PROCESO DE CONVERSIÓN DE TRANSMISIÓN ANÁLOGA A DIGITAL EN UN SISTEMA DE TELEVISIÓN POR CABLE MANTENIENDO CONTINUIDAD CON LOS OTROS SERVICIOS QUE SE TRANSMITEN EN LA RED HFC

María Belén Egüez Del Pozo[1], César Yépez Flores[2]

[1] Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones 2005, email: meguez@fiec.espol.edu.ec

[2] Director de Tesis. Ingeniero Eléctrico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1979, Postgrado EE.UU., Universidad de Ohio, Profesor de ESPOL desde 1981, email: cyepez@espol.edu.ec

RESUMEN

Este trabajo incursiona en la tecnología de la televisión digital, la cual posee un amplio numero de ventajas tales como el alto grado de compresión a bajas tasas de bits. La mejor forma de iniciar con esta nueva tecnología en nuestro país, es a través de una red de cable, básicamente por la capacidad adquisitiva de la población, ya que de otro modo el usuario tendría que adquirir terminales de alta definición cuyo valor sobrepasa los 1000 dólares.

El principal objetivo del trabajo consistió en diseñar la red que permitirá la transmisión simultánea de señales de televisión analógicas y digitales por una red de cable en nuestro país. Para lograr nuestro objetivo fue necesario conocer el proceso de codificación MPEG-2, así como los estándares que actualmente definen la televisión digital: DVB, y OpenCable. Se inició el diseño eligiendo el estándar más adecuado para la transmisión en formato digital basándose en los requerimientos de la red, el principal punto a considerar aquí fue la piratería, problema que actualmente afecta al cable operador. Por último este trabajo no estaría completo sin incluir un análisis de los costos de infraestructura que esta nueva tecnología conlleva a la empresa.

This work is about digital television technology; it has a number of advantages like a high compression ratio at low bit rates through redundant information dropping. The best way of starting with this new technology in our country, is through a cable network, basically due to the buying capacity of the population, otherwise the user would have to purchase high definition terminals whose price exceeds 1000 dollars.

The main goal of this work was based on network design, which allowed the simultaneous transmition of analog and digital signals through a cable network in our country. To achieve our goal was necessary to know MPEG-2 coding process, and the standards which define the digital television: DVB and Open Cable. The design started by picking the right standard based on the requirements of the network, the main point of consideration was the illegal access to the broadcast signals, which at the moment is affecting the economy of the cable operator. At last, this work wouldn't be completed without a whole analysis of the infrastructure's costs involving this new technology.

INTRODUCCIÓN

Ya sea de forma satelital, terrestre o por cable, la televisión digital ya es un hecho palpable en el mundo desarrollado, sus numerosas ventajas, como el alto grado de compresión, la mayor inmunidad al ruido, etc. Son los motivos que convertirán a la televisión analógica en algo del pasado.

Para un operador de cable que actualmente transmite su señal en formato analógico las ventajas que brinda la digitalización van desde un ahorro del ancho de banda hasta una expansión en sus servicios. En el mismo espectro de un canal analógico el operador puede transmitir hasta seis canales en formato digital; una vez analizadas las ventajas de la digitalización, si el operador desea transmitir en formato digital debe considerar que el cambio debe ser gradual, presentándose un proceso de transición que permitirá transmitir determinadas señales en ambos formatos de manera simultanea por la red, hasta llegar gradualmente a un punto en el cual se transmitan solo los canales en formato digital.

La principal característica que tiene una señal digital es su capacidad de compresión, las señales de video analógicas se caracterizan por poseer demasiada información redundante que lleva a un uso ineficiente del espectro, en este trabajo se demuestra como la codificación de video MPEG-2 logra transmitir hasta 6 canales en el mismo ancho de banda de una señal de televisión analógica.

Así como existen diferentes especificaciones para la codificación analógica (NTSC, PAL, SECAM) la televisión digital se acopla a dos estándares: DVB, adoptado en Europa, y Open Cable, de los Estados Unidos. En este trabajo se exponen las principales características de cada uno, con el fin de determinar el más conveniente para implementarlo en el HeadEnd de Grupo TVCABLE.

El diseño de la red es la parte más importante de este trabajo ya que agrupa todos los enunciados anteriores y los presenta como un conjunto. Pero este diseño no estaría completo sin un análisis de los costos de infraestructura que la empresa debe considerar para la puesta en marcha del proyecto, en este análisis se indica el tiempo que le tomará a la empresa recuperar su inversión y la rentabilidad que este proyecto representa.

CONTENIDO

VENTAJAS DE LA SEÑAL DIGITAL DE TELEVISIÓN SOBRE LA ANALÓGICA.

Las características de *imagen y sonido* de una señal digital son mucho mejor que las de una señal analógica, también se tiene que la baja resolución de una señal analógica se hace más notoria en los televisores de pantalla gigante, o cuando se da un vistazo al televisor luego de permanecer mucho tiempo frente a un monitor de computador. A diferencia de esto un receptor que reciba una señal digital de televisión brindara una calidad de imagen de DVD.

El formato NTSC, adoptado en nuestro país para la transmisión de televisión local es altamente vulnerable al ruido, esto se manifiesta generalmente en una alteración del color de la imagen, por este motivo los receptores de televisión en formato NTSC poseen el ajuste “HUE”. Pero el ruido también se manifiesta en la aparición de una doble imagen en la pantalla e incluso la conocida “lluvia”. Al utilizar la transmisión en formato digital estos errores se reducen al mínimo debido a que en los paquetes de datos se incluyen campos para la corrección de los errores de imagen.

La señal de audio en un sistema de televisión se transmite con modulación FM, y cabe resaltar que si se compara el audio de la radio en una estación FM, con el audio producido por un reproductor de CD la calidad y nitidez de sonido del último son de mejor calidad, esto se debe a que esta en formato digital y es menos susceptible a ruidos.

La relación señal a ruido para una transmisión de televisión analógica en un sistema de cable es de 49 dB y para una transmisión en formato digital se requieren 27 dB, esta disminución de 22 dB nos muestra que la transmisión de señales de televisión en formato digital tiene la ventaja de requerir un menor nivel de potencia de transmisión y por ende un ahorro de dinero.

A mas de haber considerado las ventajas en calidad de señal y bajo consumo de potencia que ofrece la transmisión de televisión digital, una ventaja más significativa que estas es la característica que tienen las señales digitales para alcanzar altos niveles de **compresión**. Una señal digital de video sin comprimir consume una tasa de 216 Mbps y mediante las técnicas de compresión que posee el estándar MPEG-2 esta tasa se puede reducir hasta en 4 Mbps. La compresión de la señal de televisión en formato digital permite un uso eficiente del espectro el cual puede ser reasignado para cubrir otras áreas de servicio, ya sea transmitiendo un mayor número de canales, o extender su red a servicios de telefonía o datos.

MPEG

Las señales digitales poseen mayor inmunidad al ruido, pero este no seria un punto muy importante a considerar en un medio guiado como lo es una red HFC, el punto fuerte de la digitalización de las señales de video para este tipo de red radica en el alto grado de **compresión** que se puede alcanzar y esto no seria posible sin el estándar de compresión de video MPEG.

El estándar determinado por The Moving Picture Experts Group es un método estándar para la transmisión de video y audio digital en un formato comprimido usando un ancho de banda menor al método analógico tradicional.

El primer estándar introducido por MPEG fue MPEG-1 se lo usa para comprimir películas en discos compactos regulares (VCD). MPEG-1 utiliza una baja tasa de bits dando como resultado una imagen de calidad similar a la brindada por un VHS, MPEG-1 permite la codificación de video en formato progresivo.

MPEG-2 (ISO 13818-1) es el estándar usado en el mundo de la televisión. MPEG-2 soluciona los problemas que brindaba MPEG-1 en los aspectos de resolución, escalabilidad y manejo de video entrelazado. Brinda una mejor calidad de imagen y permite que múltiples canales a diferentes tasas de transmisión sean multiplexados en un simple flujo de datos. Esta ultima característica lo convierte en el estándar más adecuado para la distribución de video de forma satelital y terrestre. MPEG-2 soporta tasas de datos para transmisiones de alta definición de 15 a 30 Mbps.

DVB y OpenCable

DVB

El DVB esta formado por un conjunto de casi 300 compañías europeas, con el objetivo desarrollar estándares para la conversión de la televisión analógica a digital, utiliza MPEG-1 para codificar el audio y MPEG-2 para la codificación de video.

OpenCable

Este es el conjunto de especificaciones que regulan la difusión de televisión digital por cable en los Estados Unidos. Ha fijado para la codificación del audio el estándar AC-3 y para el video el estándar MPEG-2.

Cuando se estaban desarrollando las especificaciones para el estándar, se probaron los formatos de compresión AC-3 y Musicam (MPEG), los dos mostraban las mismas habilidades incluso para la compresión de 5 canales de audio en un mismo ancho de banda, pero AC-3 demostró un mejor rendimiento en determinada área, luego se descubrió que el procedimiento de prueba fue defectuoso y se realizo una prueba posterior tras haber publicado el estándar, llegándose a la conclusión de que Musicam tenia el mismo rendimiento que AC-3.

La siguiente tabla muestra los aspectos más importantes de los dos estándares:

Tabla I._ Diferencias entre DVB y OpenCable

	DVB			OPEN CABLE	
Esquemas de Modulación	16-QAM.	32-QAM	64-QAM	64-QAM	256-QAM
Ancho de banda utilizado [Mhz]	7.86	7.96	7.92	6	
Bit rate [Mbps]	27.34	34.61	41.34	26.97	38.81
Esquemas usados para corrección de errores	Reed Solomon			Reed Solomon + Trellis Coding	
C/N (BER= 10^{-6}) [dB]	25.02	25.98	27	27	33
Eficiencia de Ancho de banda [bits /hz]	3	4	5	4	4

ASPECTOS DETERMINANTES EN LA ELECCIÓN DEL ESTÁNDAR MAS ADECUADO PARA TRANSMISIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL

En el trabajo se realizó la elección del estándar más adecuado basándose en los requerimientos de la empresa TVCABLE; primero se realizó una tabla de ponderación con los aspectos más importantes para la empresa en lo que concerniente a este cambio tecnológico, y luego se justificaron los pesos asignados para llegar a una elección definitiva del estándar que más se ajusta a los requerimientos del proveedor.

TABLA DE PONDERACIONES

Tabla II. Tabla de Ponderaciones

Aspecto a considerar	Relevancia %
Seguridad	**.40**
Precio de adquisición de los equipos	**.25**
Uso eficiente del ancho de banda (bits/hz)	**.15**
Estandarización de componentes	**.10**
Inmunidad al ruido	**.05**
Canalización en diferentes Anchos de banda	**.05**

Como aspecto de mayor relevancia se consideró la seguridad, esto se debe a que actualmente la empresa enfrenta el problema de la “piratería”; existen muchos casos de vendedores esporádicos que ofertan tarjetas decodificadoras por un precio económico, permitiéndole al comprador acceder a todos los canales de televisión que se transmiten por la red de TVCABLE sin que este pague una mensualidad al cable operador. Este hecho a más de ser ilegal representa grandes pérdidas a la empresa.

Se concluyó que Open Cable presenta una ventaja sobre DVB en los aspectos de seguridad, y precio de adquisición de los equipos, debido a que estos son los aspectos de mayor relevancia, Open Cable fue elegido como el estándar mas adecuado a implementar en la red de cable.

DISEÑO DE LA RED

SEÑALES DE ENTRADA.
Las señales digitales de televisión que serán transmitidas por la red HFC, pueden recibirse en el HE en formato digital o analógico. El formato digital es utilizado frecuentemente para señales recibidas de forma satelital y el formato analógico para señales de recepción local.

EL ENCODER
El ENCODER es el equipo que permitirá convertir el audio y video analógico en paquetes de transporte MPEG-2. Las características principales del ENCODER son:
- Tipo de codificación de video: MPEG-2
- Tipo de codificación de audio: AC-3

EQUIPOS DE RECEPCIÓN SATELITAL
Los EQUIPOS DE RECEPCIÓN SATELITAL, IRD, conforman el siguiente bloque de procesamiento de las señales satelitales luego de su correspondiente recepción en la antena. El IRD necesario para la transmisión de canales de televisión en formato analógico es del tipo D/A, ya que su entrada es una señal digital proveniente del satélite, y su salida una señal audiovisual analógica.

Para la recepción de señales de televisión que serán transmitidas exclusivamente en formato digital, se necesita un IRD del tipo D/D, a diferencia de los receptores satelitales usados para formato analógico, puede transmitir mas de un canal de televisión, ya que tiene a su salida un flujo de paquetes MPEG-2 multiplexados, llamados comunmente Flujo de transporte multiprograma (MPTS). Las características del receptor son las siguientes:

MULTIPLEXACIÓN
El PID es un campo del Paquete de Transporte que permite identificar la información que contiene el payload. En el encoder se debe especificar el PID de los servicios de audio, video y datos, para que el decodificador pueda identificar la información que está recibiendo. Al multiplexar diferentes programas lo que se realiza es una organización de los programas en tablas identificadas con diferentes PID. El multiplexado se realiza en tiempo, ya que un multiplexado estadístico requiere equipos con mayor nivel de procesamiento y por ende más costoso. Las tablas PSIP son características propias del estándar Open Cable, añaden más información dentro de los PID; permiten la elaboración de la Guía Electrónica de Programas así como la elaboración de más tablas que permiten la organización de los programas con sus respectivas restricciones de acceso.

ENCRIPTADO

Este proceso es necesario para asegurar la transmisión de la señal, el estándar Open Cable ha especificado el estándar de encriptado DES de General Instruments. Este algoritmo trabaja con bloques de 64 bits y una clave de 56 bits. A la salida se tendrán tramas de transporte MPEG-2 cifradas**.**

MODULACIÓN

La ubicación espectral de la información de video digital estará situada entre los 550 y 864 Mhz tal como lo indica el Estándar para la Interfase de la red digital de cable, DVS-241. De acuerdo a la especificación DVS-031, la modulación QAM con constelaciones de 64 y 256 son las más apropiadas para la transmisión de las señales. La tasa de bit para un canal con ancho de banda de 6 Mhz y modulación QAM-64 es 26.97035 Mbps, por este canal pueden enviarse hasta 6 canales en formato digital con una tasa de 4 Mbps cada uno.

LA RED DE CONTROL

La Red de Control está encabezada por el Sistema Administrador del HeadEnd, el cual controla el acceso de determinados canales a través del Sistema de Acceso Condicional (CAS), así como la elaboración de la Guía Electrónica Programable (EPG). A más de esto el Administrador recibe y envía información a través de los canales fuera de banda (OOB). El Sistema Administrador controla el funcionamiento de los Encoders, IRD's, así como el del multiplexor, encriptor y modulador a través de una interfaz Ethernet. Con los Moduladores de canal de Retorno el usuario podrá enviar peticiones PPV, o adquisiciones de nuevos servicios al cable operador.

EQUIPO TERMINAL DEL USUARIO

El equipo terminal del usuario debe poseer una tarjeta del tipo PCM-CIA, al inicializar el servicio esta tarjeta intercambiara con el equipo terminal un grupo de claves encriptadas para verificar la autentificación del equipo, luego de autentificarlo envía información por el canal de retorno al Sistema de Acceso Condicional, indicándole la validez del usuario para proceder al envío de la información a la que este tiene acceso. En el caso de no validar el equipo la tarjeta envía al Sistema de Acceso Condicional un aviso, para que este no envíe información de ningún tipo al terminal. De esta forma OpenCable brinda un alto grado de seguridad al proveedor eliminando posibles intentos de piratería.

ESQUEMA DE LA RED

A continuación se muestra el esquema propuesto para el diseño de la red que permitirá la transmisión de señales de televisión digital y analógicas simultáneamente.

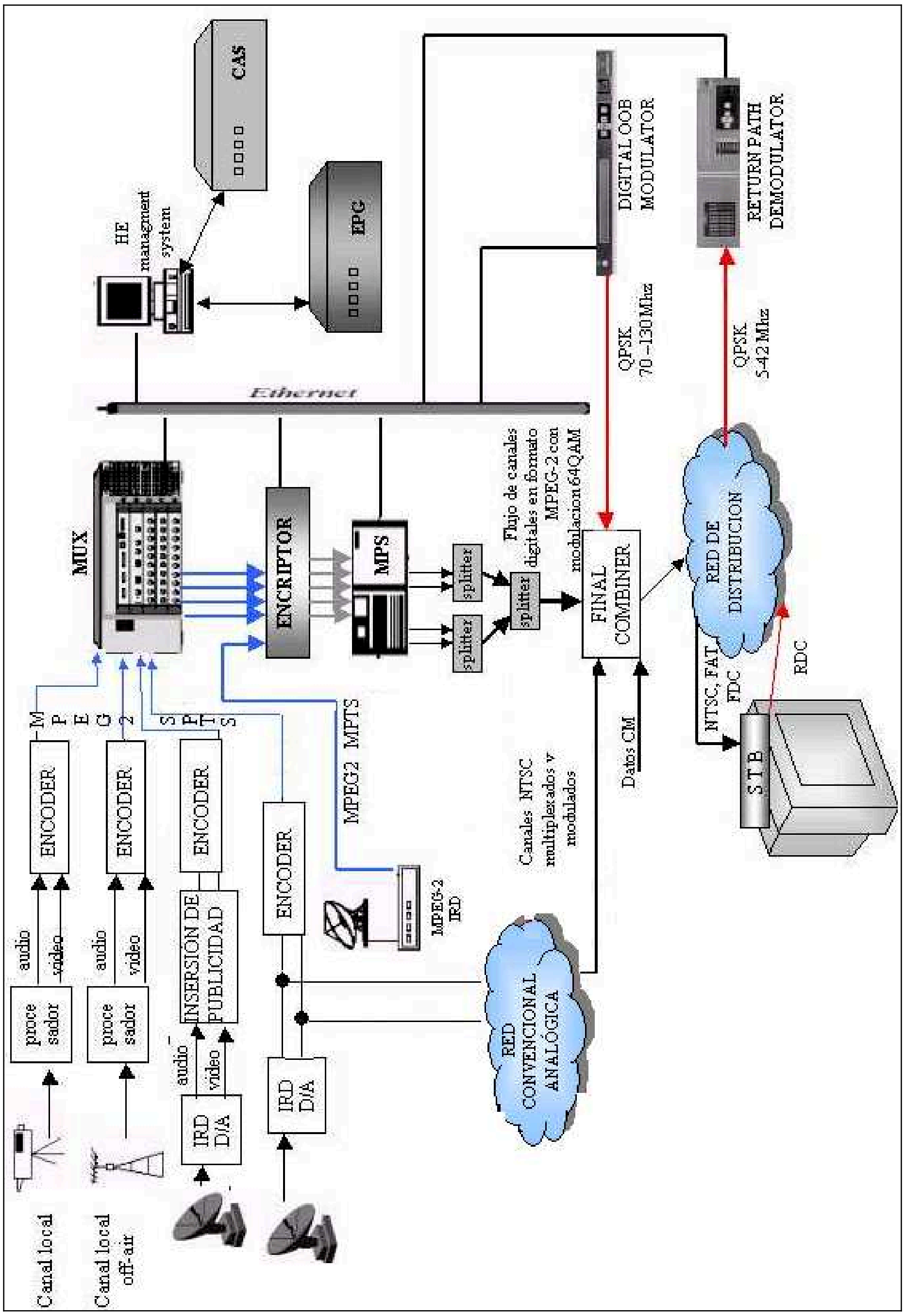

Figura 1._ Esquema de la red

ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE INFRAESTRUCTURA

Ningún diseño de red estaría completo si un análisis económico del proyecto, por este motivo se realizaron cálculos que permitieron determinar el tiempo de implementación y puesta en marcha del proyecto así como el tiempo que le tomará a la empresa recuperar la inversión.

El porcentaje de crecimiento de la demanda del nuevo servicio entre los años 1 y 2 se aproximó al que el servicio de Cable MODEM obtuvo en su primer año, es decir el 21%, de este punto en adelante se considera el crecimiento del 35% que corresponde al incremento de suscriptores de televisión por año.

Se llegó a la conclusión de que en un plazo de tres años la empresa recuperará el capital invertido, y luego de eso podrá realizar reinversiones durante los próximos años, obteniendo una rentabilidad del 54 al 67%.

CONCLUSIONES

Las grandes ventajas de las señales digitales de televisión, brindan tanto al operador como al usuario un servicio eficiente tanto en la administración del ancho de banda como en la calidad de la imagen.

OpenCable es el estándar mas adecuado para la transmisión de televisión digital por la red de cable de Grupo TVCABLE, con sus dos algoritmos de intercambio de claves a nivel del equipo terminal y un algoritmo de validación en el HE, OpenCable es la mejor alternativa para el control de la piratería de la señal.

El diseño de la red durante el proceso de transición permite al operador transmitir durante cierto periodo de tiempo su servicio de televisión analógico, para después de eso liberar el espectro ocupado por estas señales y transmitir solo canales en formato digital, así como expander los demás servicios que brinda a trabes de su red.

El análisis de los costos de infraestructura muestra la alta fiabilidad del proyecto, obteniéndose un plazo de tres años para recuperar la inversión y una rentabilidad considerable durante los próximos años.

REFERENCIAS

1.M Egüez, "Proceso de conversión de transmisión análoga a digital en un sistema de televisión por cable manteniendo continuidad con los otros servicios que se transmiten en la red HFC" (Tesis, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2005)
2. Society of Cable Telecommunications Engineers (SCTE), 2001, DIGITAL CABLE NETWORK INTERFACE STANDARD, www.scte.org/documents/pdf/SCTE402001DVS313.pdf
3. Peter Noll, 1999, MPEG DIGITAL AUDIO CODING STANDARD, www.ff.vu.lt/studentams/tekstai/ vizualizavimas/mpeg%20audio%20coding.pdf
4. Conexant Systems, Dolby Laboratories, Lucent Technologies, Qualcomm; 2001, EFFICIENT COMPRESSION AND PROCESSING OF AUDIO AND VIDEO SIGNALS, http://www.ucop.edu/research/micro/00_01/00_084.pdf
5. Lior Zimet, 2001, DIGITAL PROCESSING OF ANALOG TELEVISION, http://www.ida.gov.sg/idaweb/doc/download/I2663/NCSC_Digital_Cable_Report.pdf
6. ETSI, 1998, Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for cable systems, http://www.etsi.org
7. SCTE, 2003, Digital Video Service Multiplex and Transport System Standard for Cable Television (DVS-241), http://www.scte.org.