la protección de errores del canal y a su vez es aplicada a los datos de tráfico y de control. Existen dos sistemas en los cuales se encuentra el esquema de codificación turbo y concatenada. Un RCST no puede implementar ambos esquemas en una sesión dada (Arcos Gómez, 2008).

- Modulación.

La modulación en un canal de retorno satelital se realiza utilizando Gray -codec QPSK con mapeo absoluto. Este tipo de sistema funciona en las bandas Ku o Ka de frecuencias y ofrece un ancho de banda de retorno para los servicios multimedia en un rango de 144 a 2048 Kbps. Por otro lado el acceso definido es de multi-frecuencias por división en el tiempo (MF-TDMA), que a su vez permite comunicar varios RCTS (Arcos Gómez, 2008).

- Sincronización.

La sincronización se encarga de mejorar el aprovechamiento del canal evitando la interferencia entre cada uno de los usuarios. Para la sincronización se envía información dentro de la señalización del enlace directo conocido como NCR (Network Clock Reference) que es una derivación del reloj de referencia del CCR (Arcos Gómez, 2008).

7.1.2 Canal por Cable

Este tipo de sistema trae consigo ciertas características; cuando se hace referencia a un sistema de cable coaxial es necesario recalcar los siguientes aspectos.

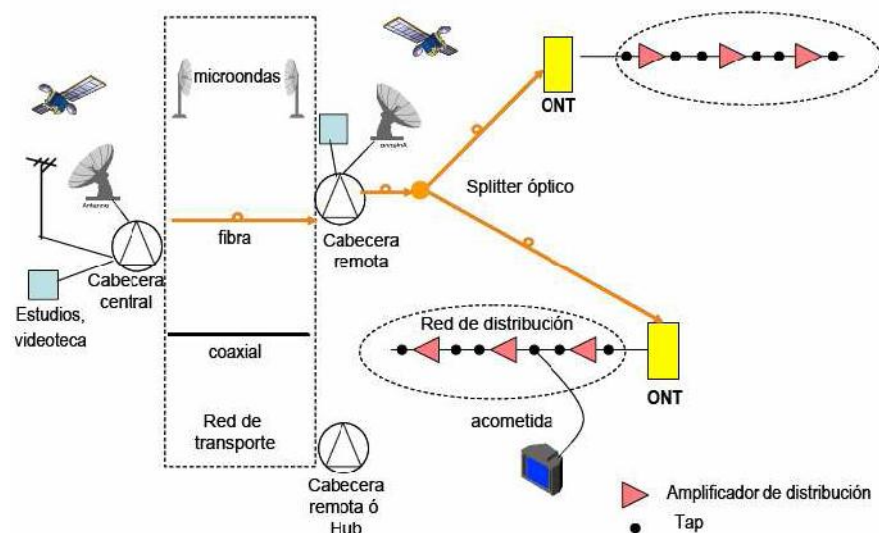
Lo primero, es que debe disponer de una zona de espectro radioeléctrico exclusiva y que no sea compartida con otro tipo de servicios, además de esto debe estar libre de interferencias. Los límites prácticos de utilización en el empleo

de cable coaxial, alcanzan un ancho de banda de 1Ghz aproximadamente, pero presenta atenuación creciente a la corriente (Galar de Santiago, 2009).

Por otra parte, como lo menciona Berrocal, Vázquez, González, Álvarez, Vinyes, Madinabeitia & García, en su documento "Redes de Acceso de Banda Ancha. Arquitectura, Prestaciones, Servicios y Evolución". Las limitaciones en la planta coaxial están provocadas por las imperfecciones de sus propios componentes, dando origen a 2 tipos de perturbaciones, que son las coherentes y las no coherentes. Las fuentes de perturbación coherentes, hacen referencia a las señales del exterior que de alguna manera, logran introducirse en el cable a través de imperfecciones tanto en el blindaje, como en los conectores; otra fuente de perturbación son las reflexiones de línea por desadaptaciones de impedancia en el cable coaxial. La perturbación más importante, hace referencia a las intermodulaciones y a las modulaciones cruzadas que se producen debido a las no linealidades de los amplificadores y repetidores de los sistemas coaxiales; este tipo de interferencia es el más molesto para el televidente, ya que su repercusión en la calidad de imagen es demasiado baja.

Las fuentes de perturbación no coherentes tienen su principal problema en el ruido térmico, que está presente en cualquier sistema de comunicaciones. Estas limitaciones son aditivas y determinan las prestaciones máximas del sistema: el número de repetidores entre la cabecera y el usuario (que equivale a la distancia en kilómetros) y el ancho de banda que se puede alcanzar (a más repetidores, más interferencia, menos canales utilizables y menos ancho de banda), (Berrocal, y otros, 2003). En la figura 38, se pueden observar y distinguir las partes que conforma una red de cable.

Figura 38. Red de distribución de televisión a través de cable.



Berrocal & otros (2003)

En la figura 38 puede distinguirse la red de transporte, la red de troncal (trunk network), la red de distribución (feeder network) y la acometida (drop). De todas estas solamente las tres últimas forman parte de la red de acceso de un sistema de cable.

La red troncal en un sistema coaxial convencional tiene más o menos un 12% de la longitud total de cable desplegado. En su caso utiliza los coaxiales de mayor diámetro (menor atenuación) con amplificadores cada 600 a 700 metros debido a que solo tienen que compensar las pérdidas del cable, no tienen que ser de gran ganancia, con lo cual se obtiene menor distorsión (Berrocal, y otros, 2003)

Por otro lado la red de distribución proporciona la energía que se deriva hacia cada usuario, a la vez que compensa las pérdidas de cable. Es por esto que las distancias máximas suelen ser menores a 2 kilómetros. Este segmento de la red constituye alrededor de un 38% del total de cable desplegado, con lo que se utiliza cable de menor diámetro que en la parte de la red troncal. Los amplificadores que tiene la red de distribución son de gran ganancia con el fin de compensar la energía hacia los usuarios, ya que son ellos quienes introducen una mayor distorsión. Por último está la acometida hasta el hogar del televidente, que se hace mediante derivaciones desde el cable de distribución con el cable coaxial flexible de aproximadamente 40 metros. La longitud de cable de esta porción viene a construir la mitad de la longitud total de la planta de cable.

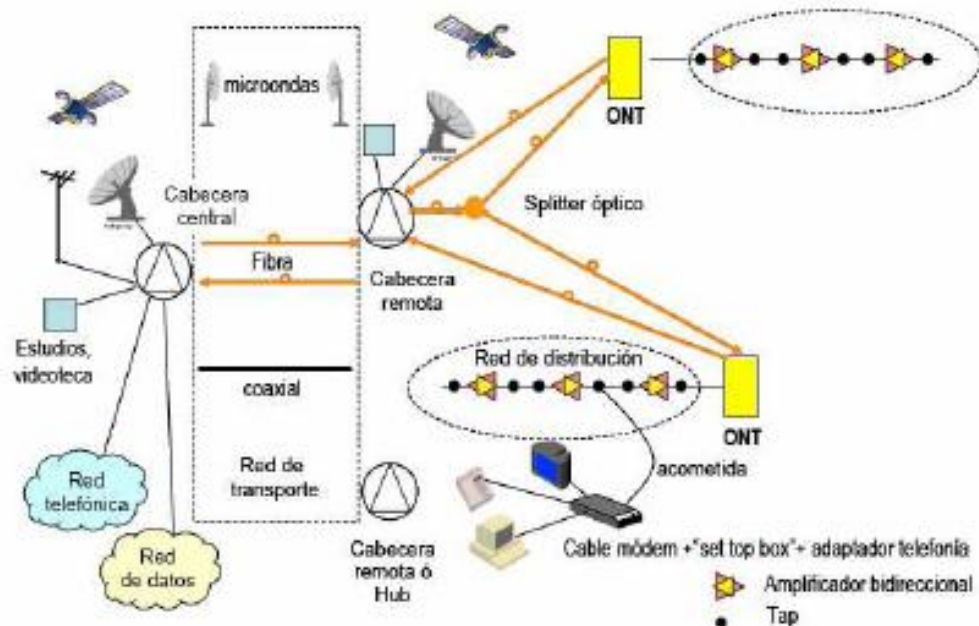
Existen también las redes HFC o bien llamadas redes Híbridas Fibra- Coaxial que son parte fundamental para la interactividad en televisión digital por su comunicación bidireccional y introducen en la red de acceso la transmisión por la fibra óptica. Esto permite reducir perturbaciones del sistema por cable coaxial y cubrir mayores distancias, hasta de 100 Km sin amplificadores. Ofrecen también un mayor ancho de banda para la distribución de la televisión; mientras que las técnicas de división en frecuencia, junto con una parte del espectro en transmisión en sentido ascendente, permiten transmitir información desde el usuario hasta la cabecera o canal de retorno, como se observa en la figura 39.

En principio, la cabecera es el órgano central, donde se combinan las distintas fuentes de programación, como lo son los canales de televisión, telefonía o bien sean datos. Hoy en día las cabeceras satisfacen las nuevas demandas de servicios y de datos a alta velocidad. La red troncal se encarga de repartir la señal compuesta generada por la cabecera a todas las zonas de distribución que abarca la red de cable; mientras que los nodos ópticos convierten las señales descendentes desde la cabecera hacia el televidente de óptico a eléctrico para llegar al abonado a través de la red de distribución coaxial; además reciben las señales del canal de retorno o ascendentes y las convierten en señales ópticas para ser transmitidas a la cabecera.

Por último la red de distribución está compuesta por una estructura tipo bus de coaxial, que lleva las señales descendentes hasta la última derivación antes del hogar del abonado. Las portadoras digitales del canal de retorno entre 5 MHz y 45 MHz son afectadas por señales de telefonía móvil, señales de radio, o bien sea por la red eléctrica del usuario.

En el canal de retorno las señales provenientes de cada usuario, junto con el ruido de los elementos que atraviesa, se van añadiendo y acaban convergiendo en un punto, esto aumenta con la cantidad de usuarios. En teoría la capacidad máxima en el canal de retorno es de 5 Mbit/s en la especificación DOCSIS 1.0; sin embargo en la práctica la velocidad suele estar en los 2Mbit/s aproximadamente, dependiendo de la modulación empleada y de la relación señal-ruido (Arcos Gómez, 2008).

Figura 39. Esquema de red de cable bidireccional.



Berrocal & otros (2003)

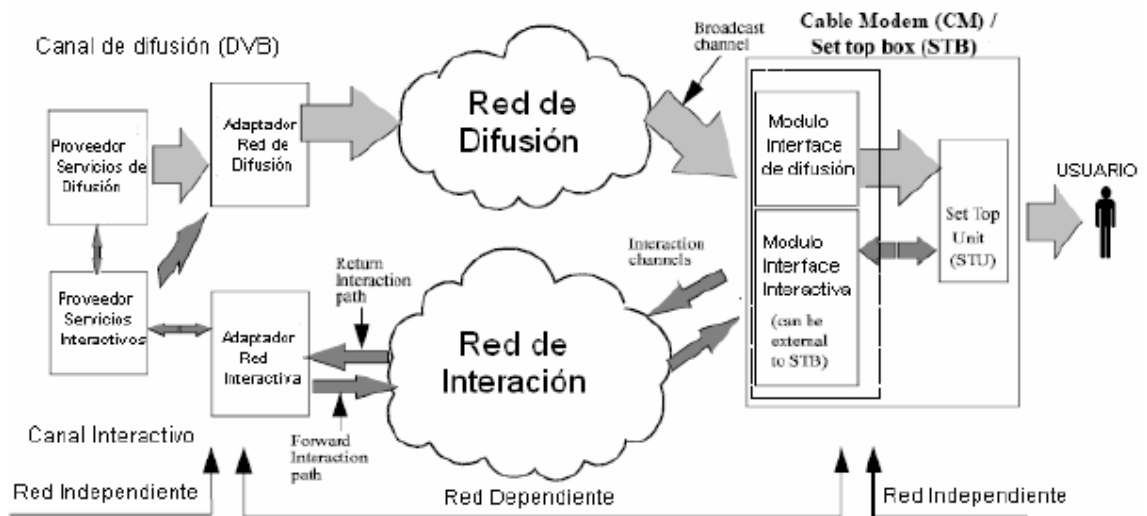
Por otra parte DVB tiene estandarizado el canal de retorno de cable como DVB-RCC (Digital Video Broadcast - Return Channel by Cable). Este estándar define las especificaciones básicas para la prestación de un canal interactivo para las redes de televisión por cable (CATV).

Este tipo de sistema interactivo, establece dos canales entre el proveedor de servicios y el televidente de la siguiente manera: (ETS 300 800)

- Canal de difusión: Es el canal que conocemos actualmente y comprende una comunicación unidireccional que transporta video, audio y datos.
- Canal de Interacción: Es un canal bidireccional establecido entre el proveedor de servicios y el televidente, donde existe un flujo interactivo desde el proveedor de servicios al usuario, que se utiliza para proporcionar algún tipo de información para la prestación de servicios interactivos.

En la figura 40 se puede observar un modelo de referencia de sistema interactivo CATV.

Figura 40. Modelo interactivo en DVB-RCC.



ETSI (1997)

En este sistema interactivo, la transmisión de las tramas descendentes se encuentra basadas básicamente en dos principios de señalización, ya sea Out Of Band (OOB) o In Of Band (IB). Para el caso de señalización OOB, se requiere de un canal interactivo de bajada. Este canal está reservado únicamente para los datos interactivos e información de control. En el caso de señalización IB, el canal de información descendente se inserta en la trama de transporte MPEG-2 de un canal de difusión DVB-C. Ambos sistemas pueden proporcionar la misma calidad de servicio, sin embargo se diferencian en su arquitectura.

En este caso los dos tipos de sistemas pueden existir en las mismas redes con la condición de que se utilizan diferentes frecuencias para cada sistema. Es decir para el canal de interacción descendente (OOB) se recomienda el rango de frecuencias entre 70MHz – 130MHz y/o 300MHz – 862MHz; y para el canal de retorno el rango entre 5MHz y 65 MHz (Arcos Gómez, 2008).

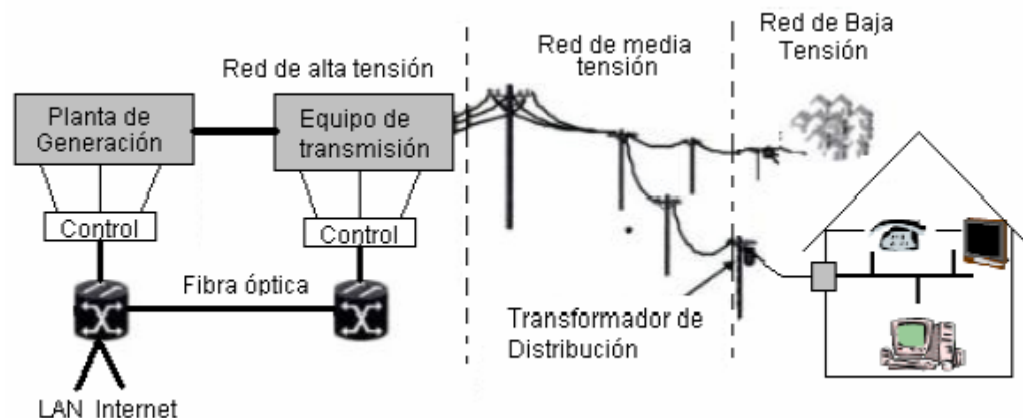
7.1.3 Canal por PLC

Este tipo de tecnología PLC (Power Line Communications), utiliza la red de baja tensión para poder transmitir la información; lo hace digitalizando la información que se quiere transmitir y la adapta al medio de transmisión; en esta tecnología se distinguen cuatro segmentos que hacen referencia a: (Zoran Bojkovic, 2008)

- Red de alta tensión: Es la encargada de transportar la energía desde la planta de generación eléctrica, hasta las subestaciones de alta tensión. También se encuentra conectada a una troncal de fibra óptica o alguna otra tecnología, que introducen las señales de datos en las líneas de media tensión junto a la señal de potencia.
- Red de media tensión: Se encarga de distribuir la energía y la información dentro de un área de consumo determinada, hasta llegar al transformador de distribución en donde se hace la separación.
- Red de baja tensión: Es la encargada de distribuir la energía hacia los hogares de los televidentes o usuarios finales; esta red constituye la última milla en telecomunicaciones.
- Red de distribución domestica: Es la que hace referencia al cableado de energía y a las tomas dentro del usuario final. Cada enchufe se convierte en un punto de acceso a la red de datos. Para el acceso a esta red de datos es necesario contar con una interfaz, dependiendo del tipo de aplicación.

En la figura 41, se pueden observar los 4 distintos segmentos en una red PLC.

Figura 41. Segmentos de una red PLC.



Arcos (2008)

En la actualidad las redes PLC poseen una capacidad de transmisión de aproximadamente 27 Mbps en sentido descendente y 18 Mbps en sentido ascendente. Debido a que estas tasas deben repartirse entre varios usuarios, las velocidades máximas de usuarios se encuentran entre 100Kbps y 200Kbps, lo que quiere decir que sería complicado para la distribución de TV, VoD y videoconferencia, ya que no requiere de ancho de bandas excesivas. Sin embargo para aplicaciones como telefonía sobre IP o internet, este tipo de tecnología PLC proporciona un ancho de banda suficiente

Por otra parte, para transmitir y recibir paquetes de iTV o bien llamado televisión interactiva, PLC en su estado actual puede ofrecer un ancho de banda y tiempo de latencia aceptable para ciertos servicios con diferentes grados de interactividad (Arcos Gómez, 2008).

La tecnología PLC, como canal de retorno para televisión digital interactiva, ofrece grandes beneficios, ya que en principio, es la red más desplegada en todos los países y a su vez tiene mayor cobertura que otras redes de telecomunicaciones, solo requiere de un módem PLC para obtener servicios de banda ancha y trabaja en un rango de frecuencias superior a los 50 Hz de la energía eléctrica, lo cual evitaría algún tipo de interferencia.

7.1.4 Canal Terrestre

Para el canal de retorno terrestre, DVB concluyó su especificación en el mes de abril del año 2001 y la ETSI (European Telecommunications Standards Institute) lo ratificó y lo publicó en el mes de marzo de 2002 como el estándar EN 301 958 v 1.1.1 (2002-03), con el nombre de Digital Video Broadcasting (DVB); Interaction channel for Digital Terrestrial Television (RCT); incorporating Multiple Access OFDM. La ITU (International Telecom Union) reconoció y recomendó el sistema DVB-RCT (Digital Video Broadcasting – Return Channel Terrestrial), como el canal de retorno preferible para el sistema DVB-T. (ETSI 301 958)

El objetivo del sistema DVB-RCT es ofrecer a los emisores un canal de retorno inalámbrico en las bandas VHF y UHF para que este desarrollado junto con la plataforma de Televisión Digital Terrestre DVB-T. La arquitectura del sistema inalámbrico del canal DVB-T está compuesta por las siguientes capas.

- La capa física: se encarga de definir todas las propiedades físicas (eléctricas) de los parámetros de transmisión.
- La capa de transporte: define todas las estructuras de datos y protocolos de comunicación como lo son los contenedores de datos.

- La capa de aplicación: hace referencia a la aplicación de software interactiva y a los entornos de ejecución; como son las compras que realiza el televidente desde su hogar, etc.

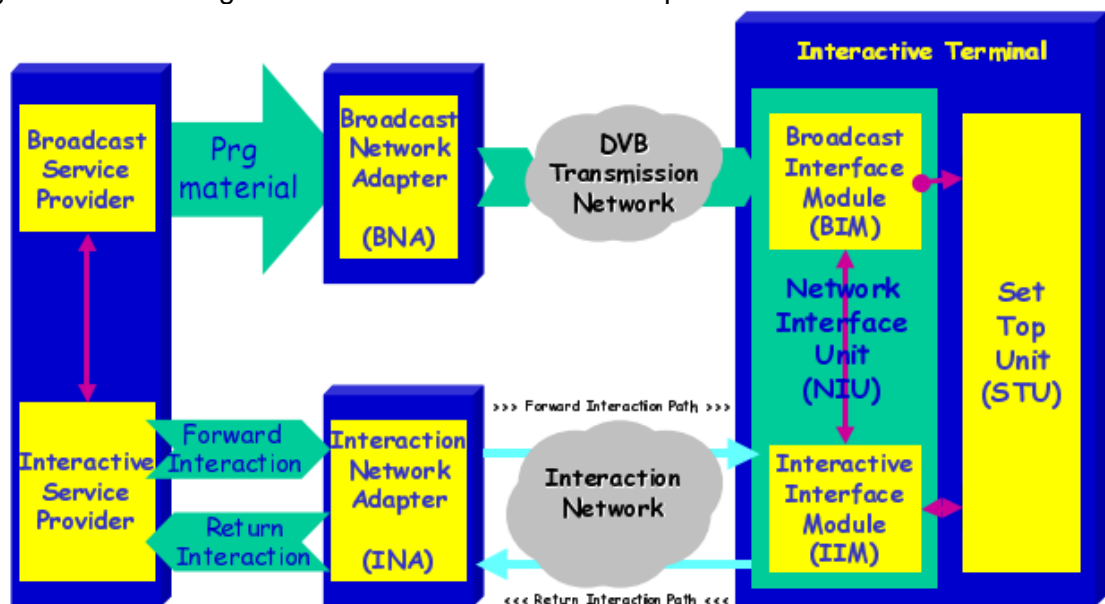
En figura 42 se muestra el modelo del sistema genérico, que tiene que ser utilizado dentro de DVB para el uso de los servicios interactivos. En este modelo, se establecen dos canales entre el proveedor de servicios y el usuario.

- Broadcast channel (BC): un canal de banda ancha de difusión unidireccional, como vídeo, audio y datos se establece desde el proveedor de servicios hacia los televidentes.
- Interaction channel (IC): un canal de interacción bidireccional que se establece entre el proveedor y el televidente para fines de interacción. Está formado por:

a) Return Interaction path: la interacción del canal de retorno, está formado desde el usuario al proveedor de servicios, que se utiliza para realizar peticiones al proveedor de servicios, para responder preguntas o para cargar los datos.

b) Forward Interaction path: la interacción del canal de subida, está formado desde el proveedor de servicios hacia el usuario que se utiliza para proporcionar la información y las comunicaciones requeridas para la prestación de servicios interactivos. (ETSI 301 958)

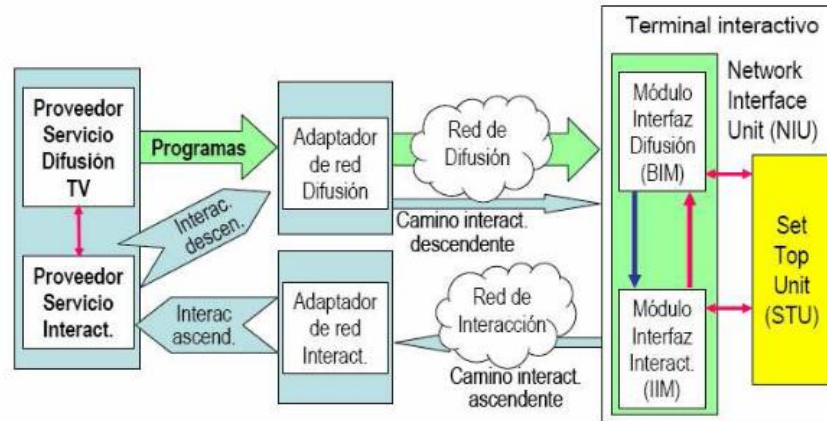
Figura 42. Sistema genérico de modelo de referencia para interactividad.



ETSI 301 958 (2002)

En el contexto de las redes interactivas Terrestres, la interactividad se realiza como se muestra en la figura 43.

Figura 43. Modelo de referencia para interactividad en sistemas terrestres.



Arcos (2008)

El terminal interactivo también llamado Return Channel Terminal Terrestre (RCTT) proporciona una interfaz para ambos, una difusión y un canal de interacción. El RCTT está formado por la unidad de interfaz de red (NIU) y la Unidad de Set Top (STU). La unidad de interfaz de red (NIU) contiene el módulo de interfaz de difusión (BIM) y el módulo de interfaz interactiva (IIM).

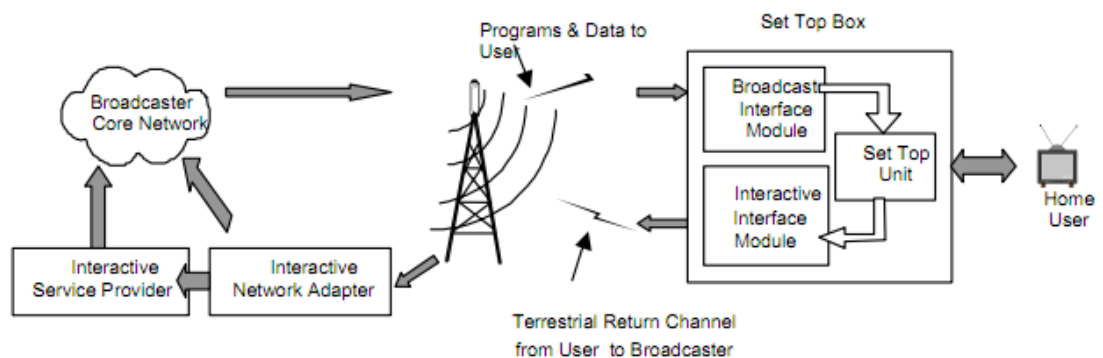
El sistema Digital Video Broadcasting – Return Channel Terrestrial puede utilizarse también para sesiones web interactivas y servicios de telecomunicaciones IP, como lo es el comercio electrónico, que exige interactividad total entre los usuarios y los proveedores de servicios interactivos; DVB-RCT ofrece un excelente sistema de canal de retorno inalámbrico para la Televisión Digital Terrestre, incluso si las bandas de VHF Y UHF están congestionadas, debido a que:

- DVB-RCT es un sistema de Múltiple Acceso OFDM de bajo costo, potente, flexible y sobre todo permite el uso eficiente del espectro.
- DVB-RCT ofrece celdas de hasta 65 Km de cobertura, con una velocidad típica de varios kbps para cada espectador, incluso en el borde de la zona de cobertura.
- DVB-RCT puede manejar grandes picos de tráfico, ya que ha sido diseñada para que procese 20000 interacciones cortas por segundo, en cada celda de cobertura.

- DVB-RCT puede emplear celdas más pequeñas, con el fin de constituir zonas más densas de hasta 3.5 Km, donde se manejen velocidades de varios Mbps.
- DVB-RCT no requiere acceso al espectro en una Base principal, ya que el sistema ha sido diseñado para uso de algún espectro hueco o subutilizado en cualquier parte de las Bandas sin interferir con la radiodifusión de servicios.
- DVB-RCT puede ser utilizado por dispositivos portátiles, permitiendo tener interactividad de todo lado donde haya señal de la televisión digital terrestre.
- DVB-RCT puede ser utilizado en cualquier sistema que utilice el estándar DVB-T para canales de 6, 7, 8 MHz.
- DVB-RCT no requiere más de 0.5 W RMS de potencia de transmisión desde el terminal de usuario (Set Top Box) hacia la estación base. (ETSI 301 958)

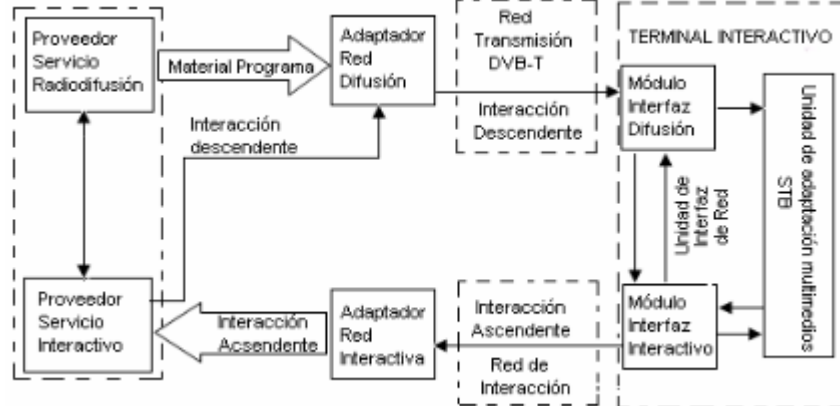
El sistema DVB-RCT define un canal interactivo de bajada, que utiliza tramas de transporte MPEG 2-TS; y un canal de retorno basado en acceso múltiple OFDMA y de transporte ATM en las bandas de 6, 7 y 8 MHz. Este canal puede ser dividido a su vez en bandas de 1MHz entre distintos operadores. En la figura 44 y 45 se puede observar el sistema DVB-RCT que consta de un canal de interacción ascendente de retorno basado en una transmisión inalámbrica VHF/UHF; y de un canal de interacción de bajada hacia el televidente, que está incorporando como flujo de datos en las tramas de transporte MPEG-2 de la red de radiodifusión terrestre basada en el estándar DVB-T. Este además se sincroniza y proporciona información a todos los terminales RCTT, desde la estación base permitiendo a los RCTT acceder de forma sincrónica a la red y luego transmitir información ascendente sincronizada a la estación base

Figura 44. Red DVB-RCT.



ETSI 301 958 (2002)

Figura 45. Diagrama de la red DVB-RCT.



Arcos (2008)

Por otro lado el canal de retorno se divide en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia, para permitir el acceso a múltiples usuarios. La estación de base da cada intervalo de tiempo-frecuencia disponible a un usuario. Con el fin de soportar los picos de demanda de ancho de banda, se asigna múltiples intervalos en la misma portadora y en diferentes portadoras paralelas. DVB-RCT define tres valores de espaciamiento de portadora que son 1, 2 y 4 kHz; Además, el canal DVB-RCT puede dividirse en 1024 ó 2048 portadoras. El sistema DVB-RCT cuenta con las siguientes características: (Arcos Gómez, 2008)

- **Tramas de transmisión:** el sistema DVB-RCT ofrece dos tramas de transmisión, que mejoran el canal de radiofrecuencia. La primera trama TF1 estructura las actividades en el dominio del tiempo, mientras que por otro lado se encuentra la trama TF2 que estructura las actividades en el dominio de la frecuencia.
- **Estructuras en ráfaga:** El terminal del canal de retorno realiza las transmisiones de datos utilizando tres tipos de estructuras de tiempo-frecuencia conocidas como estructuras de ráfaga, que permiten diversos intercambios y compensaciones entre la duración de la ráfaga y la diversidad de frecuencia. Una ráfaga de datos está formada por 144 símbolos modulados en los cuales se insertan 30 o 36 portadoras. Una duración de ráfaga más breve estará más libre de interferencia, pero exigirá la utilización de varias portadoras en paralelo y la distribución de la potencia disponible entre las mismas.
- **Capacidad de velocidad binaria:** se utiliza para transmitir datos, el RCTT modula las portadoras de una estructura de ráfaga utilizando una constelación de QAM-4, QAM-16 o QAM-64. Generalmente el sistema DVB-RCT proporciona una velocidad binaria por portadora entre 0,6 kbps y 15 kbps. Cuando se utilizan todas las portadoras, la estación base es capaz de compilar desde 1 Kbps hasta 38 Kbps de datos de usuario.

7.2 TRANSMISIÓN DE DATOS Y APLICACIONES MHP

Los servicios digitales interactivos están basados en un estándar específico de DVB-T, llamado DVB-MHP, (DVB ETSI TS 102 812), desarrollado para el receptor de televisión digital, que permite desarrollar la televisión interactiva y convertir el receptor de televisión en un terminal multimedia, permitiendo de esta forma implementar servicios digitales interactivos. Multimedia Home Platform esta basada en Java y constituye una interfaz abierta donde se pueden implantar distintas aplicaciones según vayan apareciendo, lo que quiere decir que se puede ampliar la funcionalidad del dispositivo del televidente mediante descargas de programa, que pueden provenir de distintos suministradores (Forem, s.f).

El protocolo llamado DSM-CC (Digital Store Media - Command and Control) es un estándar ISO/IEC publicado en el año de 1998 para facilitar la transmisión de servicios multimedia interactivos de banda ancha. Este protocolo forma parte de la especificación de MPEG-2 y cubre las áreas de sección de red y gestión de recursos, configuración de los clientes, descargas hacia el cliente, gestión de video, aplicaciones y servicios interactivos, datos y carrusel de objetos de usuario a usuario (U-U) para la difusión de las aplicaciones.

El transporte del DSM-CC está basado en secciones MPEG-2; este protocolo se utiliza para transmitir aplicaciones MHP y datos a través de un canal de broadcast. Debido a que los sistemas de broadcast son netamente unidireccionales, el usuario no tiene forma de pedir los datos que quiere al sistema; es por esto que los datos se organizan en carruseles, es decir los ficheros se difunden por el canal de broadcast unos detrás de los otros y así sucesivamente. Esto significa que el cliente puede que tenga que esperar una vuelta entera para poder acceder a un fichero específico a no ser que el fichero se repita varias veces en una misma vuelta. El tiempo de acceso más largo a un fichero se define por el ancho de banda del carrusel y el tamaño de los datos del carrusel; cabe recalcar que la longitud máxima utilizada para el uso interactivo es de 4096 bytes para cualquier tipo de sección utilizada en el carrusel de objetos, con lo que 12 bytes corresponden a la cabecera, mientras que 4084 bytes corresponden a la carga útil de la sección de carrusel de objetos (iLAB, 2008).

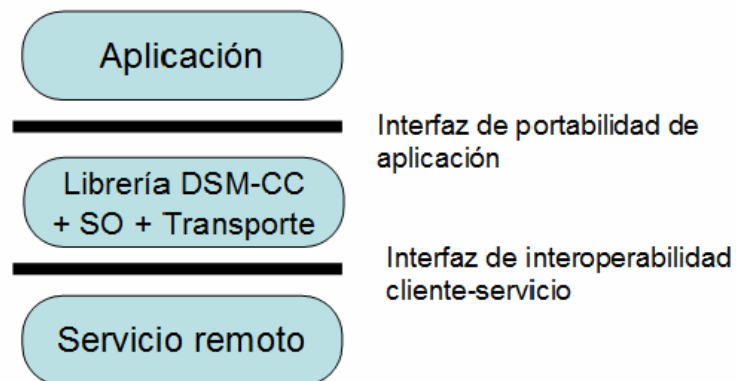
Algunas de las funciones que soporta el DSM-CC son la descarga de datos, el acceso a ficheros remotos y el control de los streams de audio y video. Tanto los streams DSM-CC como el resto de datos se originan en un servidor y se entregan a un cliente; este protocolo dirige sesiones, que están asociadas a colecciones de recursos requeridos para entregar un servicio. SRM (Session and Resource Manager) es una entidad lógica definida por DSM-CC que proporciona una dirección centralizada de sus sesiones y recursos. DSM-CC, también referencia la combinación de la red subyacente y el SMR como la red, la señal DSM-CC entre

el cliente y el servidor con SMR es llamada señalización (U-N) que hace referencia a User to Network (Cobo Jiménez, 2009).

Existen tres partes relevantes para la especificación de DSM-CC que hace referencia al uso de servicios interactivos como lo son (U-U), que hace referencia a User to User, la DSM-CC download y la de (U-N) que hace referencia a User to Network.

- DSM-CC (U-U) permite una amplia gama de aplicaciones multimedia para ejecutar MPEG utilizando el sistema MPEG2; permite accesos a objetos como streams o archivos. Este protocolo define dos interfaces. La primera es la interfaz de portabilidad de aplicación (Application Portability Interface) y la segunda que es la interfaz de interoperabilidad de Cliente - Servicio (Client - Service Interoperability) como se muestra en la figura 46.

Figura 46. Interfaces de aplicaciones y servicios.



Cobo (2009)

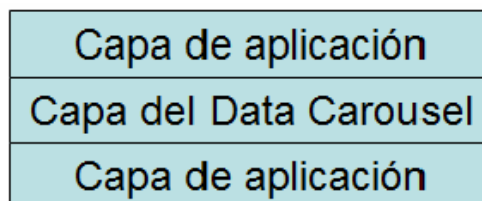
La interfaz de de portabilidad de aplicación se aplica en los servicios de acceso local, es decir los que no cuentan con canal de retorno, como los servicios interactivos basados en un único sentido y los bidireccionales. En el primer caso los datos se emiten repetidamente utilizando el User to User Object Carrusel. En el caso actual los datos son entregados bajo demanda utilizando la interfaz de interoperabilidad cliente servicio; la aplicación (U-U) proporciona a los televidentes un mecanismo estandarizado acceso de multimedia. Para las redes interactivas, la aplicación (U-U) esta unida a la interfaz cliente - servicio para los propósitos interactivos.

- DSM-CC Download hace referencia a un mecanismo rápido de descarga de datos desde el servidor interactivo hacia los clientes. Una operación de descarga completa transfiere una imagen al usuario, la cual es subdividida en uno o más módulos; la imagen como tal y cada modulo esta dividido en

bloques. Este protocolo puede ser usado para implementar data carrusel. El data carrusel expresa la transmisión periódica de información del servidor hacia los televidentes.

El mecanismo Data Carrusel es parte de una pila de tres capas como se expresa en la figura 47, la cual es necesaria para construir carruseles de aplicaciones reales.

Figura 47. Capas de aplicaciones de Carrusel.



Cobo (2009)

En la figura 47 se puede observar como la capa de Data Carousel reside la capa de aplicación, la cual especifica el contenido que se transporta en los módulos; por otro lado la capa de transporte reside bajo la capa de Data Carousel que especifica como los módulos son transportados.

- DSM-CC (U-N) cumple con dos partes, la primera de sesión y la segunda de recursos. Esta se utiliza en la comunicación entre el cliente y el SMR y entre la comunicación entre el servidor y el SMR. El protocolo Usuario - Red de sesión establece sesiones de red con los recursos que utilicen protocolos Usuario - Red de recursos (Cobo Jiménez, 2009).

7.2.1 Data Carousel

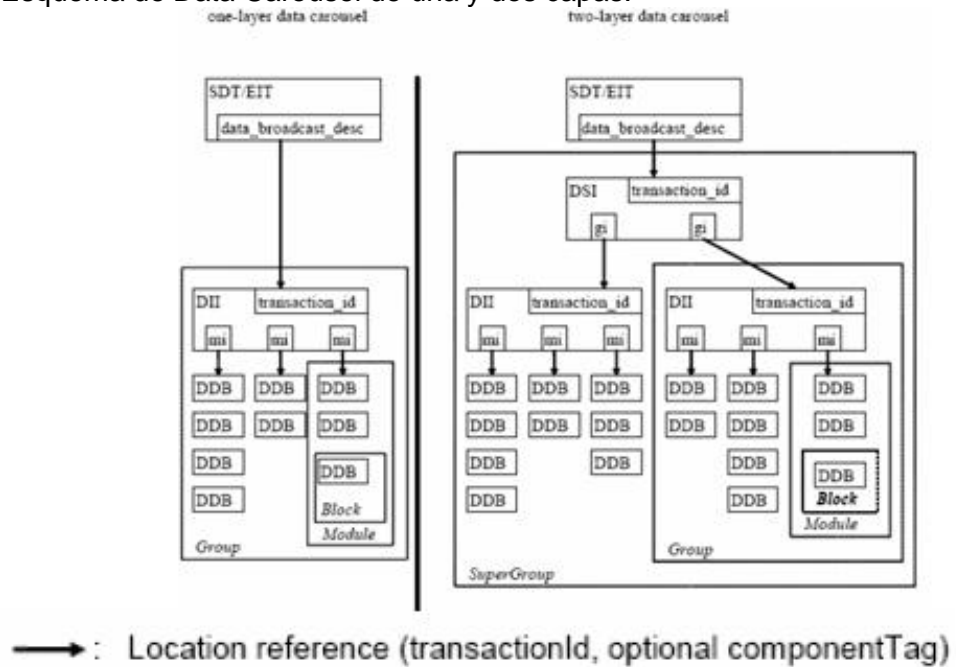
Los datos de carrusel hacen referencia al sistema de transporte de datos de DSM-CC de carácter cíclico, las especificaciones de Data Carousel de Digital Video Broadcasting están basadas en las especificaciones de Data Carousel de DSM-CC. Esto hace referencia a la transmisión de datos cíclicos que son organizados dentro de un carrusel de módulos que a su vez se dividen en bloques. Estos bloques tienen el mismo tamaño excepto el ultimo de cada modulo, que puede ser menor que los demás. Los módulos se organizan de forma lógica en grupos si así lo requiere un servicio.

Las especificaciones del Data Carousel vienen dadas por 4 mensajes de las especificaciones de descarga de DSM-CC. Los datos son portados en los mensajes DownloadDataBlock, mientras que el control de los módulos va a cargo del DownloadInfoIndication. El mensaje DownloadServerInitiate describe los

grupos dentro de un subgrupo mientras que el mensaje DownloadInfoIndication describe los mensajes en un grupo. El Data Carousel de DVB puede tener una o dos capas como se puede visualizar en la figura 48. El decodificador debe ser capaz de trabajar con ambos tipos de carruseles. El proveedor de servicios puede elegir que tipo de carrusel utilizar.

Data Carousel es un mecanismo de transporte que le permite al servidor presentar una serie de distintos módulos de datos al decodificador mediante una repetición cíclica de contenidos. Cuando un decodificador desee acceder a un modulo de Data Carousel, tendrá que esperar que los datos sean de nuevo emitidos; cabe recalcar que el tiempo máximo de espera de los datos solicitados puede ser deducido a través del tamaño del carrusel y del bit rate de los datos que sean emitidos.

Figura 48. Esquema de Data Carousel de una y dos capas.



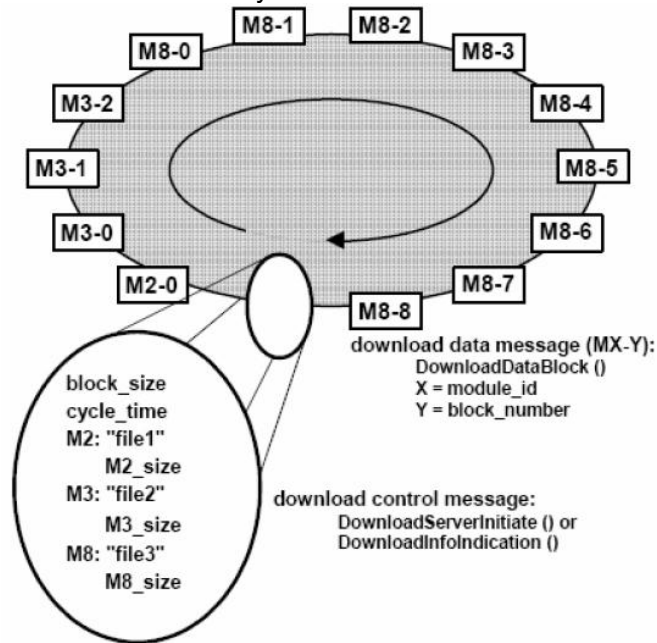
- DDB: DownloadDataBlock
- DII: DownloadInfoIndication
- DSI: DownloadServerInitiate
- gi: GroupInfoBytes
- mi: ModuleInfoBytes

Cobo (2009)

Por otro lado, como se ilustra en la figura 49, los datos del Data Carousel están estructurados en módulos. Cada modulo esta dividido para formar la carga útil de uno o mas mensajes de descarga definidos por la DSM-CC DownloadDataBlock.

El numero de mensajes depende del tamaño que tenga el modulo y de la máxima carga útil posible en un mensaje de descarga. La información que describe cada modulo y cualquier agrupación lógica es dada por el control de mensajes de descarga (download control, messages), definido mediante DSM-CC DownloadServerInitiate o DownloadInfoIndication (Cobo Jiménez, 2009).

Figura 49. Esquema del Data Carousel y sus Módulos.



Cobo (2009)

7.2.2 Object Carousel

Hace referencia a una ampliación de Data Carousel y añade los conceptos de fichero, directorio y stream proporcionando una funcionalidad similar a la de un sistema de ficheros estándar. Los objetos carrusel son transportados como mensajes dentro del Data Carousel de DSM-CC.

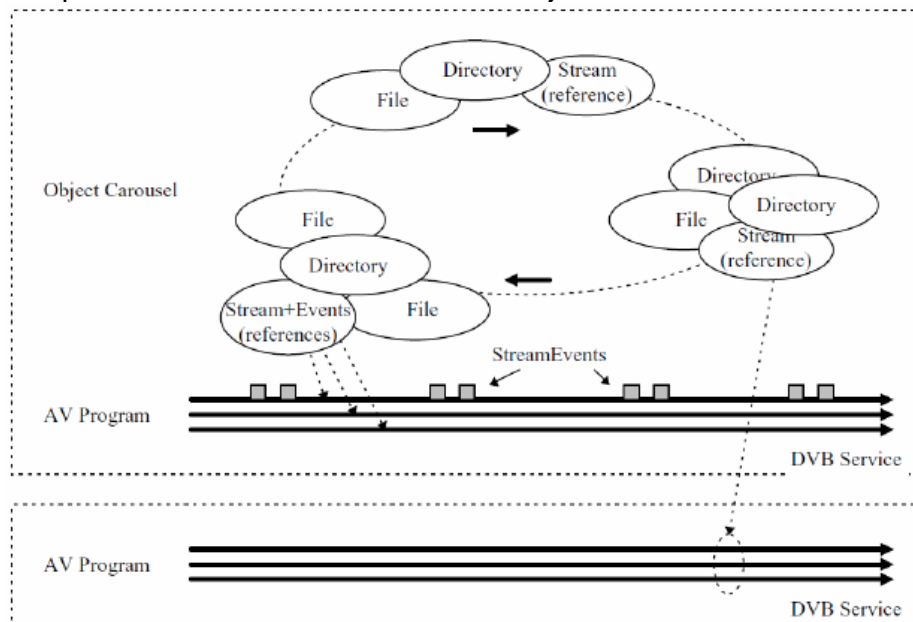
Un Object Carousel de DSM-CC consiste en 3 capas. La capas superior es llamada capa de Object Carousel, en donde los objetos DSM-CC (U-U) son visibles; estos objetos se transportan en los módulos, que a su vez representan la capa que esta en el medio, o la capa de Dato Carousel; en donde los módulos solo son conectores de datos. Los módulos son radiodifundidos como secuencias de DownloadDataBlocks. Estos últimos son los que conforman la capa inferior.

Los tipos de mensaje que se pueden portar en un Object Carousel son los siguientes:

- DSM File: representa ficheros.
- DSM Directory: representa contenedores lógicos para una serie de ficheros/mensajes referenciados a un directorio.
- DSM Stream: referencia a un stream MPEG-2; a un solo programa, o a uno o más elementary streams.
- DSM ServiceGateway: identifica la raíz del directorio del Object Carousel, por lo que solo puede haber uno en cada Object Carousel.
- BIOP StreamEvent: detalla una serie de puntos de sincronización (stream events) en el stream (Cobo Jiménez, 2009).

En la figura 50, se puede observar claramente como son referenciados los Object Carousel en un programa de Digital Video Broadcasting.

Figura 50. Esquema de como se referencian los Object Carousel en DVB.



Code4tv (s.f)

Los objetos del carrusel ofrecen a los clientes una manera de acceder a las aplicaciones y contenidos usados para las aplicaciones, más o menos como si hubiera una conexión interactiva con el servidor. Las aplicaciones interactivas son enviadas en mensajes Object Carousel DSM-CC User-to- Network (Cobo Jiménez, 2009).

7.2.3 Canal de Interactividad

Para que exista interactividad un usuario puede realizar sus peticiones personalizadas por medio de su receptor o STB, ya que soportan comunicaciones basadas en TCP/IP permitiendo de esta manera realizar comunicaciones con servidores interactivos externos, enviando información a cada uno de estos servidores. Cabe recalcar que para que exista una comunicación bidireccional el usuario o televidente es quien siempre va a iniciar la comunicación con el servidor que se encuentre en el exterior.

Como lo menciona Alberto Jiménez, en su documento, Nuevas Aplicaciones y servicios en TDT el requerimiento básico del canal de interactividad o canal de retorno, es que el usuario sea capaz de responder de alguna forma a los servicios interactivos. Dicha respuesta puede ser un voto para una encuesta o un mensaje para un foro en directo; el tamaño de los paquetes de petición, tiene un máximo de 220 bytes. Un nivel mayor de interactividad requerirá que un televidente que ha participado en algún contenido, reciba un reconocimiento por medio de un mensaje; este puede ser en caso de que algún usuario tome algún producto por el canal interactivo, ya que el usuario querrá tener un recibo de dicha transacción. Este nivel ya requiere dos direcciones en el canal de interacción: uno, el de radiodifusión (del broadcaster al usuario) y otro, el de interactivo de vuelta (del usuario al broadcaster). Según las investigaciones realizadas, este canal interactivo tiene un ancho de banda de 1MHz, y su velocidad de transmisión es aproximadamente de 38Kbps, a diferencia del canal de broadcast que tiene una velocidad aproximada de 150Kbps; cabe recalcar que estas velocidades de transmisión son teóricas y se tomaron de las distintas especificaciones de la ETSI, ya que no se cuenta con estudios específicos de cómo es su comportamiento, por lo que en la simulación que se realizó se dieron estos valores para caracterizar los canales (en el apartado 7.3.1 se explica con claridad como funciona la interactividad tanto en el canal de broadcast, como en el canal de retorno que es el que se va a analizar).

7.3 NETWORK SIMULATOR 2 (NS-2)

Antes de iniciar hablando como se desarrollo la simulación y cuales fueron los parámetros escogidos para caracterizar el adecuado funcionamiento de la interactividad tanto para el canal de subida como para el canal de bajada, se explicara como funciona el software Network Simulator 2.

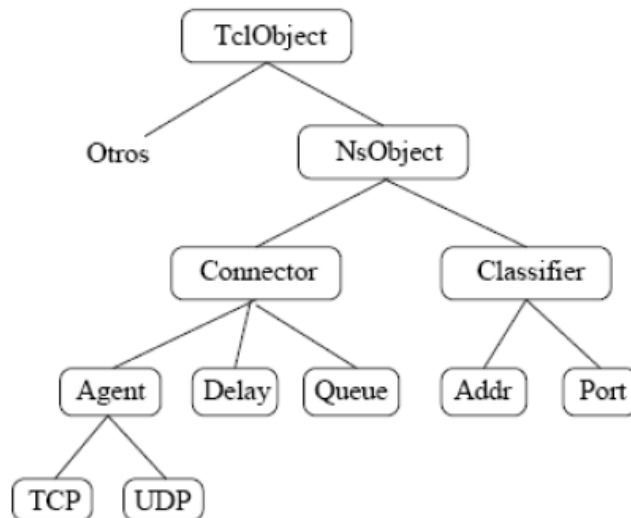
Network Simulator 2 es un simulador de eventos discretos orientado a redes de comunicaciones. Este simulador fue creado en el año de 1989 como REAL Network Simulator; en el año 1995 fue apoyado por el proyecto VINT (Virtual Internetwork Testbed) que tenía como primer objetivo la creación de un simulador

para el estudio de la escalabilidad y la interconexión entre protocolos de redes actuales y futuras.

El simulador consta de un núcleo principal escrito en C++ que se puede ejecutar simplemente tecleando ns en la línea de comandos. Para actuar sobre el simulador se utiliza una interfaz específica; esta interfaz es oTcl que es derivada del Tcl, pero que es orientada a objetos. NS-2 cumple con el objetivo de manejar todos los protocolos de simulación manejando bytes y grandes volúmenes de datos en un tiempo corto de ejecución. El lenguaje C++ se encarga de manejar este volumen de datos de forma rápida a la hora de realizar simulaciones de protocolos de comunicación.

Cuando se quiere separar la parte de datos de la parte de configuración, el NS-2 utiliza un mecanismo que concede el control de los objetos escritos en C++ a oTcl. Lo que quiere decir que se pueden escribir scripts de simulación de una red sin tener que escribir nada en C++. Esto cambia cuando se quiere implementar cualquier clase o protocolo que estuviera previamente introducido en NS-2, de tal manera que se deberá escribir en C++ y posteriormente compilar el programa para que la modificación quede establecida. En la figura 51 se muestra la jerarquía parcial de las clases de NS-2 (Roldán, 2007).

Figura 51. Jerarquía parcial de las clases NS-2.



Roldán (2007)

Desde el punto de vista de los usuarios el simulador NS-2 interpreta los scripts escritos en oTcl, el cual cuenta con un planificador de eventos de simulación, librerías de objetos de componentes de red y librerías de módulos de instalación de red como se muestra en la figura 52.

Figura 52. Estructura de NS-2.



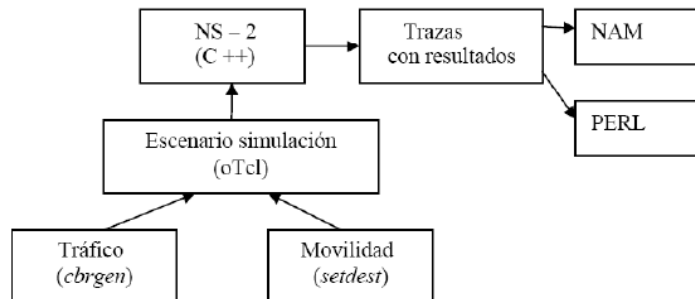
Roldán (2007)

Para la implementación de un protocolo en NS-2 se deben seguir los siguientes pasos:

- Implementación del protocolo que se desee analizar mediante código en lenguaje C++ en el caso que no esté previamente en NS-2.
- Descripción de la simulación en oTcl. En este punto se debe describir todas las especificaciones del escenario que se desea simular.
- Ejecución de la simulación. En esta parte se ejecuta el fichero donde previamente se han guardado las trazas de la simulación. La ejecución se realiza mediante el comando "ns" seguido del nombre que se le asigna.
- Análisis de los resultados. El NS- 2 incluye una herramienta con la que se pueden visualizar las simulaciones, denominada NAM. Con esta herramienta se pueden visualizar desde la carga de tráfico entre dispositivos hasta la pérdida de paquetes como también movilidad de terminales.

Los pasos de la implementación de NS-2, se pueden observar en la figura 53.

Figura 53. Esquema de módulos de NS-2.

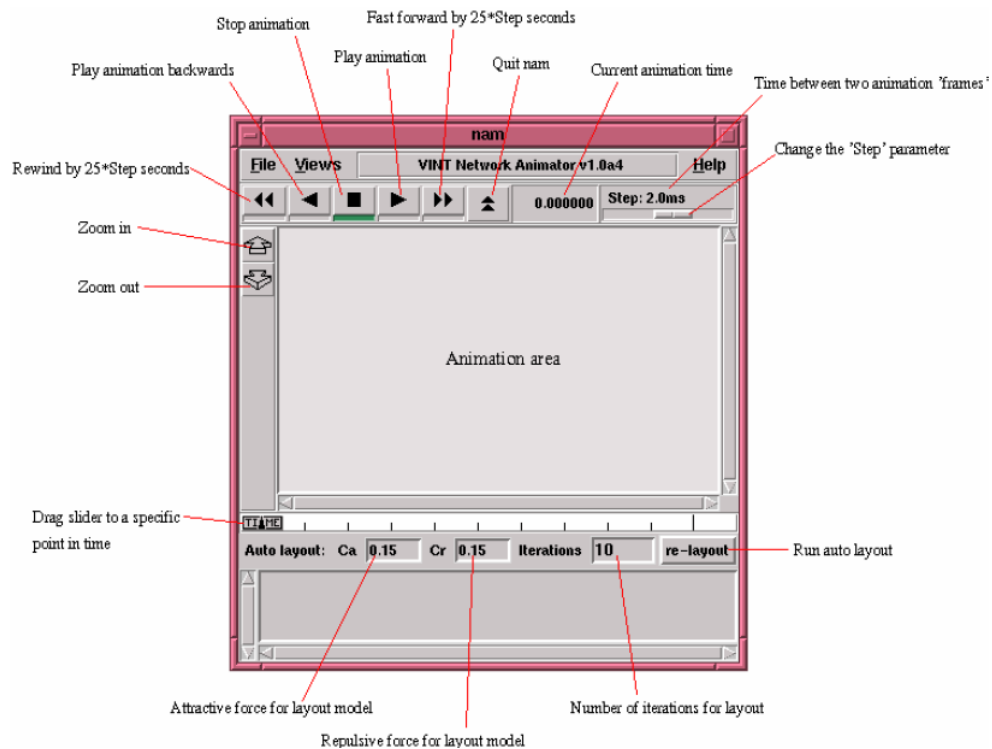


Roldán (2007)

Las principal ventaja con la que cuenta NS-2, es que es un software muy versátil debido a que abarca una gran variedad de aplicaciones, como lo son las diferentes topologías de red tanto cableadas como inalámbricas, protocolos de ruteo y protocolos de transporte. Algunos de estos protocolos son http, TcpApp, telnet, CBR (Constant Bit Rate), TCP, RTP, algoritmos de ruteo, enrutamiento jerárquico y enrutamiento manual. También es una herramienta muy conocida en el ámbito académico ya que es un software con licencia de distribución libre; Por otro lado es un sistema multiplataforma, lo que quiere decir que puede ser ejecutado en diferentes sistemas operativos como Windows o Unix (Free BSD, Ubuntu y SUSE). Otra ventaja importante con la que cuenta NS-2 es que tiene una herramienta de animación gráfica para que se facilite el aprendizaje y el entendimiento de las diferentes redes que se implementen.

NAM, es una herramienta de simulación basada en el lenguaje Tcl/Tk encargada de mostrar de forma gráfica las simulaciones obtenidas mediante los ficheros de trazas de salida del simulador NS-2. Una vez que se ejecute el fichero con la información de las trazas, la herramienta NAM mostrara en una ventana la topología de red indicada en la simulación; A continuación en la figura 54 se muestra el aspecto general de la herramienta NAM (Roldán, 2007).

Figura 54. Ventana de simulación de la herramienta NAM.



Roldán (2007)

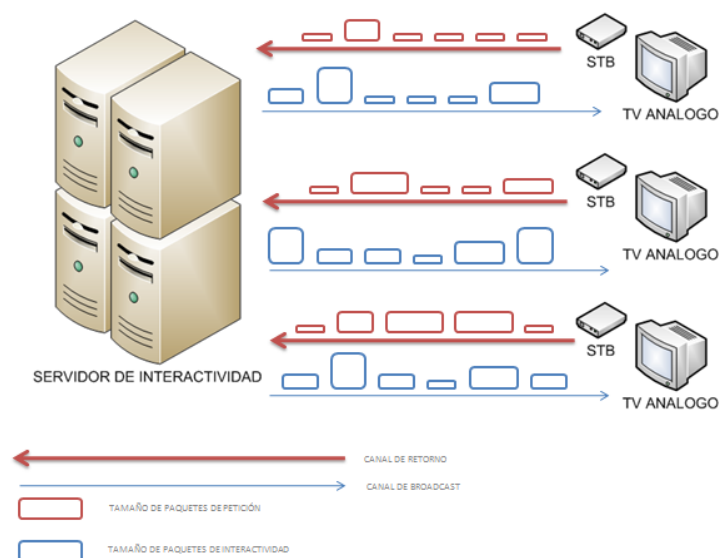
Las principales funciones con las que cumple la herramienta NAM son las que se mencionan a continuación:

- Animation Area: es donde se visualiza la topología de la red que se implementa.
- Zoom In /Zoom Out: sirven para aumentar o disminuir el área de simulación.
- Stop/Play Animation: sirven para poner en marcha o parar la simulación.
- Current Animation Time: es el tiempo que ha transcurrido desde que se pone en marcha la simulación. El tiempo máximo será el que se especifique en el código de la simulación.
- Step: indica la velocidad con la que transcurre la simulación. Este valor esta en milisegundos y se puede variar mediante el slider que hay debajo del tiempo.

7.3.1 Implementación de la simulación en NS-2

Para la implementación de la simulación que se realizo en el simulador NS-2, primero fue necesario tener claros los factores que debían integrarse en la misma. Lo primero que se hizo, fue analizar el comportamiento de cómo se realiza una petición interactiva hacia un servidor de televisión digital; en la figura 55 se puede observar como se realiza cualquier petición hacia el servidor.

Figura 55. Peticiones y Respuestas en TDT.



En la figura 55 se presenta de una forma clara, como funciona la interactividad bidireccional en la televisión digital terrestre. En donde el usuario, o televidente por medio de un televisor análogo convencional que esta conectado a un set top box, envía sus peticiones por un canal de retorno, en este caso el (DVB-RCT). Por otro lado este servidor contesta a las peticiones que se le estén mandando por un canal de bajada, o bien conocido por el canal de broadcast. Cabe recalcar, como se muestra en la figura anterior, que el tamaño de los paquetes es distinto, lo que quiere decir que varía según sea su petición o según sea el tipo de interactividad, factor que es de gran importancia, al momento de simular los canales.

7.3.2 Desarrollo de la simulación en NS-2

Como se menciona anteriormente el tamaño de los paquetes varia según sea el tipo de solicitud que se este pidiendo, o bien sea por el contenido que se le envíe a un televidente, punto clave para determinar el tráfico utilizado en la simulación realizada; en este caso fue necesario utilizar el tipo de tráfico exponencial, ya que según las investigaciones realizadas tiene un comportamiento que permite generar variables aleatorias con un comportamiento On-Off. A continuación se explicará paso a paso como se implemento el sistema.

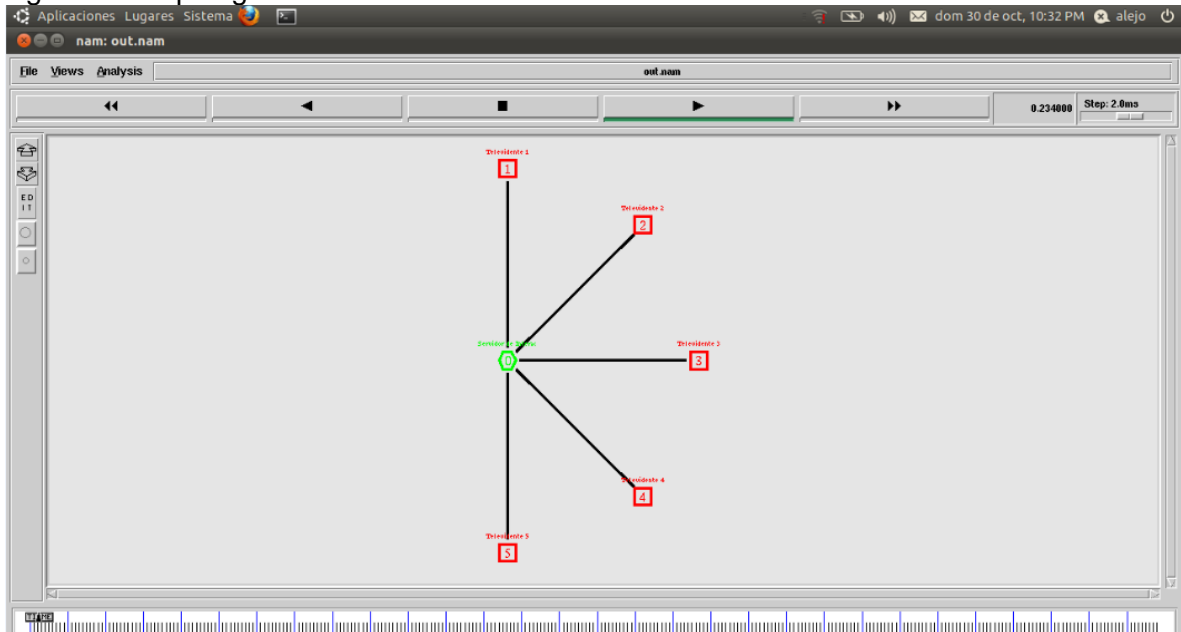
- Lo primero que se hizo para el desarrollo de la simulación fue crear el escenario de la misma, en esta primera parte se crearon los 6 nodos necesarios que van de n0 al n5, donde el nodo 0 es quien recibe todas las peticiones, es decir es el servidor interactivo de la central de televisión y los nodos 1, 2, 3, 4 y 5 hacen referencia a los usuarios que envían sus peticiones y reciben la información. La elección de que fueran 6 nodos los que caracterizaran el comportamiento en la simulación, se debe a que a mayor cantidad de usuarios, mejor será el comportamiento y rendimiento a la hora de analizar el tráfico sobre la red de televisión; se escogieron 6 nodos, ya que con estos se puede mirar el comportamiento de una forma general.

Luego de tener los nodos creados, se definió el ancho de banda tanto del canal de subida, como el del canal de retorno. Parte importante en la caracterización de la simulación, ya que el ancho de banda de los 2 canales es distinto; de esta forma fue necesario crear 2 tipos de enlaces simplex. El primero que fuera desde la central hacia los televidentes con un ancho de banda de 6MHz y el segundo que fuera desde los televidentes hacia la central con un ancho de banda de 1MHz características que tienen tanto el canal de broadcast, como el canal de retorno.

Por otro lado fue necesario diseñar la ubicación y color y nombre de los nodos, para efectos entendibles en la simulación realizada, en este caso se decidió por que el nodo 0, que es el servidor; fuera de forma hexagonal con un color

verde y los nodos restantes 1, 2, 3, 4 y 5 fueran cuadrados en un color rojo. En la figura 56 se ilustra la topología en NS-2 de la simulación.

Figura 56. Topología de la simulación en NS-2.



- Luego de tener definido el panorama de la simulación, se agrego el tipo de tráfico Exponencial, este tipo de tráfico en NS-2 permite variar parámetros, para hacer que el tamaño de los paquetes sea variable. NS-2 cuenta con una clase llamada EXPOO_Traffic, siendo esta una generadora de tráfico constante CBR con un comportamiento tipo ON/OFF, para caracterizar el comportamiento de la interactividad en la televisión digital, fue necesario modificar ciertos parámetros de esta clase, para cambiar el comportamiento de CBR a VBR y se comportara como una rata de bit variable.

El primer comportamiento que se vario fue el de packetSize_ que hace referencia al tamaño de paquetes enviados en bytes, en este caso fue necesario variar el tamaño de los paquetes tanto del servidor, como el de los usuarios, ya que según la información teórica, el tamaño de una petición de un televidente varia entre los 40 a 220 bytes; y el contenido interactivo, tiene un máximo de 4096 bytes. En las figuras 57, 58, 59 y 60 se puede observar el seguimiento que se le hizo a los paquetes, para ratificar que el tipo de tráfico sea exponencial y el comportamiento de los paquetes sea variable.

El segundo comportamiento que fue necesario variar, para caracterizar aun mas los canales tanto de subida, como de bajada, fue el de rate_ que hace

referencia a la tasa de transmisión durante el envío en bps. En este caso también fue necesario especificar la velocidad de transmisión para cada canal. En el caso del canal de broadcast se investigo que el valor aproximado de la velocidad de transmisión es de 150Kbps a diferencia de la investigación de la velocidad del canal de retorno que es de aproximadamente 38Kbps.

Figura 57. Seguimiento de paquetes desde el servidor hacia el usuario.

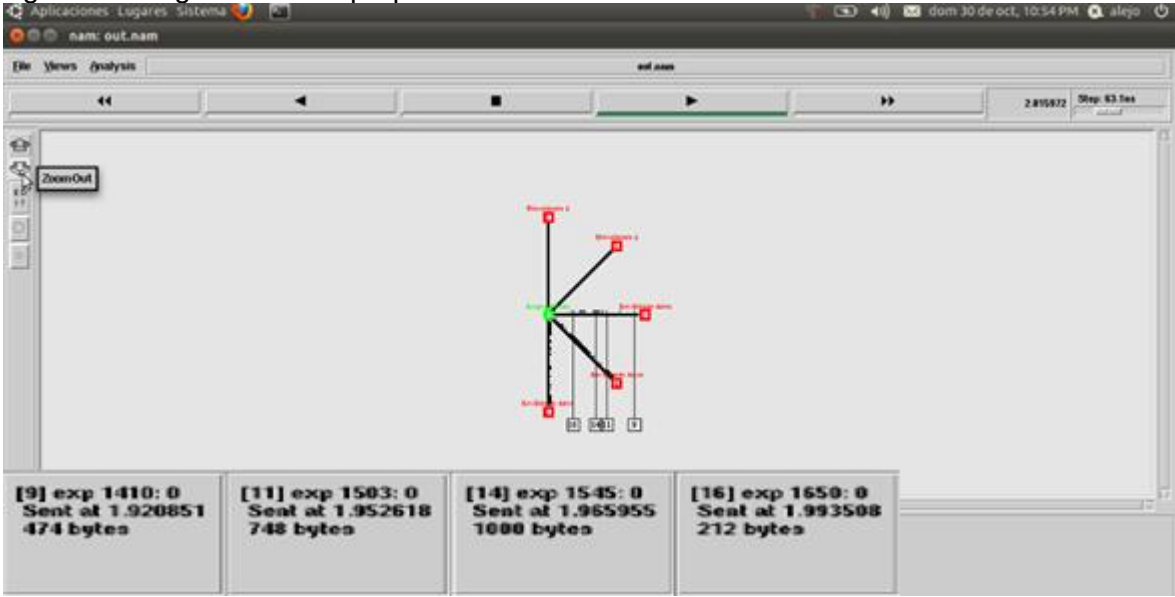


Figura 58. Zoom del seguimiento desde el servidor hacia el usuario.



En la figura 57 y 58, se puede observar el tamaño de algunos paquetes que van desde el servidor interactivo, hacia el televidente; en la parte inferior de la figura se aprecia el seguimiento que se le hace a cada uno de los mismos, y de que tamaño es cada uno de estos.

Figura 59. Seguimiento de paquetes desde el usuario hacia el servidor.

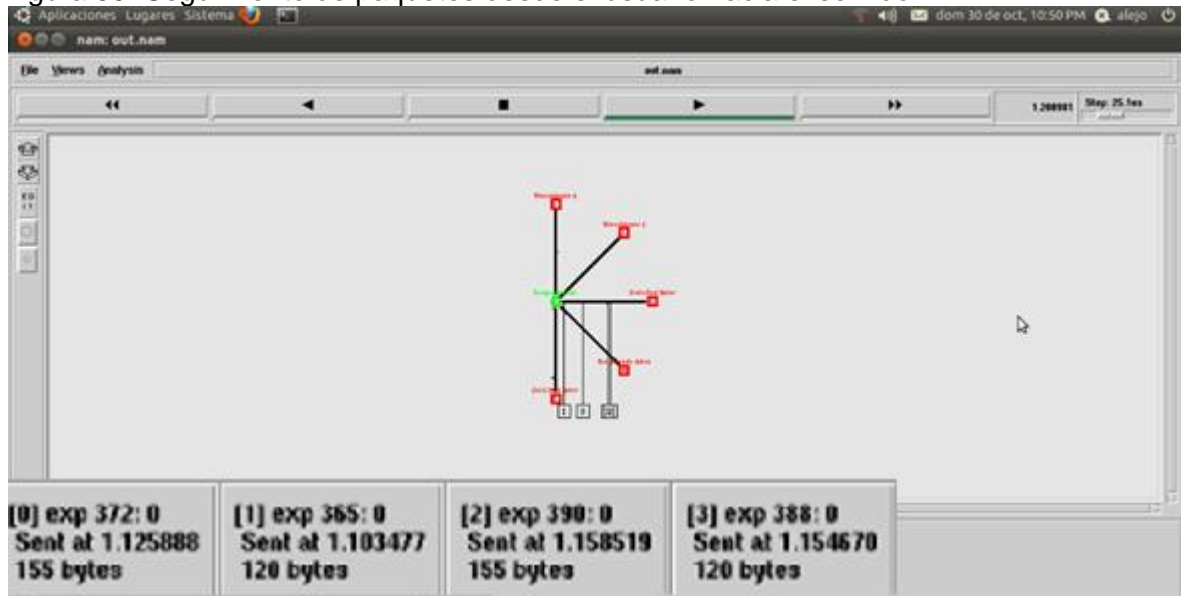
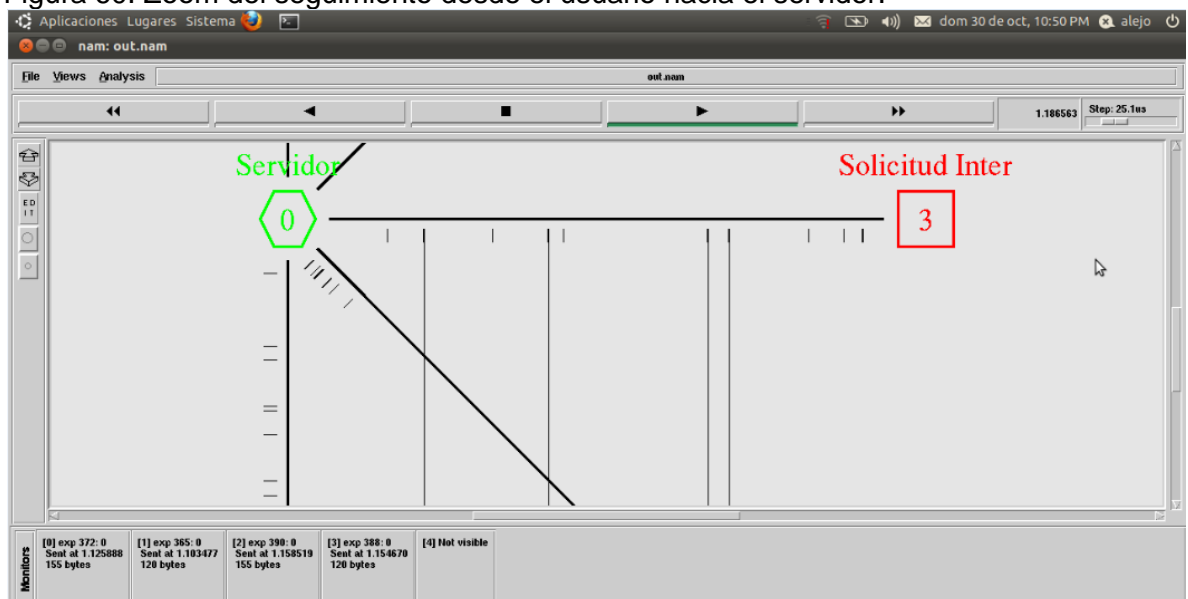


Figura 60. Zoom del seguimiento desde el usuario hacia el servidor.



En la figura 59 y 60, se puede observar el tamaño de algunos paquetes que van desde el televidente, hacia el servidor interactivo; en la parte inferior de la figura se

aprecia el seguimiento que se le hace a cada uno de los mismos, y de que tamaño es cada uno de estos. Cabe recalcar que el tamaño de los paquetes de las peticiones es más pequeño que los tamaños de los paquetes que tiene la interactividad.

- Por ultimo se generaron eventos de tiempos distintos, para la creación propia de la interactividad, en donde se le dieron ciertos tiempos a las peticiones de los televidentes, y tiempos distintos a las respuestas de esas peticiones desde el servidor. Esto se realizó para caracterizar de una forma más real como es el comportamiento de la interactividad, en donde cada usuario hace sus peticiones en momentos distintos.

En la figura 61, se presenta un diagrama de bloques en donde se observan los parámetros necesarios para la realización de la simulación.

Figura 61. Diagrama de Bloques para la implementación de la simulación.



El código debidamente documentado, se encuentra en la parte de anexos, con una extensión .tcl; cabe recalcar que la simulación se realizó en un periodo de 56

segundos. Para el análisis se obtuvieron las trazas que fueron el resultado de la simulación en NS-2.

7.3.3 Análisis de las Trazas

Para analizar el comportamiento de la simulación realizada fue necesario obtener las trazas características de la misma. Después de que finaliza la simulación, NS-2 crea dos tipos de archivos con extensiones distintas; uno llamado out.nam y otro llamado out.tr.

Este tipo de archivos contienen los datos característicos de la simulación, como lo son el tamaño de los paquetes, tiempos entre llegadas de los paquetes, información de los nodos y el tipo de tráfico que se utilizó. En la figura 62, se muestra la estructura del archivo de la traza tr generado por el simulador.

Figura 62. Estructura de fichero de traza.

evento	tiempo	de nodo	a nodo	Tipo paquete	Tamaño paquete	flags	fid	Dirección fuente	Dirección destino	N° secuencia	Id paquete
--------	--------	---------	--------	--------------	----------------	-------	-----	------------------	-------------------	--------------	------------

Corbacho (2010)

La traza resultante de la simulación, es visualizada en un formato de texto; en la figura 63 se visualiza una muestra de la traza obtenida.

Figura 63. Segmento de traza obtenida de la simulación realizada.

```

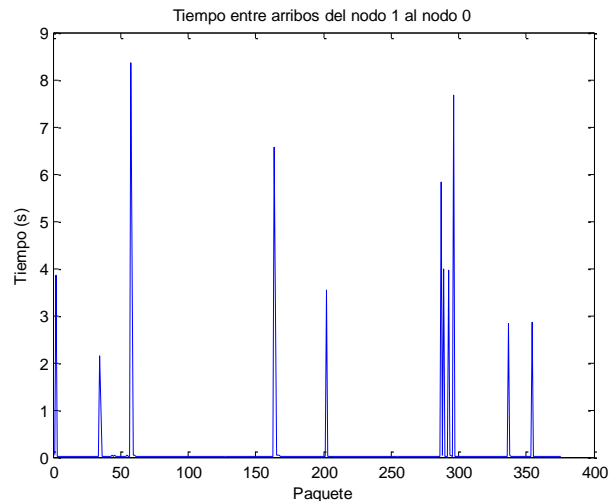
t 0.510991 0 1 exp 362 ----- 0 0.251 1.0 0 0
- 0.510991 0 1 exp 362 ----- 0 0.251 1.0 0 0
+ 0.530297 0 1 exp 362 ----- 0 0.251 1.0 1 1
- 0.530297 0 1 exp 362 ----- 0 0.251 1.0 1 1
+ 0.549604 0 1 exp 362 ----- 0 0.251 1.0 2 2
- 0.549604 0 1 exp 362 ----- 0 0.251 1.0 2 2
+ 0.568911 0 1 exp 362 ----- 0 0.251 1.0 3 3
- 0.568911 0 1 exp 362 ----- 0 0.251 1.0 3 3
+ 0.571577 4 0 exp 82 ----- 0 4.100 0.0 0 4
- 0.571577 4 0 exp 82 ----- 0 4.100 0.0 0 4
+ 0.588217 0 1 exp 362 ----- 0 0.251 1.0 4 5
- 0.588217 0 1 exp 362 ----- 0 0.251 1.0 4 5
+ 0.58884 4 0 exp 82 ----- 0 4.100 0.0 1 6
- 0.58884 4 0 exp 82 ----- 0 4.100 0.0 1 6
+ 0.605346 4 0 exp 101 ----- 0 4.95 0.0 0 7
- 0.605346 4 0 exp 101 ----- 0 4.95 0.0 0 7
+ 0.606103 4 0 exp 82 ----- 0 4.100 0.0 2 8
- 0.606154 4 0 exp 82 ----- 0 4.100 0.0 2 8
+ 0.607524 0 1 exp 362 ----- 0 0.251 1.0 5 9
- 0.607524 0 1 exp 362 ----- 0 0.251 1.0 5 9
r 0.611473 0 1 exp 362 ----- 0 0.251 1.0 0 0
+ 0.621185 0 1 exp 1000 ----- 0 0.321 1.0 0 10

```

En la figura 63, se puede observar la estructura del fichero de la traza que se representa en la figura 62.

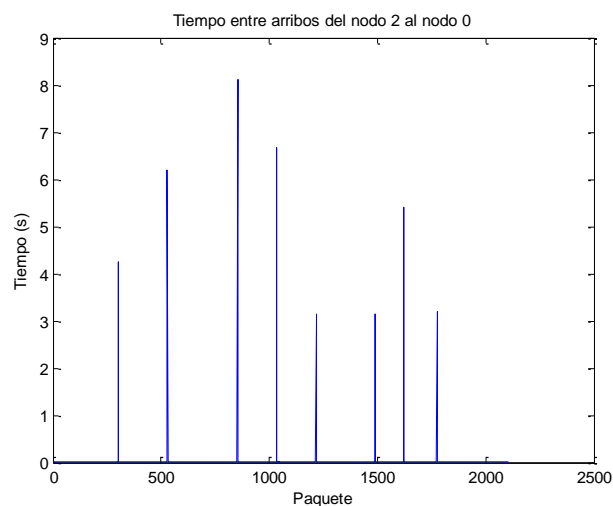
Para realizar el análisis de las trazas, se hizo uso de la herramienta MATLAB. Lo primero que se realizó fue un algoritmo para observar el tiempo entre arribos entre los paquetes generados de cada uno de los nodos 1,2,3,4 y 5 hacia el servidor interactivo que es el nodo 0. En las figuras 64 a 68 se puede observar el comportamiento entre los tiempos de llegadas de los paquetes de los televidentes hacia el servidor interactivo.

Figura 64. Tiempo entre arribos del nodo 1 al nodo 0.



La figura 64 hace referencia al tiempo entre arribos del nodo 1 al nodo 0. A partir de las trazas y del análisis en MATLAB se sabe que llegaron 377 paquetes. Los picos que se observan en la figura hacen referencia al tiempo en que el canal de retorno se encuentra inactivo.

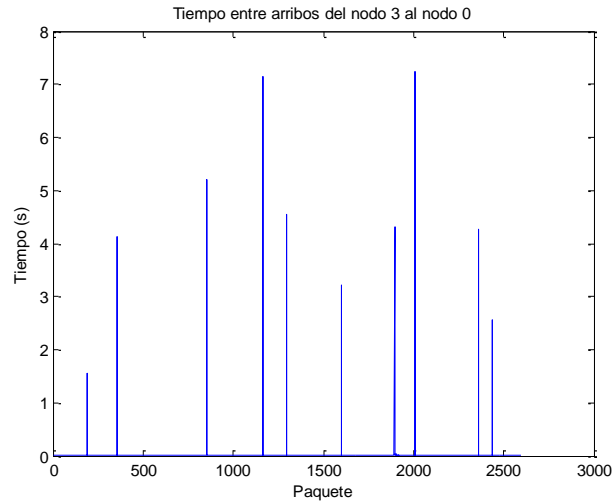
Figura 65. Tiempo entre arribos del nodo 2 al nodo 0.



La figura 65 hace referencia al tiempo de arribos entre los paquetes generados del nodo 2 al nodo 0. A partir de las trazas y el análisis de MATLAB se observó que

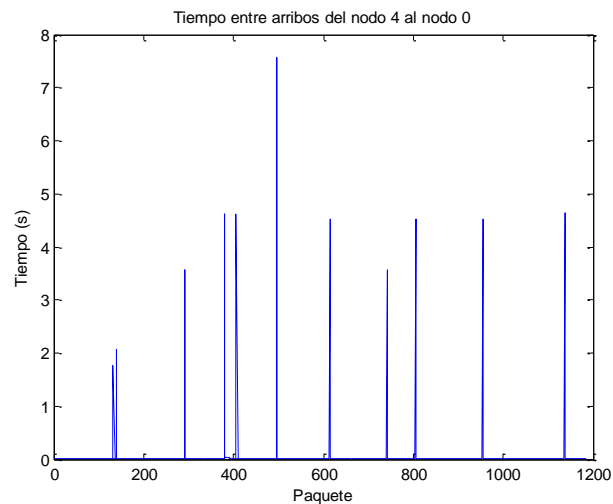
llegaron 2106 paquetes. Los picos que se observan en la figura hacen referencia al tiempo en que el canal de retorno esta inactivo.

Figura 66. Tiempo entre arribos del nodo 3 al nodo 0.



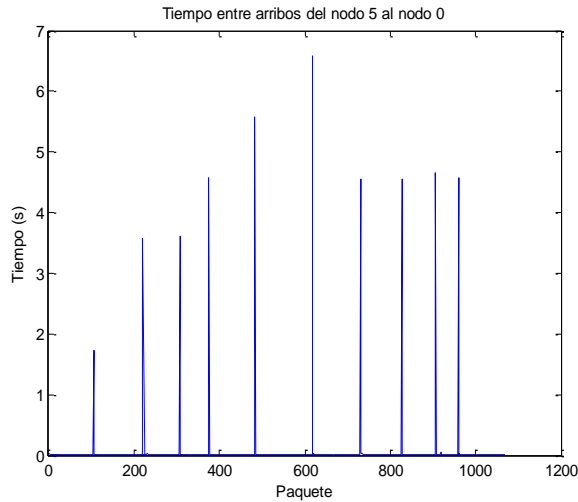
La figura 66 hace referencia al tiempo de arribos entre los paquetes generados del nodo 3 al nodo 0. A partir de las trazas y el análisis de MATLAB se observo que llegaron 2597 paquetes. Los picos que se observan en la figura hacen referencia al tiempo en que el canal de retorno esta inactivo.

Figura 67. Tiempo entre arribos del nodo 4 al nodo 0.



La figura 67 hace referencia al tiempo de arribos entre los paquetes generados del nodo 4 al nodo 0. A partir de las trazas y el análisis de MATLAB se observo que llegaron 1187 paquetes. Los picos que se observan en la figura hacen referencia al tiempo en que el canal de retorno esta inactivo.

Figura 68. Tiempo entre arribos del nodo 5 al nodo 0.



La figura 68 hace referencia al tiempo de arribos entre los paquetes generados del nodo 5 al nodo 0. A partir de las trazas y el análisis de MATLAB se observó que llegaron 1079 paquetes. Los picos que se observan en la figura hacen referencia al tiempo en que el canal de retorno está inactivo.

Después de observar el tiempo entre arribos de cada uno de los nodos de los televidentes hacia el nodo 0 (servidor de interactividad), se procede a crear un algoritmo en MATLAB, para poder determinar el número de ocurrencias de los tiempos que toma cada paquete en llegar a su destino; este algoritmo se realizó para observar el tipo de distribución y el comportamiento gráfico de la simulación que conllevará a obtener el modelo característico del canal de retorno de televisión digital terrestre. En las figuras 69 a 73 se observa la distribución que se obtuvo en cada uno de los nodos de los televidentes.

Figura 69. Número de ocurrencias del nodo 1 al nodo 0.

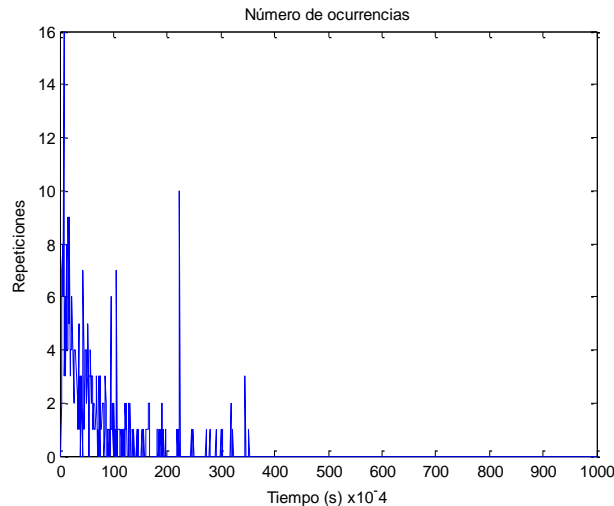


Figura 70. Número de ocurrencias del nodo 2 al nodo 0.

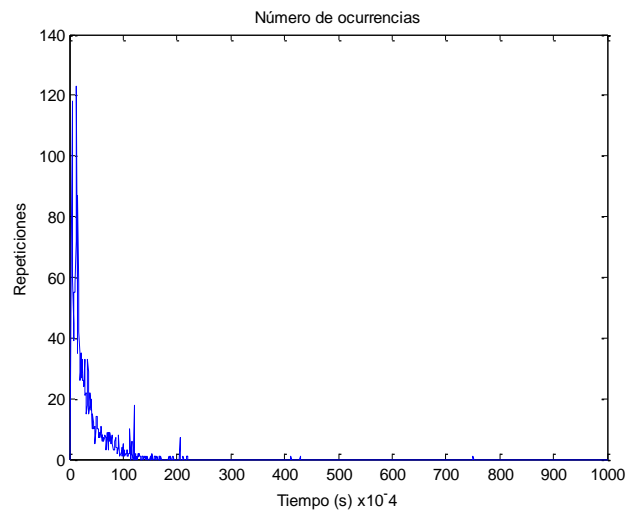


Figura 71. Número de ocurrencias del nodo 3 al nodo 0.

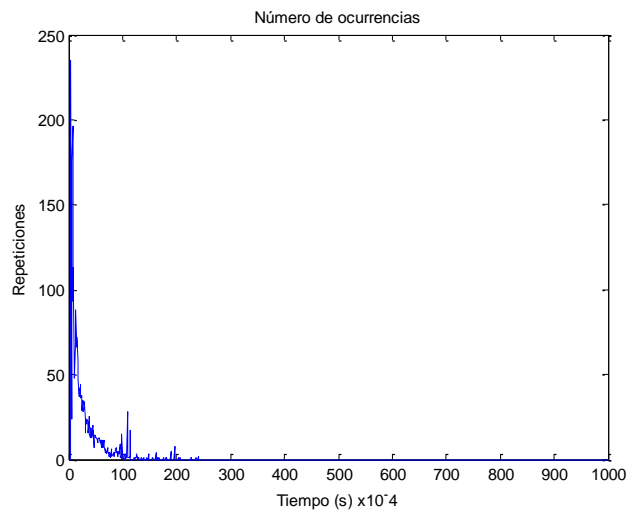


Figura 72. Número de ocurrencias del nodo 4 al nodo 0.

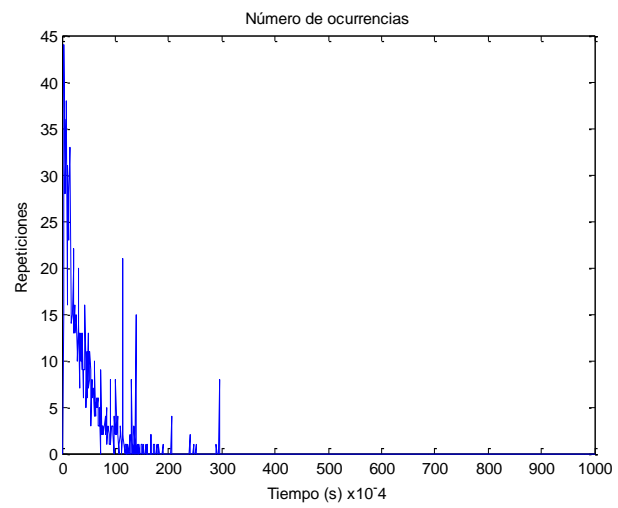
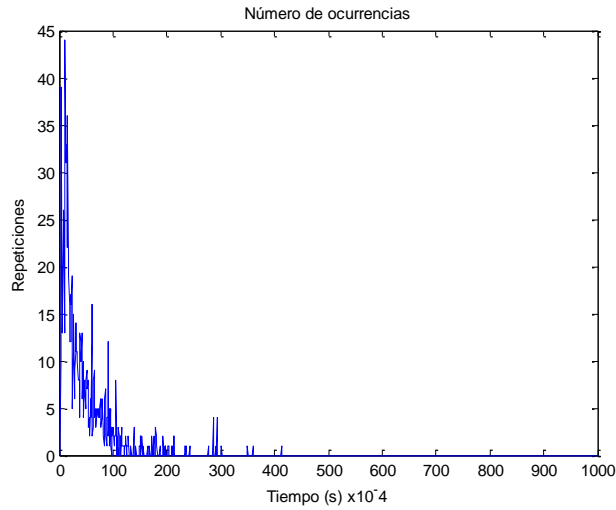


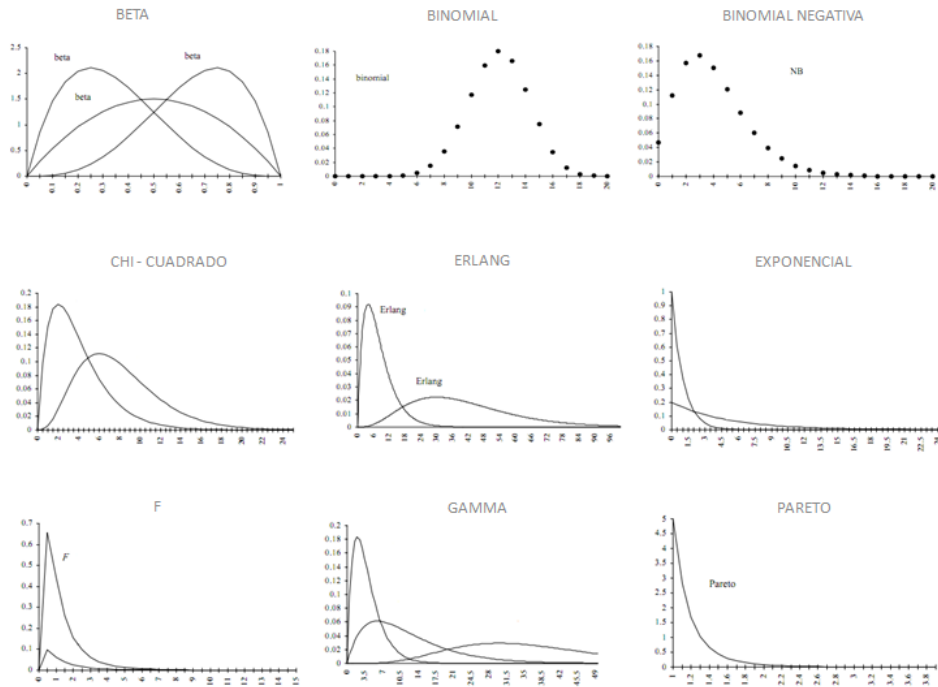
Figura 73. Número de ocurrencias del nodo 5 al nodo 0.



7.3.4 Análisis de la distribución

Para realizar el análisis de la distribución obtenida de la simulación, se realizó una comparación con distintas distribuciones que tienen la característica de generación de variables aleatorias, que se muestran en la figura 74.

Figura 74. Distribuciones a comparar.



Hoeger (s.f)

Al realizar la comparación de las graficas obtenidas con las distintas distribuciones, se puede observar que las formas de las gráficas y el comportamiento de la curva característica de caída después de alcanzar el punto máximo de las distribuciones simuladas son muy similares a la distribución exponencial y a la distribución de pareto. Para corroborar el comportamiento de esta distribución, se prosiguió a realizar un algoritmo en MATLAB con una función "exprnd" y "gprnd" que generara una distribución exponencial y una distribución de pareto con variables aleatorias.

Para caracterizar y comparar las distribuciones simuladas con las distribuciones generadas por MATLAB, se realizaron 10 pruebas y se promediaron para obtener un valor mas acertado del comportamiento de la misma. En la figura 75 y 76 se muestra el tiempo entre arribos que se generó aleatoriamente en MATLAB para cada una de las distribuciones.

Figura 75. Tiempo de arribos generados en MATLAB para la función exp.

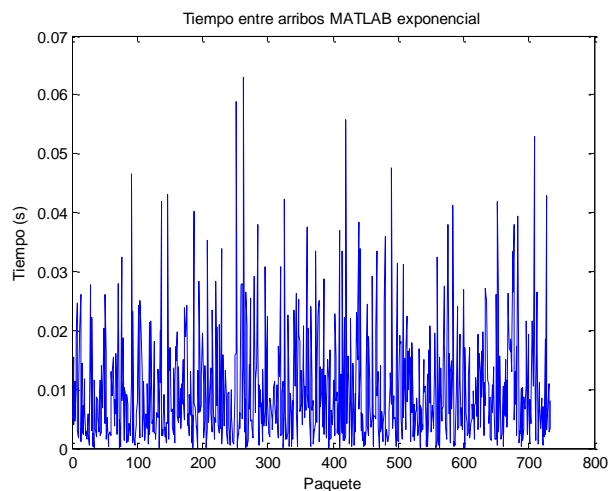
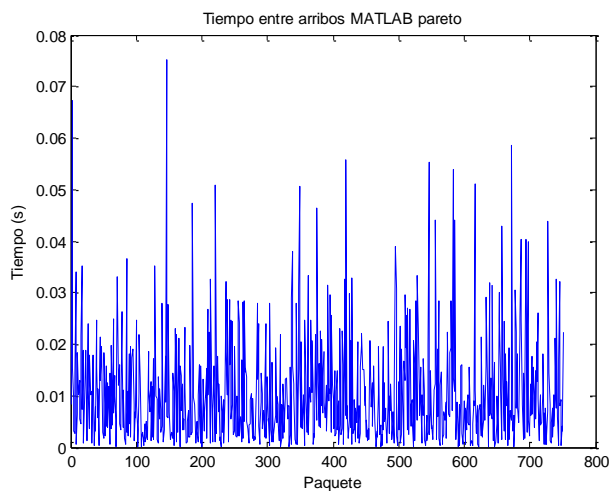


Figura 76. Tiempo de arribos generado en MATLAB para la función gp.



De las diez muestras entre los tiempos de arribos de los paquetes generados por MATLAB, se obtuvo la correlación de cada una de estas. Además de esto se observó el número de repeticiones de paquetes para obtener la distribución exponencial y la distribución de Pareto. En las figuras 77 y 78 se puede observar la distribución exponencial y la distribución de Pareto respectivamente.

Figura 77. Distribución exponencial generada por MATLAB.

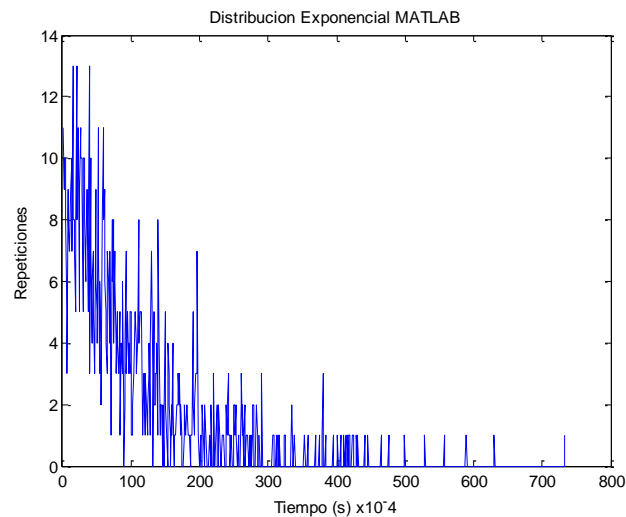
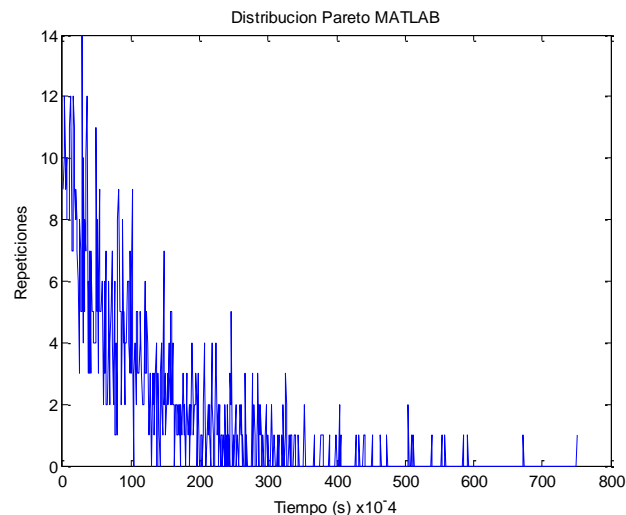


Figura 78. Distribución de Pareto generada por MATLAB.



De las 10 muestras exponenciales y de Pareto se obtuvo la correlación de cada una con respecto a las distribuciones de la simulación, cabe recalcar que solo se tomó una gráfica de cada distribución para que fuera visualizada en el documento. Luego se promediaron los 10 valores para obtener un valor más acertado del comportamiento de las distribuciones. Este valor fue de 0,6674 para la función exponencial y de 0,4478 para la función de Pareto, por lo que se tomó la distribución exponencial para el desarrollo del modelo. El coeficiente de correlación es un número comprendido entre -1 y 1, si el coeficiente de correlación

toma valores cercanos a -1 significa que la correlación es fuerte e inversa, si el coeficiente de correlación toma valores cercanos a 1 significa que la correlación es fuerte y directa, pero si el coeficiente toma valores cercanos a 0 indica que la correlación es débil (Lahura, 2003), de lo que se puede concluir que el coeficiente obtenido entre las trazas simuladas vs coeficiente del algoritmo generado por MATLAB es una correlación fuerte y directa para la distribución exponencial ya que se aproxima a 1.

7.4 PLANTEAMIENTO DEL MODELO

Después de tener claro que el tipo de distribución es de tipo exponencial, se realiza el análisis de la caracterización del modelo de tráfico.

- El modelo exponencial de parámetro λ se encuentra relacionado con el modelo discreto de Poisson de mismo parámetro λ . Si la variable $X \sim P(\lambda)$ significa que:

X es igual al número de veces que ocurre A por unidad de tiempo. Con λ número medio de veces que ocurre A en dicha unidad de tiempo, la variable sigue un modelo exponencial de parámetro λ con una función de distribución que se muestra en la ecuación 5. Cabe mencionar que T es igual al tiempo, en la unidad de tiempo considerada que transcurre hasta que ocurre A , o bien el tiempo que transcurre desde la última vez que ha ocurrido A hasta la siguiente vez (Iniesta, s.f).

Ecuación 5. Función de distribución exponencial

$$F(t) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda t}, & \text{Si } t > 0; \\ 0, & \text{En cualquier otro caso} \end{cases}$$

(Iniesta, s.f)

En la ecuación 6, se muestra la función de densidad, en donde λ es la media de distribución.

Ecuación 6. Función de densidad exponencial

$$f(t) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda t}, & \text{Si } t > 0; \\ 0, & \text{En cualquier otro caso} \end{cases}$$

(Iniesta, s.f)

Los momentos más importantes en el comportamiento de la distribución exponencial se ven definidos por el tiempo medio hasta que ocurre A , como se puede observar en la ecuación 7.

Ecuación 7. Tiempo medio de llegadas

$$F(t) = \frac{1}{\lambda}$$

(Iniesta, s.f)

En las ecuaciones 8 y 9 se muestra la media y la varianza de la distribución exponencial.

Ecuación 8. Media de la distribución exponencial

$$E(\tau) = \int_0^{\infty} t \cdot f_{\tau}(t) dt = \int_0^{\infty} t \cdot \lambda e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

Agüero (2007)

Ecuación 9. Varianza de la distribución exponencial

$$\sigma_t^2 = \int_0^{\infty} (t - \tau)^2 f_{\tau}(t) dt = \int_0^{\infty} \left(t - \frac{1}{\lambda}\right)^2 \lambda e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda^2}$$

Agüero (2007)

Para caracterizar el comportamiento del modelo exponencial, se calculo la media de cada uno de los nodos que realizan sus peticiones hacia el servidor, luego se promedio la media de todos los nodos para tener una media general. Este cálculo se obtuvo por medio de MATLAB. En la tabla 2 se muestran los resultados de cada una de las medias.

Tabla 2. Media de los Nodos (Televidentes)

λ Nodo 1	0,1438
λ Nodo 2	0,0222
λ Nodo 3	0,0198
λ Nodo 4	0,0429
λ Nodo 5	0,0497
Promedio total de λ	0,0549

Obteniendo la media de todos los nodos, se puede hacer la caracterización de la función de distribución exponencial y de densidad exponencial propuesta para el modelo que se puede observar en las ecuaciones 10 y 11.

Ecuación 10. Distribución exponencial característica del modelo

$$F(t) = \begin{cases} 1 - e^{-0,0549t}, & \text{Si } t > 0; \\ 0, & \text{En cualquier otro caso} \end{cases}$$

Ecuación 11. Densidad exponencial característica del modelo

$$f(t) = \begin{cases} 0.0549e^{-0.0549t}, & \text{Si } t > 0; \\ 0, & \text{En cualquier otro caso} \end{cases}$$

En la figura 79 y 80, se presenta el comportamiento general de la distribución y de densidad exponencial obtenida del modelo que se quiere plantear.

Figura 79. Grafica de distribución exponencial característica del modelo.

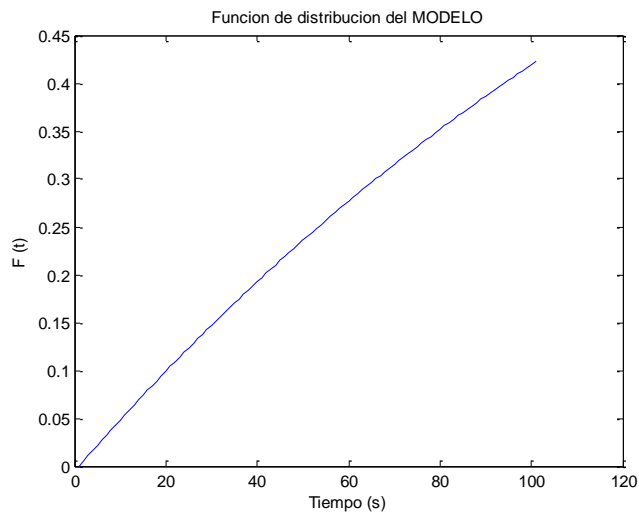
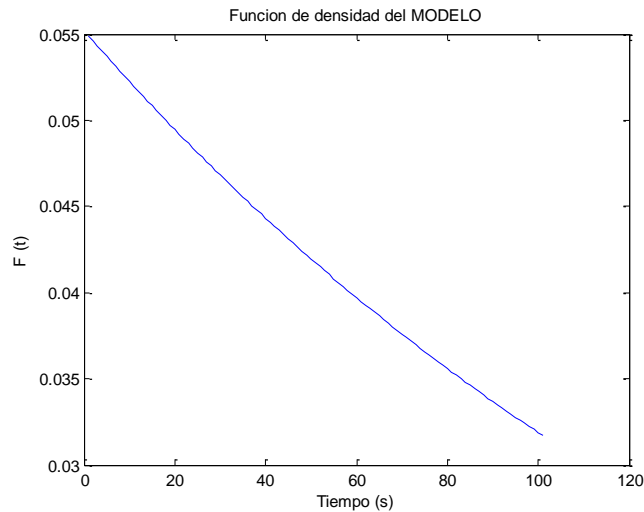


Figura 80. Grafica de Densidad característica del Modelo



Después de observar y analizar el comportamiento de la transmisión en la televisión digital terrestre y específicamente en el canal de retorno simulado, se realizaron investigaciones sobre los distintos modelos de tráfico que se asemejaran a la simulación planteada en este proyecto de grado. Actualmente las redes de telecomunicaciones integran una gran variedad de servicios multimedia y todos estos servicios vienen con distintos requerimientos de calidad; para poder evaluar el comportamiento de estos servicios, existen distintos modelos de tráfico, en el que cada uno de ellos suele ser específico para un tipo de servicio en concreto.

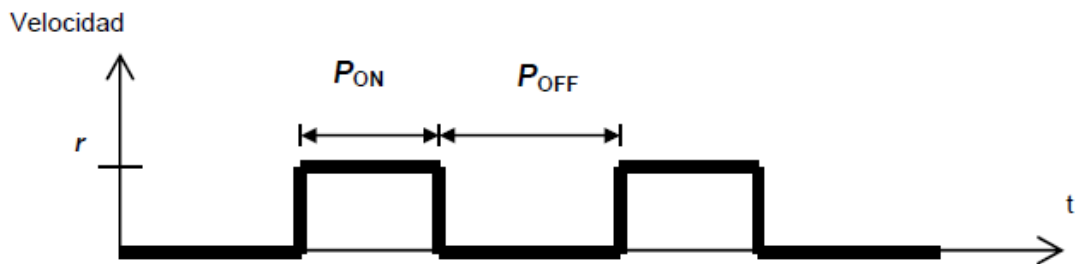
Por otra parte según las investigaciones realizadas, Alzate menciona en su documento Introducción al Tráfico Autosimilar en Redes de Comunicaciones, que el tráfico sobre Los estándares MPEG y aplicaciones de video por demanda como IP-TV y Web-TV tienen un comportamiento netamente al estilo de modelos ON-OFF (I.2, s.f). De esta forma se toma este modelo de referencia para el planteamiento del modelo característico de un canal de retorno de televisión digital terrestre.

7.4.1 Modelo On-Off

Las fuentes de tráfico que arriban a una red pueden ser modeladas como fuentes de tipo ON-OFF. Una fuente ON-OFF alterna entre dos estados, el estado ON y el estado OFF; cuando la fuente se encuentra en estado ON genera un fluido con tasa constante r asta que cambia al estado OFF como se puede observar en la figura 81.

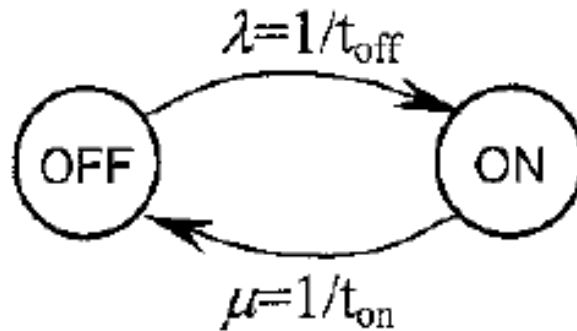
Dichas tasas se definen como unidades de información divididas por unidades de tiempo bits/seg (Pallarés, 2001). Los tiempos de permanencia en cada uno de los estados son variables aleatorias que se encuentran distribuidas exponencialmente. Con el modelo ON-OFF se obtiene una cadena de Markov de dos estados en donde λ es la tasa de transición desde ON hasta OFF y μ es la tasa del periodo OFF al periodo ON, como se puede observar en la figura 82.

Figura 81. Modelo ON-OFF del tráfico.



(I.2, s,f)

Figura 82. Modelo de fuente ON-OFF.



(García, 2001)

El tiempo medio de permanencia de cada uno de los estados es igual al inverso de la tasa de salida, de esta forma una fuente queda definida por los parámetros r , λ y μ ; la probabilidad de cada uno de los estados viene dada por la ecuación 12 en un periodo ON y la ecuación 13 en un periodo OFF.

Ecuación 12. Estado ON

$$P_{on} = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}$$

Pallarés (2001)

Ecuación 13. Estado OFF

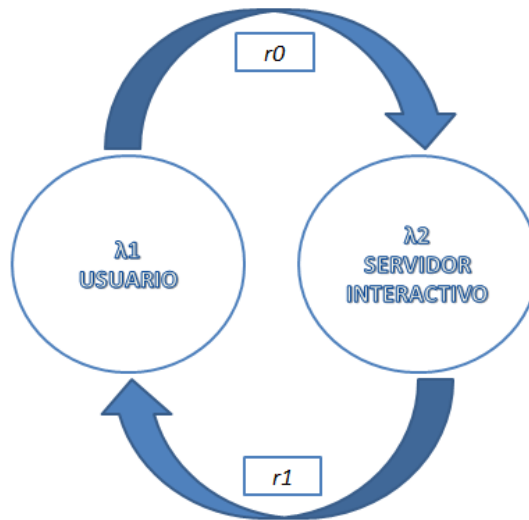
$$P_{off} = \frac{t_{off}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{\mu}{\lambda + \mu}$$

Pallarés (2001)

Con los datos y las características del modelo ON-OFF se plantea el modelo característico de la interactividad en un canal de retorno de televisión digital terrestre, en donde se propone que λ_1 sea el televidente en un periodo ON y λ_2 sea el servidor de interactividad en un periodo OFF. Cuando λ_1 se encuentra realizando peticiones, λ_2 se encuentra en OFF, de igual manera lo hace λ_2 cuando se encuentra respondiendo a las solicitudes, λ_1 se encuentra en un estado OFF.

En el periodo del estado λ_1 a λ_2 se caracteriza r_0 como la distribución exponencial característica para el modelo, y del estado λ_2 a λ_1 se caracteriza r_1 como una tasa constante del número promedio de paquetes desde el servidor interactivo hacia el televidente; en la figura 83 se muestra el proceso del modelo de tráfico para la interactividad en un canal de retorno de televisión digital terrestre.

Figura 83. Modelo planteado.



Para obtener el valor de $r1$ fue necesario realizar un algoritmo en MATLAB que determinara el promedio del tamaño de los paquetes desde $n0$ hacia los nodos televidentes y hacer que este tamaño fuera constante; en este caso el valor fue 5246,2 paquetes.

- $\lambda1$: Televidente que realiza una petición en un instante.
- $\lambda2$: Servidor de interactividad que contesta a las peticiones.
- $r0$: Distribución exponencial del modelo característico de los televidentes hacia el servidor interactivo.
- $r1$: Tasa constante de número de paquetes enviados desde el servidor interactivo, hacia el televidente.

En la ecuación 14 se representa el modelo de tráfico característico para la interactividad en un canal de retorno.

Ecuación 14. Modelo interactivo en un canal de retorno de TDT

$$r0 = \begin{cases} 1 - e^{-0,0549t}, & \text{Si } t > 0; \\ 0, & \text{En cualquier otro caso} \end{cases}$$

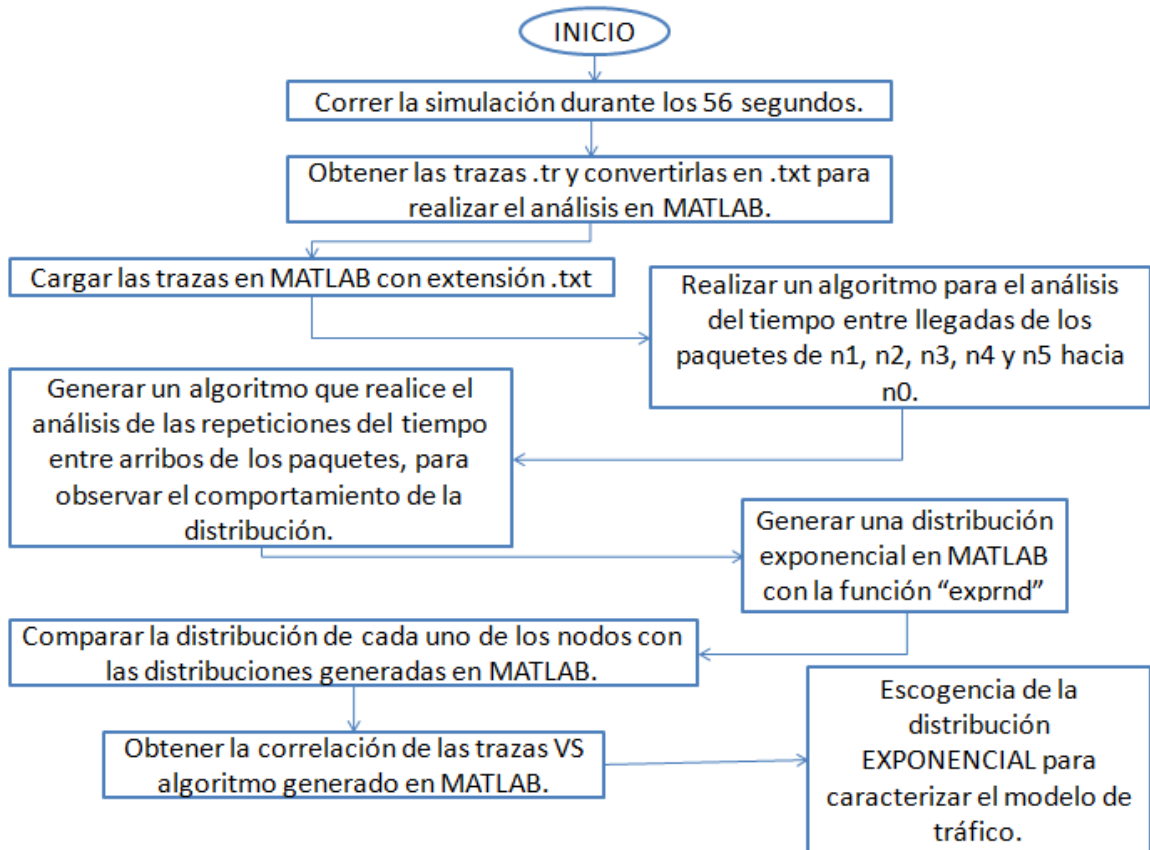
8. PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se realizara una serie de pruebas que permitirá observar como es el comportamiento de la simulación en distintos ambientes y que tan eficiente es el comportamiento de la simulación analizada. También se mostrara por medio de un diagrama de bloques como se realizó el análisis del modelo propuesto.

8.1 ANALISIS DEL MODELO PROPUESTO

Como se explicó en el capítulo anterior, fue necesario realizar un análisis mediante MATLAB del comportamiento de la simulación obtenida que caracteriza la interactividad en el canal de retorno. En la figura 84 se muestra por medio de un diagrama de bloques el proceso utilizado para el análisis del modelo propuesto.

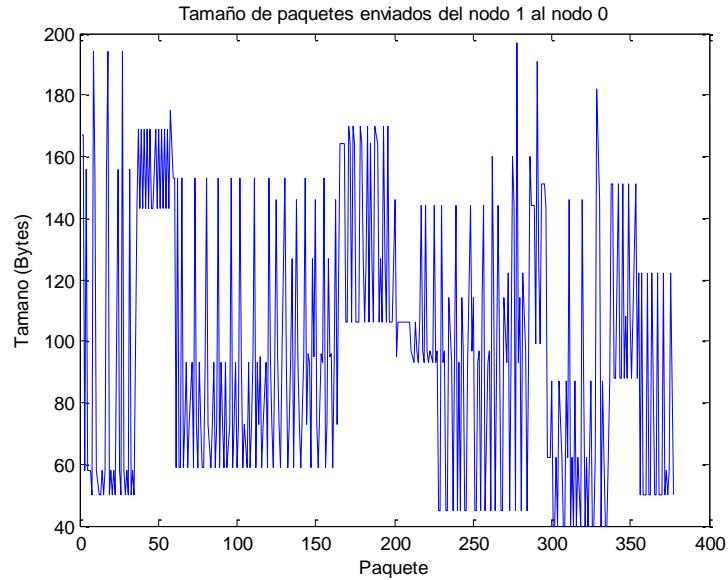
Figura 84. Diagrama del modelo propuesto.



La primera prueba que se realizó fue corroborar que el tamaño de los paquetes en el canal de retorno efectivamente variaba entre los 40 bytes a 220 bytes, tamaños que según la investigación se utiliza para las peticiones interactivas. En las figuras

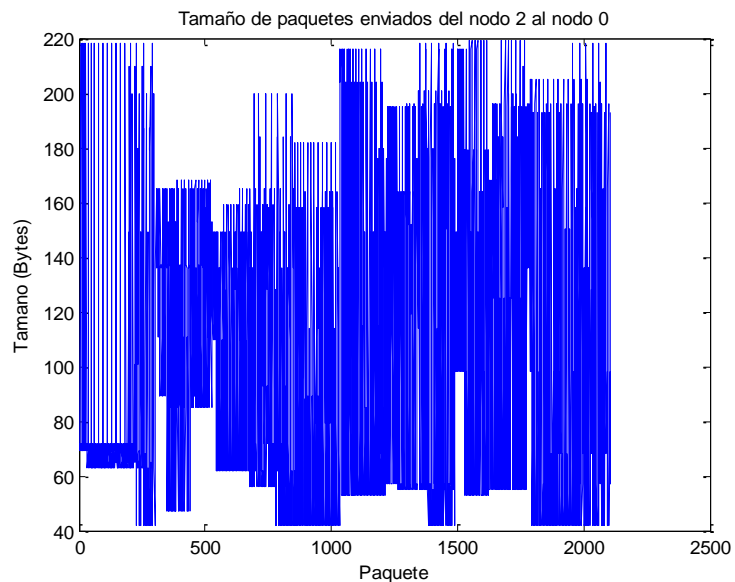
85 a 89 se muestra el comportamiento de cada uno de los nodos que hace referencia al envío de peticiones de los televidentes.

Figura 85. Tamaño de paquetes enviados del nodo 1 al nodo 0.



En la figura 85 se muestra el número de paquetes enviados desde el televidente número 1 hacia el servidor interactivo, en este caso se envían 377 paquetes de tamaños distintos entre los 40 bytes, hasta casi los 200 bytes.

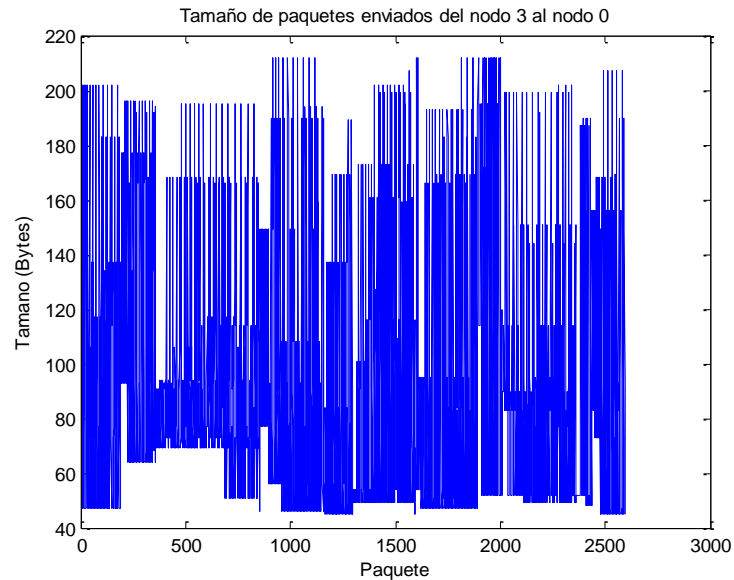
Figura 86. Tamaño de paquetes enviados del nodo 2 al nodo 0.



En la figura 86 se muestra el número de paquetes enviados desde el televidente número 2 hacia el servidor interactivo, en este caso se envían 2106 paquetes de

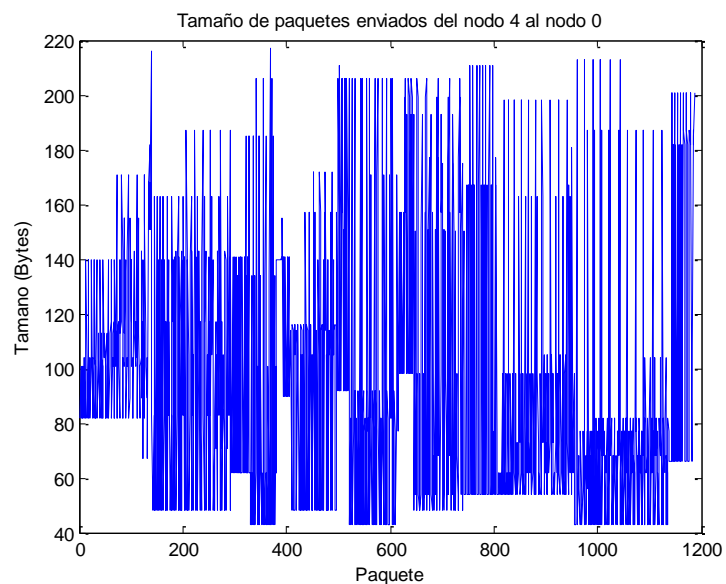
tamaños distintos entre aproximadamente los 43 bytes, hasta los 220 bytes que es el tope máximo de paquetes de petición en un canal de retorno.

Figura 87. Tamaño de paquetes enviados del nodo 3 al nodo 0.



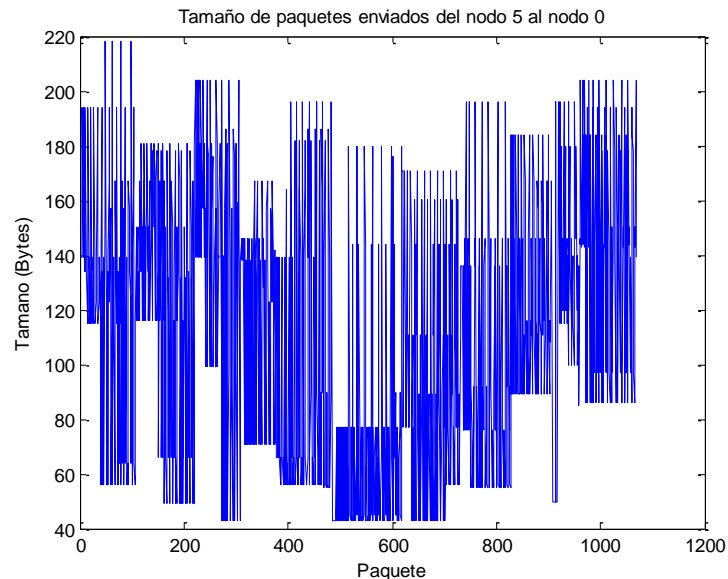
En la figura 87 se muestra el número de paquetes enviados desde el televidente número 3 hacia el servidor interactivo, en este caso se envían 2597 paquetes de distintos tamaños entre mas o menos los 45 bytes hasta casi los 220 bytes.

Figura 88. Tamaño de paquetes enviados del nodo 4 al nodo 0.



En la figura 88 se muestra el número de paquetes enviados desde el televidente número 4 hacia el servidor interactivo, en este caso se envían 1187 paquetes de distintos tamaños entre mas o menos los 45 bytes hasta casi los 220 bytes.

Figura 89. Tamaño de paquetes enviados del nodo 5 al nodo 0.



En la figura 89 se muestra el número de paquetes enviados desde el televidente número 5 hacia el servidor interactivo, en este caso se envían 1079 paquetes de distintos tamaños entre mas o menos los 43 bytes hasta casi los 220 bytes.

8.2 ANALISIS DE DISTINTOS ESCENARIOS DE SIMULACIÓN

El análisis de distintos comportamientos en una simulación es pieza importante para observar que tan eficiente es el rendimiento de un modelo. Generalmente el rendimiento en una red es medido o cuantificado observando el comportamiento en la velocidad de la transmisión de los datos, en el ancho de banda de un canal para transportar los mismos de una forma óptima, y en el tamaño y cantidad de los paquetes de datos generados para que lleguen de una manera efectiva desde un nodo emisor hacia un nodo receptor.

En las redes televisivas es de gran importancia contar con un rendimiento eficiente, ya que los usuarios cada vez se vuelven más exigentes al momento de observar o interactuar con distintos contenidos. Este proyecto de grado pretende predecir el comportamiento de la interactividad en un canal de retorno y mostrar que tan eficiente es, determinando de esta forma como será la calidad de servicio para los televidentes.

Se analizaron y se modificaron 3 variables de la simulación del modelo propuesto para observar cual contaba con mejor rendimiento.

8.2.1 Análisis de la Latencia

La primera modificación que se realizó de la simulación fue de la latencia. La simulación del modelo propuesto tiene una latencia de 100 ms, para observar como variaba su comportamiento esta latencia fue cambiada a 50 ms, la latencia es el tiempo que tarda un paquete de datos en llegar de un nodo a otro, ésta junto con el ancho de banda son determinantes para establecer la velocidad en una red.

Es de importancia mencionar que cada vez que se ejecuta la simulación, el tamaño y el tiempo entre paquetes varían aleatoriamente, por lo que los resultados obtenidos en cada simulación son diferentes a pesar de que sucedan los mismos eventos en los dos. En las figuras 90 a 94 se puede observar la similitud que existe entre la cantidad de paquetes transportados con una latencia de 100 ms y una latencia de 50 ms.

Esta prueba se realizó para determinar si existía perdida de paquetes con una latencia menor. De lo que se concluyo que no importa que el tiempo de la latencia sea menor o sea mayor ya que los paquetes enviados llegaran a su destino sin ningún tipo de pérdida; la diferencia es que estos paquetes tendrán un retardo mayor o menor a la hora de arribar hacia un nodo final.

Cabe recalcar que una latencia menor es mucho más óptima a la hora de transmitir y recibir información, debido a que los usuarios día a día se vuelven más exigentes, queriendo que los contenidos programáticos sean respondidos de una forma más rápida.

Figura 90. Latencia 100ms Vs Latencia 50ms del nodo 1 al nodo 0.

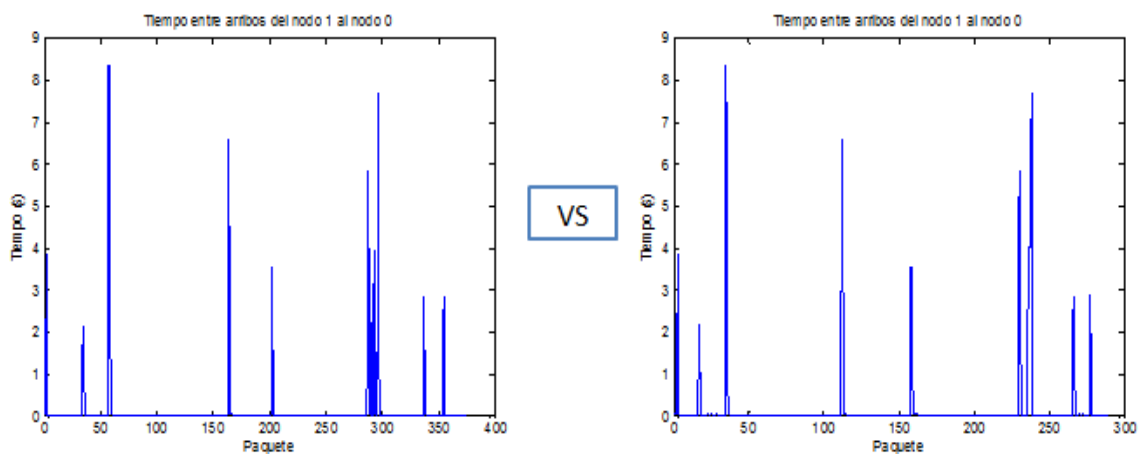


Figura 91. Latencia 100ms Vs Latencia 50ms del nodo 2 al nodo 0.

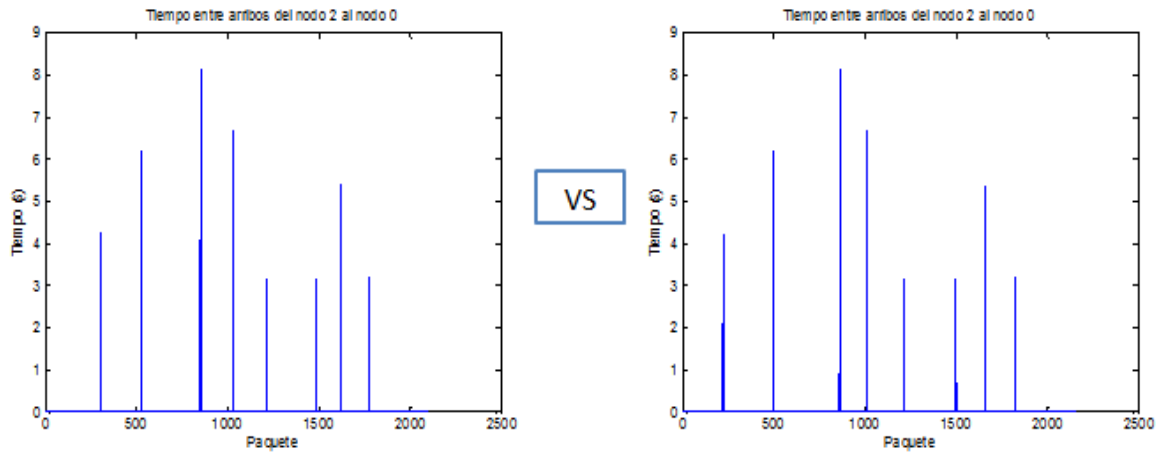


Figura 92. Latencia 100ms Vs Latencia 50ms del nodo 3 al nodo 0.

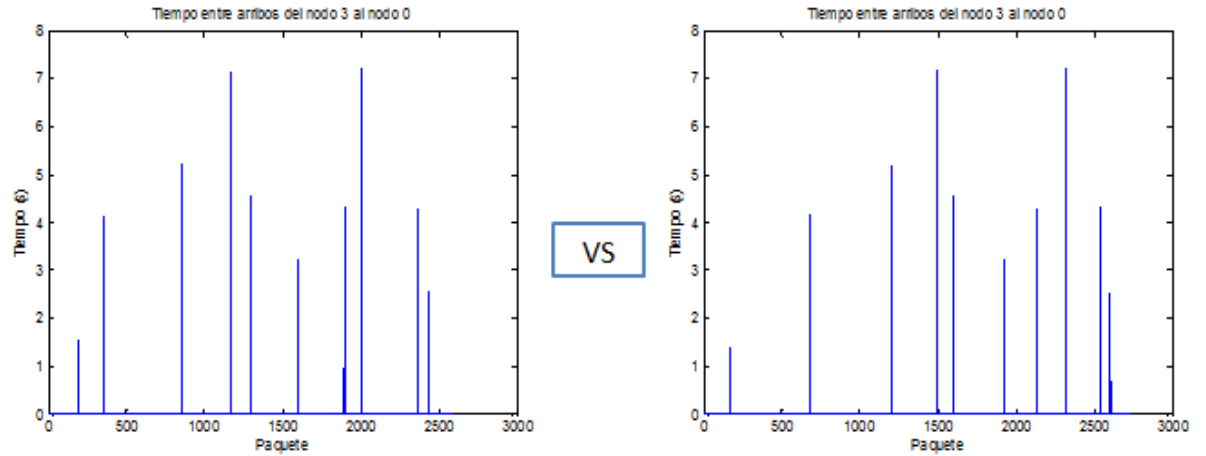


Figura 93. Latencia 100ms Vs Latencia 50ms del nodo 4 al nodo 0.

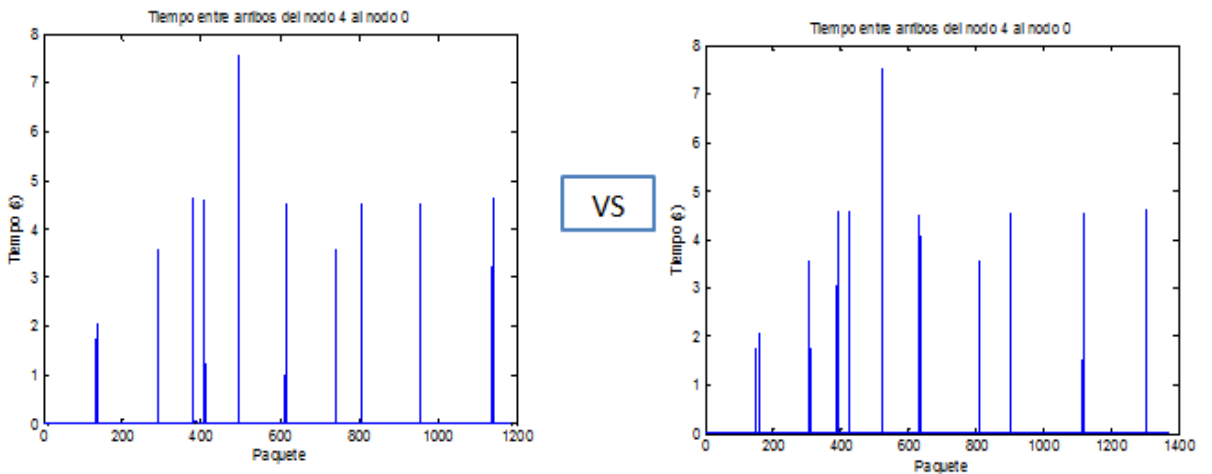
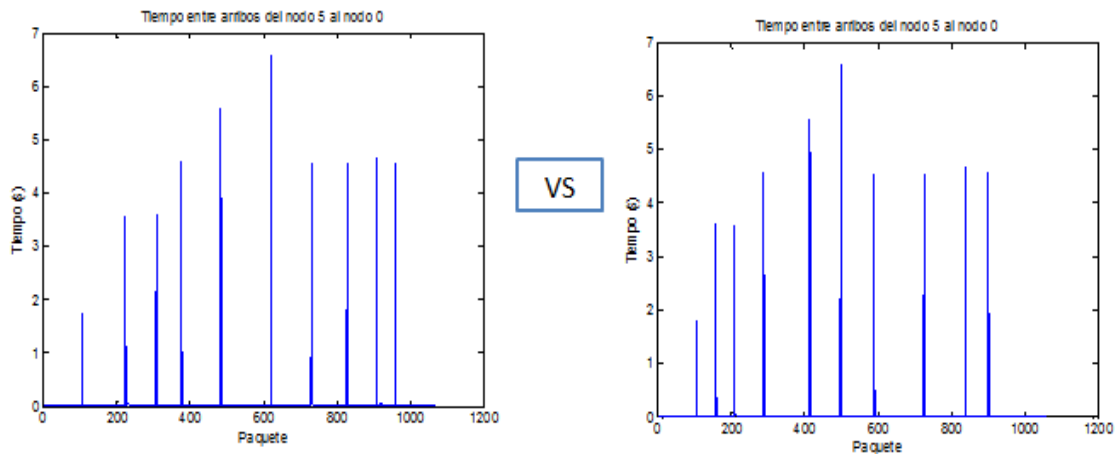


Figura 94. Latencia 100ms Vs Latencia 50ms del nodo 5 al nodo 0.



8.2.2 Análisis del ancho de banda

La segunda modificación que se realizó para el análisis entre la simulación del modelo propuesto con la simulación modificada, fue variar los parámetros del ancho de banda, en este caso se varió el ancho de banda del canal de retorno que está especificado para DVB-RCT de 1Mhz a un ancho de banda de 450Khz. Se escogió este ancho de banda después de haber realizado varias pruebas en el simulador NS-2 y haber determinado que con 450Khz se empieza a tener pérdidas en el envío de información desde los usuarios hasta el servidor interactivo de la central de televisión.

Esto se hizo con el fin de observar si un ancho de banda de 1Mhz es lo suficientemente robusto para transportar los datos de las peticiones que realizan los televidentes sobre un contenido interactivo, al igual que el análisis de la latencia cada vez que se corre la simulación el tamaño y el tiempo entre paquetes varía aleatoriamente, por lo que no se verá la misma comparación entre el tiempo y entre las repeticiones de los paquetes. Como se puede observar en las figuras 95 a 99 el comportamiento de la distribución exponencial es muy similar, y el número de ocurrencias en el momento 0 es mayor en las graficas de la parte derecha; esto se debe a que los paquetes del ancho de banda de 450Khz ocupan todo este espacio, haciendo que las peticiones lleguen en un menor tiempo.

Por otro lado al momento de haber ejecutado la simulación durante los 56 segundos, se pudo observar la pérdida de paquetes desde los distintos nodos que hacen referencia a los televidentes hacia el nodo que recibe las peticiones. Para determinar el número de paquetes perdidos se realizó un algoritmo en MATLAB en donde se observó que se perdieron 144 paquetes en el nodo 0, en la figura 100 se observa la pérdida de paquetes en la ventana .nam del simulador NS-2.

Figura 95. BW de 1Mhz Vs BW de 450Khz del nodo 1 al nodo 0.

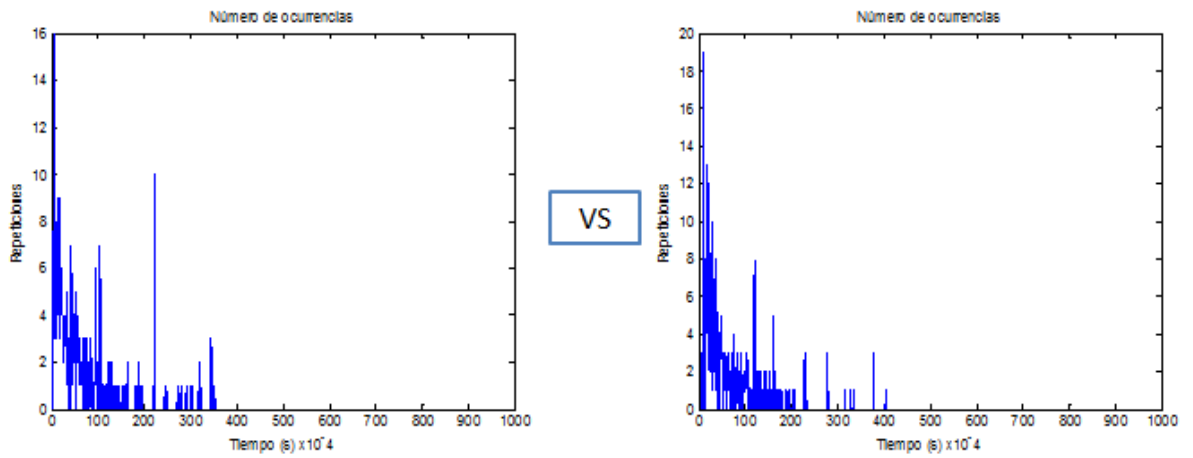


Figura 96. BW de 1Mhz Vs BW de 450Khz del nodo 2 al nodo 0.

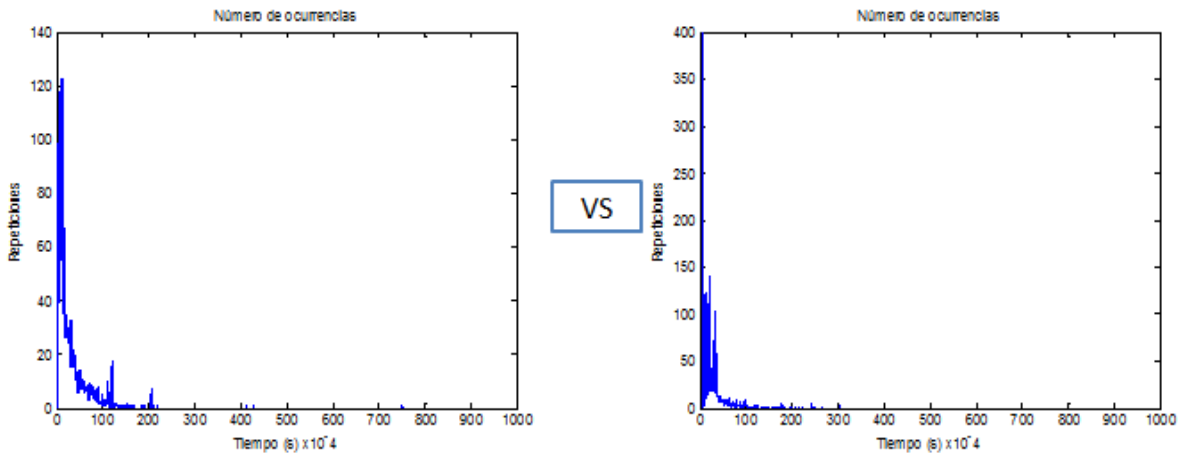


Figura 97. BW de 1Mhz Vs BW de 450Khz del nodo 3 al nodo 0.

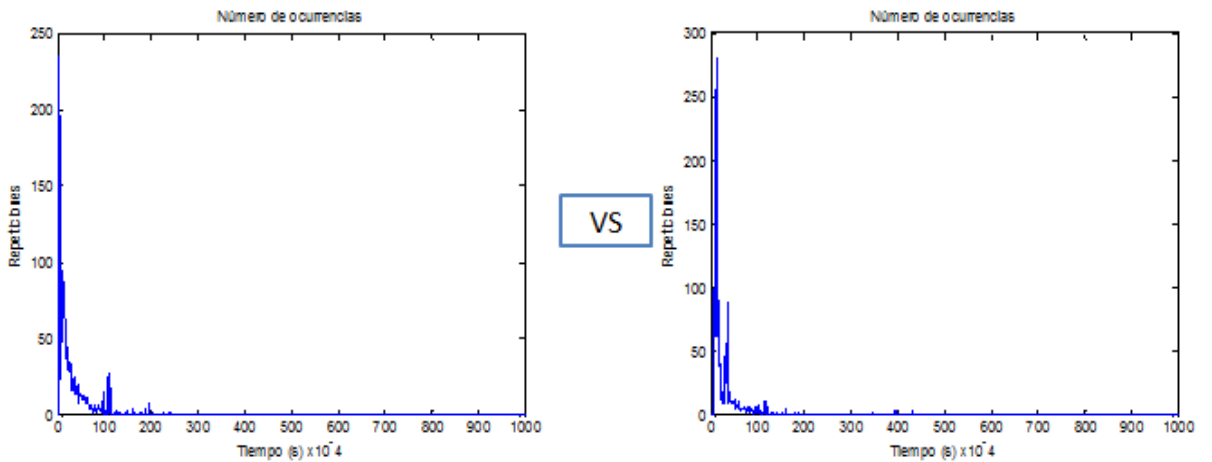


Figura 98. BW de 1Mhz Vs BW de 450Khz del nodo 4 al nodo 0.

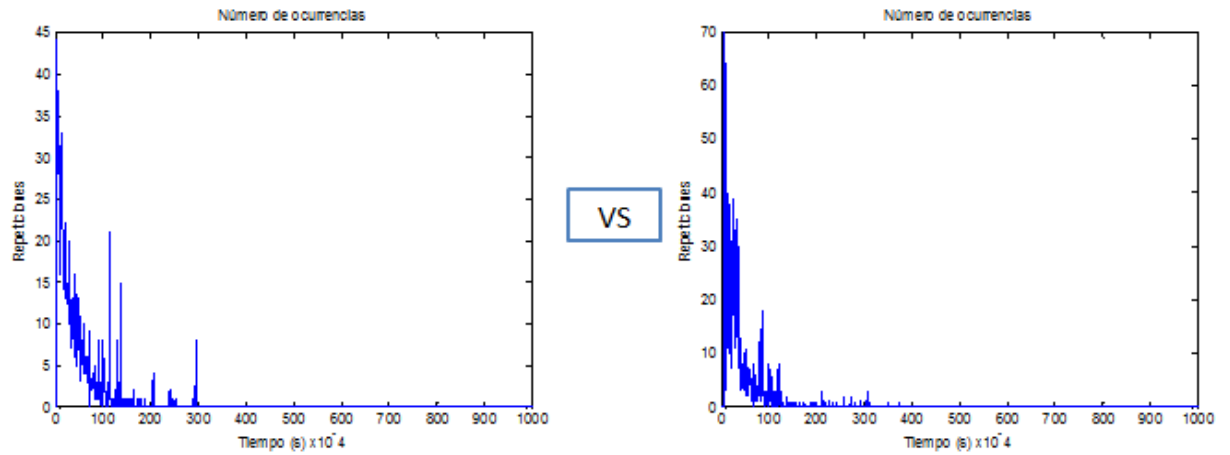


Figura 99. BW de 1Mhz Vs BW de 450Khz del nodo 5 al nodo 0.

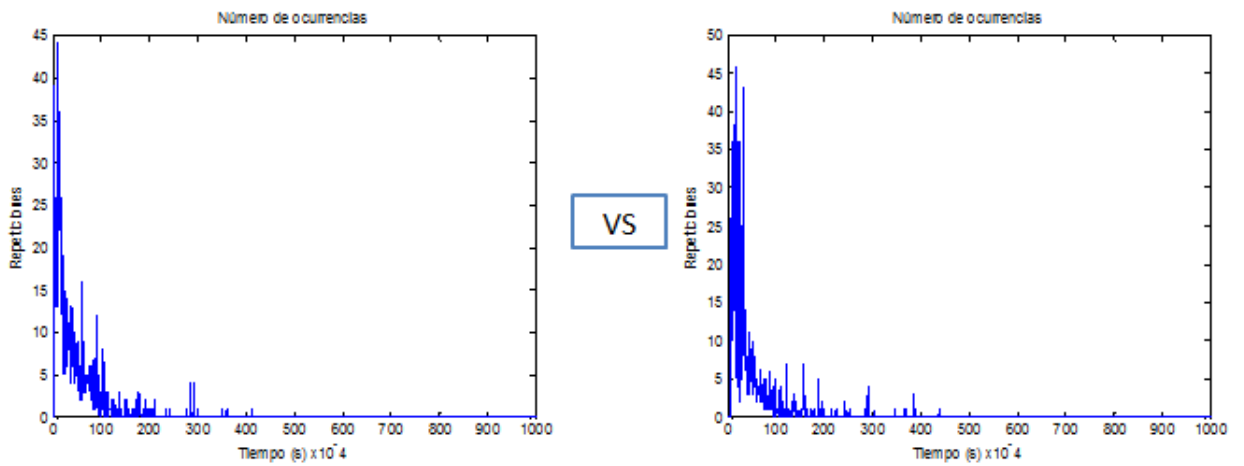
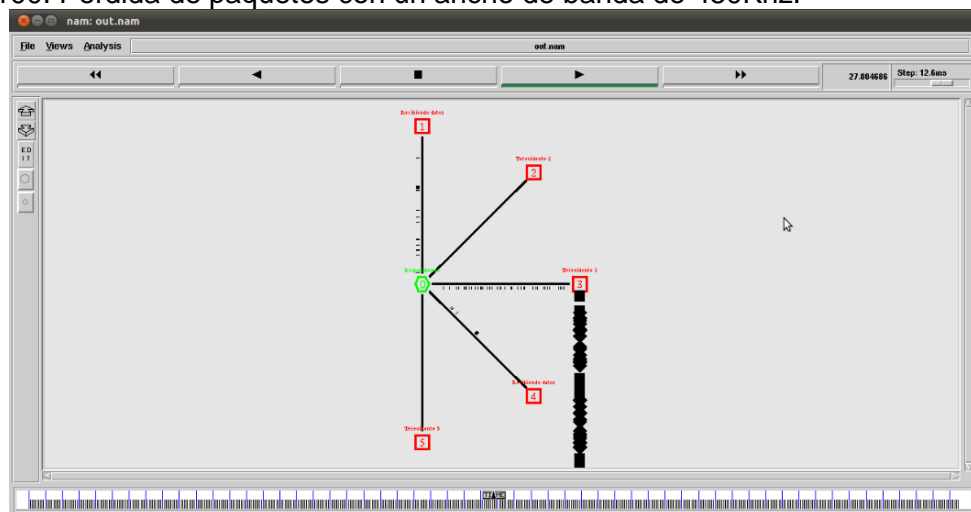


Figura 100. Pérdida de paquetes con un ancho de banda de 450Khz.



8.2.3 Análisis de la velocidad de transmisión

La tercera modificación que se realizó para el análisis entre la simulación del modelo propuesto con la simulación alterada, fue variar los parámetros de la velocidad de transmisión y dejar una latencia de 50 ms, en este caso se vario la velocidad de transmisión del canal de retorno que esta especificado para DVB-RCT de aproximadamente 38Kbps a una velocidad de transmisión de 120Kbps que es aproximadamente similar a la velocidad de transmisión del canal de broadcast; por otro lado se hizo necesario mostrar las graficas de los tiempos entre arribos de los paquetes de cada uno de los nodos y el número de ocurrencias de los paquetes debido a que se pueden apreciar cambios muy significativos del comportamiento de las dos simulaciones. En la parte derecha de las figuras 101 a 105 se puede evidenciar que llegan más paquetes desde cada usuario hacia el servidor de la central televisiva, esto se debe a que el tiempo de envío es mucho menor y la información llega mas rápido; por otro lado al analizar el comportamiento de la llegada entre los paquetes, se observo que hay una gran perdida de paquetes debido a que un ancho de banda de 1Mhz no es lo suficientemente robusto para que circulen muchos paquetes a una velocidad de transmisión muy elevada.

Figura 101. Velocidad de tx de 38Kbps Vs 120Kbps del nodo 1 al nodo 0.

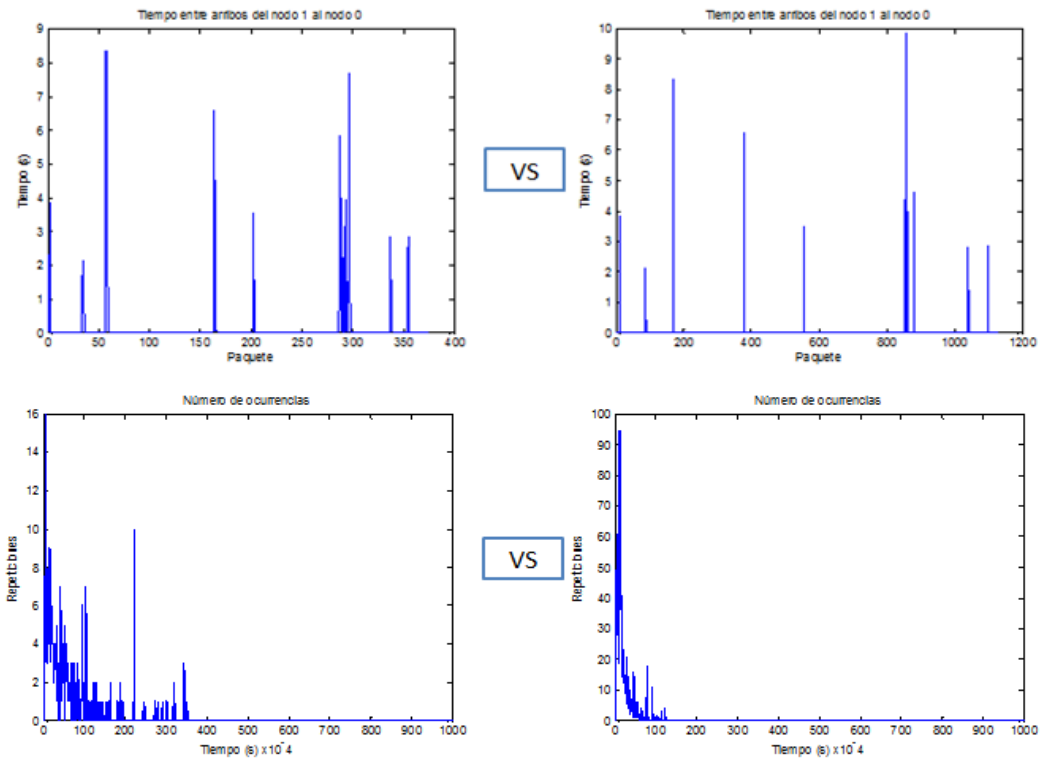


Figura 102. Velocidad de tx de 38Kbps Vs 120Kbps del nodo 2 al nodo 0.

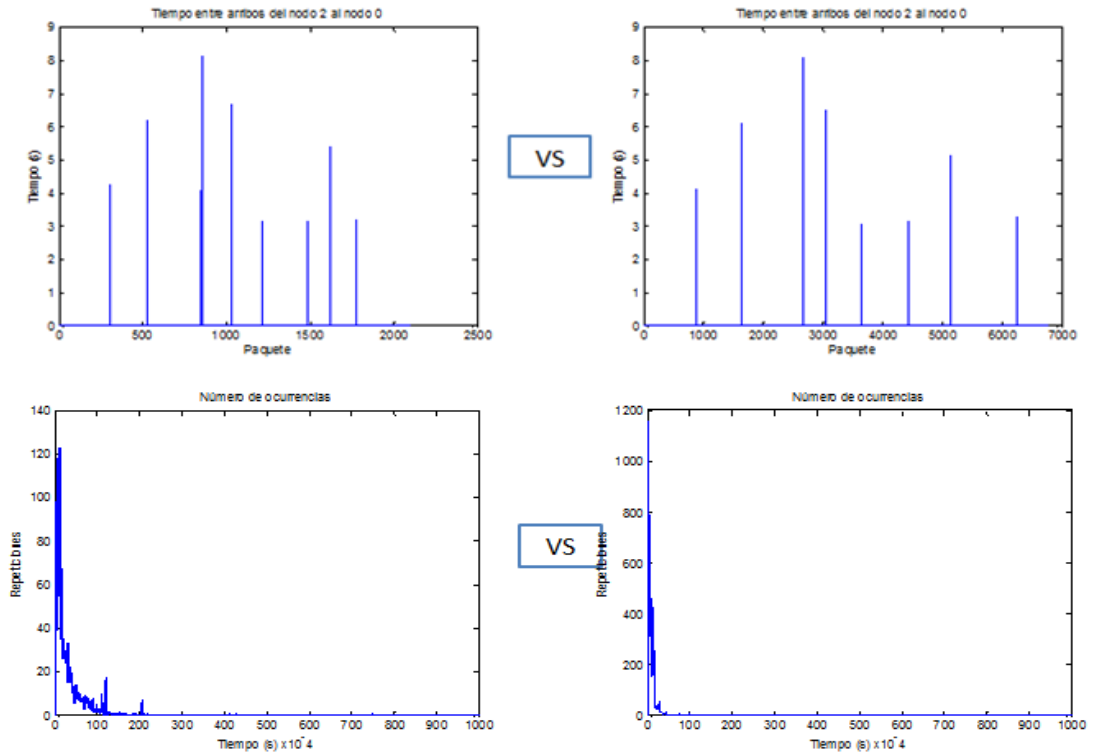


Figura 103. Velocidad de tx de 38Kbps Vs 120Kbps del nodo 3 al nodo 0.

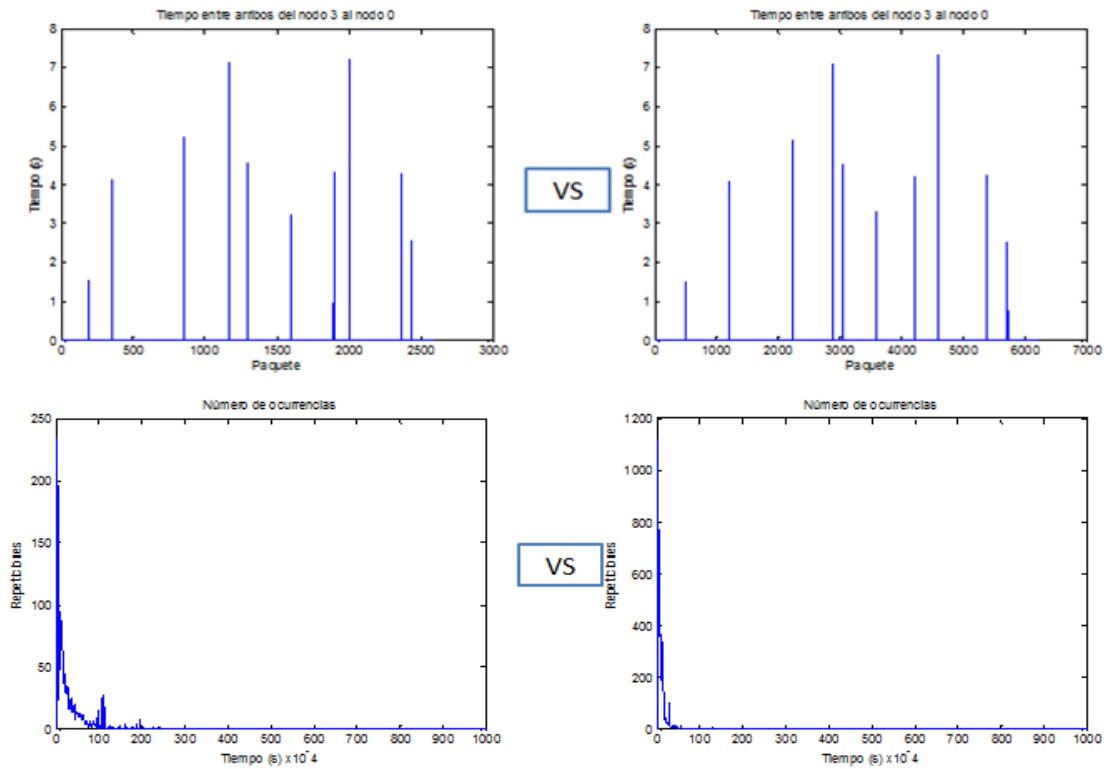


Figura 104. Velocidad de tx de 38Kbps Vs 120Kbps del nodo 4 al nodo 0.

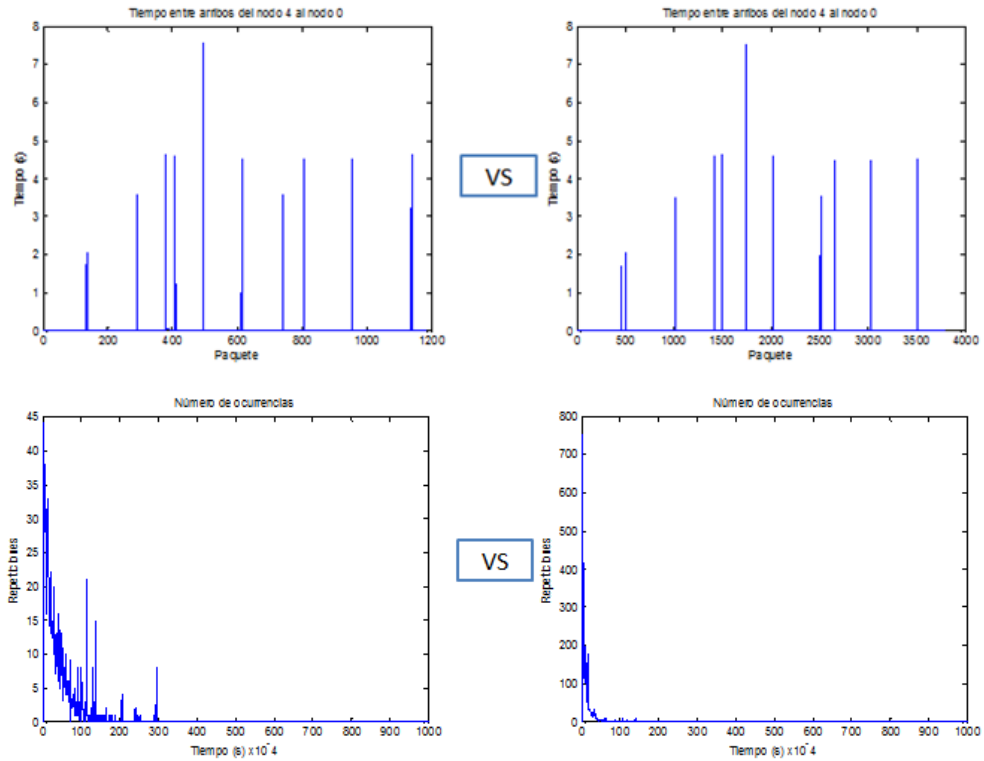
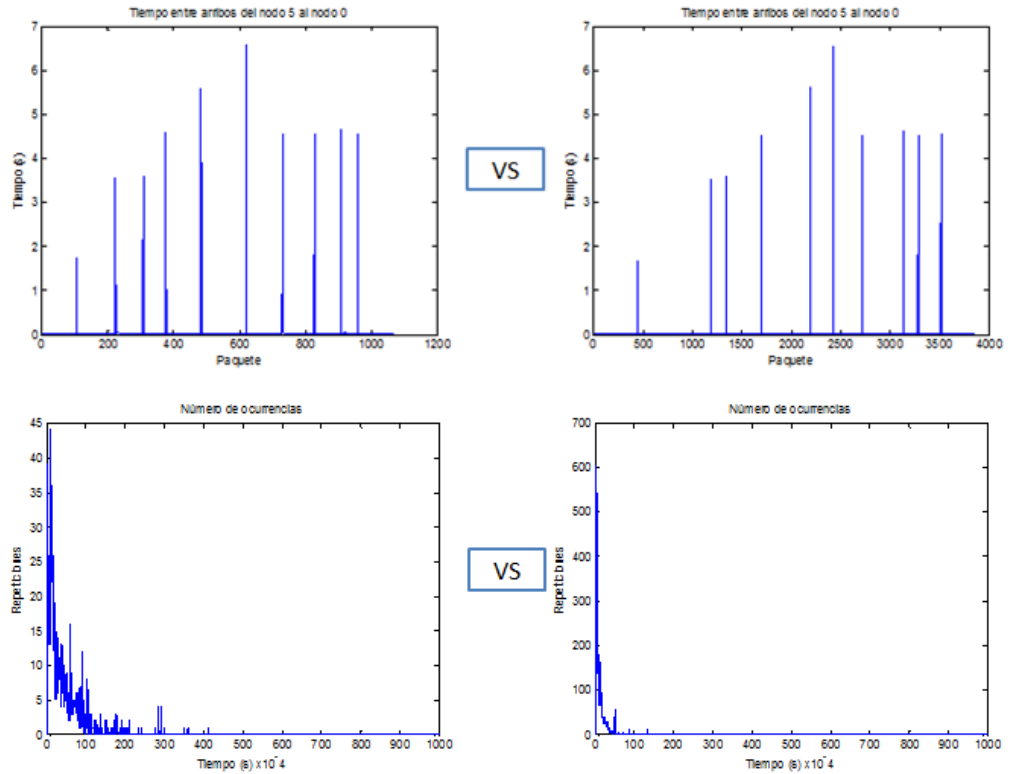
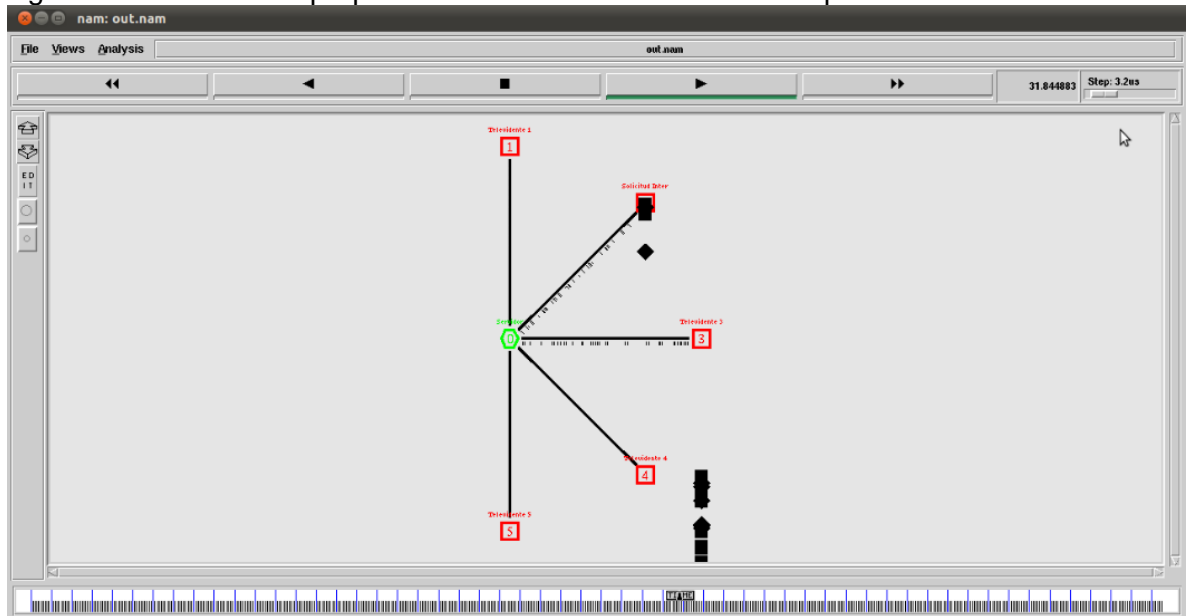


Figura 105. Velocidad de tx de 38Kbps Vs 120Kbps del nodo 5 al nodo 0.



En la figura 106 se puede observar la pérdida de paquetes que se genera desde cada uno de los usuarios hacia el servidor de la central televisiva, Como se menciona anteriormente, estas perdidas ocurren ya que el canal no tiene la capacidad suficiente de transmitir información a una velocidad de transmisión muy alta y a una latencia muy baja.

Figura 106. Perdida de paquetes con velocidad de tx de 120Kbps



Por medio de un algoritmo en MATLAB, se observo que se perdieron 2868 paquetes desde cada uno de los usuarios hacia el servidor de la central televisiva.

9. CONCLUSIONES

A partir del estudio y de las distintas investigaciones sobre el comportamiento de la televisión digital terrestre en el estándar europeo, se evidenció que es un tema que no ha madurado en su totalidad; por lo que es necesario contribuir a estudios reales o simulados de cómo es el comportamiento de la transmisión de los distintos contenidos; en este proyecto de grado se pretendió mostrar de forma adecuada la conducta que toma un canal de retorno al momento en que un usuario realiza alguna petición. Gracias a la herramienta Network Simulator 2 (NS-2), a los fundamentos teóricos del envío de datos de la TDT y del canal de retorno DVB-RCT se pudo mostrar por medio de una simulación, como los distintos usuarios hacen uso de la interactividad con un proveedor de servicios televisivos observado de esta manera que tanto el ancho de banda, como la velocidad de transmisión y el tamaño de los paquetes de las peticiones es relativamente bueno, ya que no existen pérdidas en el envío de los paquetes de datos haciendo que la calidad de servicio sea efectiva.

Se realizó un análisis de distintos modelos de tráfico que fueron estudiados para determinar el comportamiento de la interactividad, se pudo observar que el modelo ON-OFF es el que más se asemeja por su versatilidad al comportamiento interactivo bidireccional ya que este tipo de modelo ha sido especialmente útil en el modelamiento de tráfico de datos con tasa variable de bits, como lo es el MPEG2. De esta manera se pudo observar por medio de la simulación y del análisis que se realizó, que el comportamiento de la interactividad tiene una transición en el envío de paquetes que se constituye como una cadena de tipo ON y de tipo OFF con una respectiva tasa promedio de llegadas exponenciales, en donde el usuario al realizar alguna consulta se encuentra en un periodo ON (transmitiendo paquetes de datos) y después en un periodo OFF (Recepcionando paquetes de datos).

La simulación del modelo planteado característico de la interactividad en un canal de retorno con un comportamiento ON-OFF junto con la ayuda del software MATLAB, brindara un acercamiento inicial hacia las transmisiones de distintos contenidos, realizando medidas de eficiencia en la red televisiva. Esto es en base de que uno de los principales objetivos al modelar el tráfico en cualquier tipo de redes es predecir y obtener mejoras para una buena prestación en el servicio.

En la investigación se observó que las características tanto del canal de broadcast, como del canal de retorno son relativamente buenas para la prestación de servicios interactivos. Esto se afirma en base a las distintas modificaciones que se realizaron en cada uno de los escenarios, en donde se pudieron observar distintos factores como el de la latencia, donde se determinó que entre menor latencia mejor será la calidad de servicio en cuanto a prestaciones, con lo cual un

usuario podrá disfrutar de los contenidos de forma casi inmediata; por otro lado si se tiene una latencia mayor, la calidad del servicio disminuirá ya que el retardo del envío de datos y de la recepción de las peticiones será lenta, lo que hará que un televidente se sienta insatisfecho con el servicio prestado. Para este inconveniente se propuso que la latencia del modelo de tráfico fuera de 100ms, ya que es un tiempo considerable al envío y recepción de datos.

El segundo factor que se tuvo en cuenta para caracterizar el modelo planteado, fue el del ancho de banda. Con el que se pudo determinar por medio de las distintas pruebas realizadas que un ancho de banda de 1Mhz para DVB-RCT es lo suficientemente robusto para transportar datos, haciendo que no existan pérdidas de paquetes. Esto es importante ya que cuando se quiera efectuar alguna compra por medio de algún servicio interactivo, no se pierda ningún tipo de información del cliente; haciendo así que el transporte de estos datos sea confiable al momento de llegar a su destino.

El tercer factor que involucra las características del modelo planteado es el de la velocidad de transmisión; de lo que se pudo concluir que una velocidad de 38Kbps es lo suficientemente efectiva al momento de enviar información ya que el flujo de paquetes enviados son los mismos recibidos en el servidor interactivo. A diferencia de una velocidad más grande como se ratifico en las pruebas realizadas, donde se tomo una velocidad de transmisión de 120 Kbps y se observo que efectivamente las solicitudes llegan más rápido pero con pérdida de paquetes, debido a que el canal de 1Mhz no soporta esa capacidad de transmisión.

Con el modelo de tráfico característico de la interactividad en un canal de retorno DVB-RCT en televisión digital terrestre se podrá predecir el comportamiento de la red televisiva cuando sea implementada en su totalidad, en una transición de 10 años en el país. Este modelo será base para el desarrollo de nuevas investigaciones en el área de transmisión, sirviendo para realizar mejoras y replanteamientos de los distintos aspectos que influyen en la red o bien sea sirviendo para hacer una reutilización del ancho de banda, aprovechando recursos que no sean utilizados en el canal de broadcast, para que se tenga un rendimiento más efectivo en el canal de retorno.

10. RECOMENDACIONES

La primera recomendación que se propone es realizar estudios específicos sobre el comportamiento de distintos servicios interactivos, como lo son T-commerce, T-Government, T-learning, T-health y teletexto ya que no se cuenta con la suficiente información de cómo es el funcionamiento de estos contenidos. A si mismo se propone realizar estudios reales sobre el comportamiento del canal de broadcast y del canal de retorno para analizar sus trazas, ratificando de esta manera el comportamiento expuesto en esta investigación; de esta forma se podrán sacar conclusiones al modelo planteado y al comportamiento real de este tipo de tecnología.

Se propone realizar simulaciones en otro tipo de programas y herramientas como OMNET, y QUALNET, para comparar los comportamientos característicos en las trazas y mirar que tan eficiente son a comparación del programa NS-2. Por otro lado se recomienda también observar el comportamiento del canal de retorno con distintos tipos de distribuciones como lo son pareto, gamma, chi cuadrado, beta, binomial o hiper exponencial, para determinar cual cumple con un mejor rendimiento a la hora de transmitir sus datos. Por otro lado se recomienda implementar el modelo planteado en otro tipo de investigaciones para observar su viabilidad y ratificar su comportamiento sobre un canal de retorno.

Se propone también agregar varios nodos, por lo menos 100 para determinar el comportamiento de la red con un número elevado de usuarios y observar si el comportamiento del modelo, se asemeje a uno que tenga más nodos.

Por último se propone realizar investigaciones sobre otros tipos de modelos de tráfico que se caractericen por el envío de datos variables, para de esta forma contrastar que tan eficiente es el modelo propuesto y de realizar análisis más precisos que permitan el mejoramiento de la televisión digital y que permita garantizar una excelente calidad de servicio para los televidentes.

GLOSARIO

- 8VSB: Es un tipo de modulación que cumple con los regímenes de la modulación analógica implementada para el estándar Americano.
- ATSC (Advanced Television Estándar Comitte): Estándar adoptado por los estados unidos para la televisión digital.
- BTSA: Transmisor que se utilizó para realizar pruebas con el estándar DVB-T en Colombia.
- Calatrava: Estación de propiedad de los operadores nacionales privados, ubicado en el cerro de suba de Bogotá.
- CNTV (Comisión Nacional de Televisión): Es un organismo de derecho público encargado de dirigir y desarrollar cierto tipo de políticas en materia de la televisión en el país.
- DiBERG: Consorcio de empresas y concesionarias Japonesas (Knörich, s.f).
- Dipolo: Un dipolo de un tipo de antena que tiene una alimentación, que se emplea para la transmisión o para la recepción de ondas de radiofrecuencia.
- DMB-T/H (Digital Multimedia Broadcast Terrestrial/Handheld): Estándar adoptado por china, para la transmisión de la televisión digital móvil.
- DSM-CC (Digital Store Media - Command and Control): es un estándar ISO/IEC publicado en el año de 1998 para facilitar la transmisión de servicios multimedia interactivos de banda ancha.
- DVB (Digital Video Broadcasting): Organismo encargado de proponer y crear procedimientos de estandarización para la televisión digital.
- DVB-MHP (Digital Video Broadcasting - Multimedia Home Platform): es el estándar de DVB para el uso de sus contenidos interactivos.
- DVB-RCC (Digital Video Broadcasting - Return Channel Cable): es el estándar de canal de retorno que se utiliza por medio de cable.

- DVB-RCS (Digital Video Broadcasting - Return Channel Satelital): es el estándar de canal de retorno que se utiliza para transmisiones satelitales.
- DVB-RCT (Digital Video Broadcasting - Return Channel Terrestrial): es el estándar de canal de retorno que se amolda más para el estándar Europeo.
- DVB-T (Digital Video Broadcasting Terrestrial): Estándar adoptado por Europa para la transmisión de televisión digital.
- ETSI: El Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones es una organización de estandarización de la industria de las telecomunicaciones.
- FSK: Es un tipo de modulación en frecuencia en la cual la señal moduladora es un flujo de pulsos que varía entre valores determinados, la modulada es una señal senoidal que varía entre valores de frecuencia distintos (Sabana & Velasco, 2009).
- Harris: Transmisor que se utilizó para realizar pruebas con el estándar ATSC en Colombia.
- HDTV (Televisión de Alta Definición): La televisión de alta definición, es uno de los formatos que permite ver la televisión digital con una mejor calidad de imagen.
- IDTV: Decodificador integrado al televisor, para la recepción de señales digitales
- Interactividad: Hace referencia a la interacción, o modo de dialogo que se tiene entre el usuario y la máquina.
- ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial): Estándar adoptado por Japón para la transmisión de la televisión digital.
- ISO (Organización Internacional de Normalización): es el organismo encargado de promover el desarrollo de normas internacionales de fabricación, comercio y comunicación para todas las ramas industriales.
- MHP (Multimedia Home Platform): MHP define una plataforma común para las aplicaciones interactivas de la televisión digital, independiente tanto del proveedor de servicios interactivos como del receptor de televisión utilizado (Cobo, 2005).

- MPEG-4: MPEG-4 es un estándar internacional (ISO/IEC 14496) desarrollado por MPEG (Moving Picture Experts Group). La especificación de MPEG-4 fue finalizada en Octubre de 1998 y se convirtió en un estándar Internacional a principio del 1999 (Sánchez, 2006).
- NS-2 (Network Simulator 2): Software de libre distribución que tiene la característica de simular redes cableadas o inalámbricas.
- OFDM: Es una multiplexación que consiste en enviar la información modulando en QAM o PSK un conjunto de portadoras de diferentes frecuencias por el mismo canal donde transmite múltiples señales simultáneamente sobre un solo medio de transmisión (Pérez, 2004).
- Portabilidad: Hace referencia a una recepción portátil, que implica que la señal pueda ser recibida directamente en un terminal, como un celular, palm o pc.
- PSK: La modulación por desplazamiento de fase o PSK (Phase Shift Keying) es una forma de modulación angular que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos (Sabana & Velasco, 2009).
- QAM: La Modulación de Amplitud en Cuadratura o QAM es una modulación digital en la que el mensaje está contenido tanto en la amplitud como en la fase de la señal transmitida (Hernández, s.f).
- QPSK (Quadrature Phase Shift Keying): es un esquema de modulación lineal digital donde la información transportada por la señal transmitida está contenida en la fase (Sabana & Velasco, 2009).
- Radiodifusión: es un servicio de radiocomunicación cuyas emisiones se destinan a ser recibidas directamente por el público.
- RCTT (Return Channel Terminal Terrestrial): hace referencia al terminal que tiene un televidente, en este caso al set top box.
- SDTV (Televisión de Definición Estándar): Nombre que reciben las transmisiones de televisión actuales en formato analógico, para poderlas diferenciar de la HDTV.
- SRM (Session and Resource Manager): es una entidad lógica definida por DSM-CC que proporciona una dirección centralizada de sus sesiones y recursos.

- STB (Set Top Box): Decodificador utilizado para la recepción de televisión digital.
- TDT (Televisión Digital Terrestre): terrestre hace referencia a la aplicación de nuevas tecnologías del medio digital al tipo de transmisión de contenidos a través de una antena convencional.
- Tráfico: capacidad de una red de comunicaciones, demanda de servicio que los usuarios le imponen y el nivel de desempeño que la red puede alcanzar (Sanchez, 2006).
- UHF (Ultra High Frequency): es una banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 300 MHz a 3 GHz.
- UIT: las siglas UIT hacen referencia a la Unión Internacional de Telecomunicaciones; es el organismo especializado de la Organización de las Naciones Unidas encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas operadoras.
- VHF (Very High Frequency): es la banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 30 MHz a 300 MHz.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, M. I. (2009). Estado del arte, generación y uso del conocimiento sobre televisión digital terrestre (TDT) en Colombia. *Razón y Palabra* , 2-3.
- Almarza V, D. E. (s.f). *RADIODIFUSIÓN DIGITAL TERRESTRE: Estándar DVB-T*. Caracas: DIRECTV.
- Alzate Monroy, M. A. (2007). *Complejidad en Redes Modernas de Comunicaciones*. Bogotá: Universiad Distrital.
- Alzate Monroy, M. A. (2001). Introducción al tráfico autosimilar en redes de comunicaciones. *Revista Ingeniería* , 6.
- Alzate, M. A. (2001). Modelos de Tráfico en Anlisis y control de Redes de Comunicaciones. *Revista de Ingenieria. Fcultad de Ingenieria - Universidad Distrital Fransisco Jose de Caldas* , VI.
- Arboleda Arcila, C. (2008). Televisión Digital Terrestre en Colombia. *Televisión de Calidad 2008 - VII muestra y Seminario Internacional* (págs. 2-3). Bogotá: Comisión Nacional de Televisión.
- Arboleda, C. (2008). Televisión Digital Terrestre en Colombia. *Televisión de calidad 2008-VII muestra y seminario internacional* (págs. 4-5). Bogotá: Comisión Nacional de Televisión.
- Arcos Gómez, N. D. (2008). *ESTUDIO DE LOS SERVICIOS INTERACTIVOS SOBRE REDES DE TELEVISIÓN DIGITAL Y SU APLICACIÓN EN EL ECUADOR*. Sangolquí: ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO - DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA.
- Berrocal, J., Vásquez, E., Gonzáles, F., Álvarez, M., Vinyes, J., Manidabeita, G., y otros. (2003). *Redes de Acceso de Banda Ancha.Arquitectura, Prestaciones, Servicios y Evolución*. Barcelona.
- Campanella, H., Morales, A., & Saad, R. (2001). *Modulación QPSK no ideal en UTRA-TDD*. Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte.
- Cobo Jiménez, A. (2009). *Nuevas aplicaciones y servicios en TDT*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.

CompresiondevideoDigital.http://www.axis.com/es/documentacion/compresion_video_es.pdf. (Recuperada en Mayo de 2011).

Díaz, G. (2002). *Estrategias Informativas y comerciales de la Televisión digital por satélite*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.

ETSI 300 800: "Digital Video Broadcasting (DVB); Interaction channel for Cable TV distribution systems (CATV)". (known also as the "DVB-RCC spec).

ETSI EN 301 790: "Digital Video Broadcasting (DVB); Interaction Channel for Satellite Distribution Systems"

ETSI EN 301 958 V1.1.1 (2002-03): "Digital Video Broadcasting (DVB); Interaction channel for Digital Terrestrial Television (RCT), incorporating Multiple Access OFDM"

ETSI TS 102 812: "Digital Video Broadcasting (DVB); Multimedia Home Platform (MHP) Specification 1.1.1"

Figueroa Clausen, J., Maestre Cuello, A., Noriega de la Hoz, E., Alvarez Corredor, F., & Carreño Cardona, J. A. (2009). *Informe sectorial de Televisión*. Bogotá: Comisión Nacional de Televisión.

Fischer, W. (2007). *Digital Video and Audio Broadcasting Technology*. München: Springer.

Forem. (s.f). *Adaptación y desarrollo de un sistema de TV digital con carácter multisectorial*. Madrid: Gobierno de España, CCOO, inem.

Galar de Santiago, J. (2009). *DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE CAPA FÍSICA DE UNA RED DE COMUNICACIONES MEDIANTE PLC PARA USO COMO CANAL DE RETORNO EN TDT*. Madrid: ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI).

García Sabater, J. P. (2001). *Teoría de colas*. Madrid: Departamento de Organización de Empresas, E.F. y C.

Gerld, C. (2001). *Fundamentals of Digital Television Transmisson*. (G. C. Consulting, Ed.)

Hernández Rioja, I. (s.f). *Modulación QAM*.

Hernández Aguirre, M. I. (s.f). ESTADO DEL ARTE, GENERACIÓN Y USO DEL CONOCIMIENTO SOBRE CONTENIDOS DE TELEVISIÓN. *RAZÓN Y PALABRA* , 7-9.

Hernández Aguirre, M. I. (s.f). ESTADO DEL ARTE, GENERACIÓN Y USO DEL CONOCIMIENTO SOBRE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (TDT) EN COLOMBIA. *RAZÓN Y PALABRA - Primera Revista Electrónica en América Latina Especializada en Comunicación* , 4.

Ibrahim, K. F. (2007). *Newnes Guide to Television and Video Technology* (Cuarta Edición ed.). (Newnes, Ed.)

iLAB, P. (24 de Junio de 2008). *i:LAB - Interconexión de Laboratorios de TDT sobre MHP*. Recuperado el 8 de Septiembre de 2011, de <http://kristal-priv.ita.es/ilab/images/documents/analisisfuncionalidadesilab.pdf>

Iniesta, M. (s.f). *Probabilidad - Variables Aleatorias Continuas*. Murcia: Universidad de Murcia.

Islas Lascano, K., & Sandoval Orozco, I. (2007). *Tecnología de la alta Definición en la Televisión de alta Definición*. Culhuacan: Instituto Politecnico Nacional, Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica.

Jiménez Bahamón, L. (2010). *Televisión digital en Colombia*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

Jiménez Cobo, A. (2009). *Nuevas aplicaciones y servicios interactivos de TDT*. Barcelona: Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones - Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicacions de Barcelona; Universitat Politècnica de Catalunya .

Knörich Zuffo, M. (s.f). *TV Digital aberta no Brasil - Políticas Estruturais para um modelo nacional*. São Paulo: Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos. Escola Politécnica - Universidade de São Paulo.

Lacayo Cruz, E. R. (2002). *Capítulo 6, WAN como origen del ATM*. Madrid.

Lahura, E. (2003). *El coeficiente de correlación y correlaciones espúreas*. Lima: Pontificia Universidad Católica de Peru.

Laiola Guimarães, R., & Resende Costa, R. (2006). *Interatividade e Sincronismo em TV Digital*. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Larrañaga, D. A. (2003). *MPEG-4 SOBRE CATV*. Montevideo: Universidad Católica del Uruguay.

Martín, D. (2008). Una Sencilla Panorámica de la Televisión en Movilidad. (pág. 7). Bogotá: G@TV.

Martínez Patiño, A. J. (2011). *Modelamiento de Tráfico de una transmisión de Teletexto en Televisión Digital Terrestre en el estándar DVB-T*. Bogotá: Fundación Universitaria San Martín - Grupo de interés modelamiento de tráfico.

Mello Marshall, P. (2005). *SISTEMA BRASILEIRO DE TELEVISÃO DIGITAL*. Campinas: UNICAMP / FEEC.

MHP, G. d. (2005). *Foro Técnico de la Televisión Digital*. España: Ministerio de Industria, turismo y comercio.

Pallarés Segarra, E. (2001). Contribución a la Evaluación y Dimensionado de Nodos y Enlaces en Redes de Alta Velocidad. Barcelona: Escola Técnica superior D'Enginyeria de Telecomunicación de Barcelona.

Peng, C., Cesar, P., & Vuorima, P. (2001). *Integration of applications into digital Television*. Finland.

Pérez García, N. (2009). Televisión Digital Terrestre e Interactividad. *Bloque 2. Interactividad* (págs. 2-14). Caracas: Universidad de los Andes.

Pérez Vega, C. (2010). *Introducción a los sistemas transmisores de Televisión*. Zaragoza: Universidad de Cantabria.

Pérez Vega, C. (2004). *Modulación COFDM*.

Prado, E., Franquer, R., Soto, M. T., Ribes, X., & Fernández, D. (2008). *Tipología funcional de la televisión interactiva y de las aplicaciones de interacción con el televisor*. ZER.

Roldán, B. A. (2007). *Estudio de modelos de movimiento en interiores para aplicación en entornos WLAN*. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya.

Ruíz Cruz, J. (2008). *Transmisión Digital, por canales de ancho de banda limitado*. Madrid: Escuela Politécnica Superior, Universidad Autónoma de Madrid.

Sabana Mendieta, M. H., & Velasco Santamaría, E. G. (2009). *Prototipo PLC basico para un sistema Indoor*. Bogotá: Fundación Universitaria San Martin.

Salas, Ramón, La interactividad en la televisión digital, <http://www.mexicanadecomunicacion.com.mx/Tables/RMC/rmc99/interactividad.html#11>, 10 de enero de 2008.

Sanchez Cifuentes, J. F. (2006). *Modelo de Tráfico para Video MPEG-4*. Bogotá: Fundación Universitaria San Martin.

Sánchez, M., & Ramos, J. (2002). *Codificación de canal - Turbo Codificación*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.

Sauvalle, R. (2005). Producción de TV Interactiva. *Día Mundial de las Telecomunicaciones Uniacc, 2005*, (pág. 3).

Sotelo, R., & Durán, D. (2008). *Modulación Digital - Aplicación a la Televisión Digital en DVB*. Montevideo: Universidad de Montevideo.

Vega Valle, J. (2004). *Diseño e implementación de una herramienta para la enseñanza y el aprendizaje de la teoría de colas*. Coruña: UNIVERSIDADE DA CORUÑA.

Zoran Bojkovic, B. B. (2008). *Trends in Interactive Services for Digital Television Infrastructure*. Serbia: University of Belgrade - Issue 12, Volume 7.