



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ARAGÓN**

**PROCESAMIENTO Y TRANSMISIÓN VÍA  
SATÉLITE DE SEÑALES DE TELEVISIÓN  
EN ALTA DEFINICIÓN**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A N:  
E D G A R M O R G A J I M É N E Z  
R I C A R D O P A L M A B E R N A L**



FES Aragón

**ASESOR:  
ING. JOSÉ LUIS GARCÍA ESPINOSA**

**MÉXICO**

**2008**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A large satellite dish antenna is shown in the foreground, pointing towards a satellite in the sky. The satellite is a complex structure with multiple panels and antennas. The background is a clear blue sky with some light clouds. The entire image is framed by a large, light blue, semi-transparent diamond shape.

# **PROCESAMIENTO Y TRANSMISIÓN VÍA SATÉLITE DE SEÑALES DE TELEVISIÓN EN ALTA DEFINICIÓN**

## AGRADECIMIENTOS

En estas sencillas pero muy significativas líneas queremos dar las más cordiales gracias a todas aquellas personas que nos dieron su comprensión, apoyo, conocimientos, tiempo pero antes que nada a Dios por haber puesto en nuestro camino a todas esas personas y por permitirnos haber concluido nuestros estudios.

Nuestro primer agradecimiento es para nuestra familia la cual fue el impulso y el motivo por el cual logramos el término de nuestra carrera ya que sin el apoyo moral, mental, espiritual, físico y económico no hubiera sido posible hacerlo.

Individualmente, Ricardo Palma Bernal agradezco de manera especial a mi mamá Hortensia de la Luz Bernal Rodríguez, a mi papá Ricardo Palma Sánchez, a mi hermana Adriana Palma Bernal, a mi tía Lilia Peral Rodríguez y a mi abuelo Mario Bernal Cruz por brindarme sus consejos en el momento adecuado, así como a las personas que físicamente no estuvieron conmigo pero sin duda me dieron bases sólidas para salir adelante mi abuelita Marcelina Cruz Cruz, mi tía Consuelo Bernal Cruz y mi tío Miguel Rodríguez Rosado; a todos ellos muchas gracias.

Por otra parte, Edgar Morga Jiménez agradezco el apoyo moral y económico que me brindaron mis padres, Flora Jiménez Martínez y Vicente Morga Avila en toda mi trayectoria como estudiante, por avocarme al estudio desde mi niñez, y por aguantar los tropiezos que daba. Hago otro agradecimiento a mi hermana Leticia y mi tía Celes y esa personita que quiero mucho llamada Alondra que también fueron de apoyo moral para la conclusión de mi carrera así como al profesor José Luis Ticante de la prepa por inducirme a las ciencias físico-matemáticas y al Ing. Everardo Ezquivel por hacerme ver de una forma más vivida la ingeniería, aaahhhh, y toda la banda del cantón, Foy, Caro, Manuel, Manfred, Feo, Chili, Paco, Lucas y al Ñor de la prepa.

De forma general agradecemos a todos los profesores que nos brindaron sus conocimientos y consejos pero especialmente a los que fueron puntos clave en nuestra formación académica como los ingenieros Pablo Luna Escorza, Margaro Pineda, Julián Zuñiga. También agradecemos a nuestro asesor el Ing. José Luis García Espinosa y a nuestros sinodales el M. en I. Ulises Mercado Valenzuela y los ingenieros Christian Pimentel Piedrabuena, Guillermo César Araujo Sánchez y Edgar Alfredo González Galindo.

Queremos dar un agradecimiento especial, por su colaboración en el desarrollo y estructura de la tesis a la Ing. Olivia Alva y al Ing. José Luis encargado del Telepuerto, ambos expertos en el tema y con experiencia en el campo laboral, así como a todos los ingenieros de la Dirección General de Televisión Educativa que nos apoyaron.

Por último gracias a los amigos que estuvieron con nosotros todo este tiempo especialmente a Sergio Luna Moreno, Eduardo Velázquez, Ángel Vargas, Marco A. Rojas, Leonardo Vargas, Jorge Castillo, César Ortiz, Joseph Mendoza, Miguel Roldán, David Rosales (el Chompi), Manuel, Miguel Barreto, Oliver Neri, Roberto Santos.

OBJETIVO	1
JUSTIFICACIÓN	2
INTRODUCCIÓN	4
<b>I. EL SISTEMA NTSC ANALÓGICO</b>	
1.1.- LA SEÑAL DE TELEVISIÓN	7
1.1.1.- COMPOSICIÓN Y PROCESO DEL VIDEO	8
➤ PÍXEL O ELEMENTO DE IMAGEN	8
➤ PERSISTENCIA DE LA VISIÓN	8
➤ BARRIDO DE LA IMAGEN	9
➤ TIPOS DE BARRIDO	11
➤ FRECUENCIAS DE CUADROS Y CAMPOS	12
➤ PULSOS DE SINCRONÍA Y BORRADO	14
➤ SINCRONIZACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL	16
➤ BORRADO HORIZONTAL Y VERTICAL (BLANKING)	16
1.1.2.- CUALIDADES DE LA IMAGEN	17
➤ TEORÍA DEL COLOR	18
➤ PROPIEDADES ÓPTICAS DE LA LUZ	20
➤ CAPTACIÓN DE LAS SEÑALES DE VIDEO	21
➤ LA SEÑAL DE COLOR DE 3.58 MHZ	29
1.1.3.- FUNDAMENTOS DEL SONIDO	33
➤ PARÁMETROS DEL SONIDO	34
➤ VELOCIDAD DEL SONIDO	36
➤ CARACTERÍSTICAS DEL SONIDO	37
➤ EL OÍDO HUMANO	38
1.1.4.- PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL DE AUDIO	38
1.2.- EL CANAL DE DIFUSIÓN DE TV DE 6MHZ.	40
1.3.- MODULACIÓN DE VIDEO Y AUDIO	41
1.3.1.- MODULACIÓN DE CROMINANCIA.	41
1.3.2.- MODULACIÓN DE SONIDO FM.	41
1.3.3.- FRECUENCIAS PORTADORAS.	42
1.4.- NORMAS DE TRANSMISIÓN	42

1.5.- DESVENTAJAS DEL SISTEMA NTSC ANALÓGICO	42
1.6.- CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO	43
<b>II. TELEVISIÓN DIGITAL (DTV)</b>	
2.1. FUNDAMENTOS	47
2.2. DIGITALIZACIÓN DE SEÑALES DE TELEVISIÓN	47
2.2.1. CONVERSIÓN A/D DE LA SEÑAL DE VIDEO (ITU-R 601)	49
2.2.2. CONVERSIÓN A/D DE LA SEÑAL DE AUDIO	60
2.3. COMPRESIÓN DE LA SEÑAL DIGITAL	66
2.3.1. CODIFICACIÓN PARA VIDEO MPEG	66
➤ LAS PRIMERAS NORMAS	66
➤ LA ITU-T Y EL MPEG	67
➤ REDUNDANCIA Y ENTROPÍA	67
➤ MPEG 1	68
➤ CODIFICADOR Y DECODIFICADOR DE MPEG-1	71
➤ CLASIFICACIONES DE MPEG	73
2.3.2. CODIFICACIÓN MPEG PARA AUDIO	76
➤ NECESIDAD DE COMPRESIÓN	76
➤ TIPOS DE COMPRESIÓN	76
➤ MODELO PSICOACÚSTICO	77
➤ IRRELEVANCIA Y REDUNDANCIA	79
➤ CLASIFICACIÓN DE LAS REDUNDANCIAS EN EL AUDIO	80
➤ COMPRESIÓN SIN PÉRDIDAS Y CON PÉRDIDAS	80
➤ ORGANIZACIÓN DE LA TRAMA DE AUDIO	81
2.4. CONVERSIÓN D/A DE SEÑALES DE TELEVISIÓN	82
2.4.1. SEÑAL DE VIDEO	82
2.4.2. SEÑAL DE AUDIO	83
2.5. TRANSMISIÓN DE TV DIGITAL	83
2.5.1. CONDICIONES DE LA TRANSMISIÓN DIGITAL.	84
2.5.2. CANAL DIGITAL Y ESTRUCTURA DE LA TRAMA.	84
➤ ALEATORIZACIÓN DE DATOS	84
➤ CODIFICACIÓN FEC	85
➤ FILTRADO	85
➤ MODULACIÓN	85

2.5.3. TIPOS DE MODULACIÓN DIGITAL.	86
➤ MODULACIÓN PSK	86
➤ MODULACIÓN QAM	87
➤ MODULACIÓN VSB	88
<b>III. LA TELEVISIÓN DE ALTA DEFINICIÓN</b>	
3.1. DE LA TELEVISIÓN DIGITAL A LA ALTA DEFINICIÓN	92
3.1.1. FUNDAMENTOS	92
➤ DIGITALIZACIÓN DE IMAGEN	92
➤ MODELO PARA HDTV	92
3.1.2. CODIFICACIÓN MPEG PARA HDTV	93
➤ CARACTERÍSTICAS H.264/MPEG-4 AVC	95
3.1.3. CODIFICACIÓN DE AUDIO DOLBY DIGITAL AC-3	97
➤ PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO	99
3.1.4. ETAPAS DE CODIFICACIÓN	99
3.2. FORMATOS DE IMAGEN PARA LA ALTA DEFINICIÓN	100
3.2.1. BARRIDO Y RESOLUCIÓN	100
3.2.2. PRINCIPALES FORMATOS DE HDTV	102
➤ ALTA DEFINICIÓN 1,920 X 1,080 COMMON IMAGE FORMAT	102
➤ RECOMENDACIÓN ITU-R BT 709-5	103
➤ ALTA DEFINICIÓN 1,280 X 720 P.I.S.S.	103
➤ ESTÁNDAR DE ESCANEEO (PROS Y CONTRAS)	104
3.2.3. FORMATO DE CONVERSIÓN DE IMAGEN	104
➤ CONVERSIÓN DE FORMATO	104
➤ CONVERSIÓN DE RELACIÓN DE IMAGEN	105
3.3. TRANSMISIÓN DE HDTV	105
3.3.1. TRANSMISIÓN DE HDTV EN MÉXICO	106
➤ CANALES DE HDTV EN MÉXICO	107
3.4. DISPOSITIVOS DE RECEPCIÓN DE HDTV	107
3.4.1. LEYENDAS EN LOS TELEVISORES	108
➤ TELEVISORES CON ETIQUETA HD READY	108
➤ TELEVISORES CON ETIQUETA HDTV	109

3.4.2. SINTONIZADOR DE ATSC	110
3.5. EL SISTEMA ATSC	111
3.5.1. ANTECEDENTES DEL SISTEMA	112
3.5.2. LA CONFUSIÓN	113
3.5.3. ATSC vs DVB	113
3.6. VENTAJAS Y APLICACIONES DE LA HDTV	116
3.6.1. VENTAJAS DE LA DTV Y HDTV DEL SISTEMA ATSC	116
➤ TELEVISIÓN AUTOFINANCIADA	116
➤ INCLUSIÓN SOCIAL	118
➤ COMPLEMENTARIEDAD DE LA TV POR AIRE O CABLE	119
➤ INTERACTIVIDAD	120
➤ MOVILIDAD	121
3.6.2. APLICACIONES DE LA HDTV	123
3.7. NORMAS DEL SISTEMA ATSC	124
<b>IV. LA DIRECCIÓN GENERAL DE TELEVISIÓN EDUCATIVA (DGTVE)</b>	
4.1. LA RED EDUSAT	126
4.2. ¿QUÉ ES LA DGTVE?	129
4.3. ESTRUCTURA DE LA DGTVE	129
➤ INVESTIGACIÓN, DESARROLLO AUDIOVISUAL	130
➤ FORMACIÓN Y CAPACITACIÓN	130
➤ CONSERVACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN	130
➤ PRODUCCIÓN	130
➤ PROGRAMACIÓN Y TRANSMISIÓN	130
➤ OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	130
4.4. ÁREAS	131
4.4.1. ESTUDIOS Y UNIDADES MÓVILES	131
➤ ILUMINACIÓN	132
➤ LA CÁMARA DE VIDEO	132
➤ EL GENERADOR DE CARACTERES	133
➤ EL ALMACENADOR DE IMÁGENES (STILL STORE)	133
➤ MEZCLADOR DE VIDEO	134
➤ EL PROCESADOR DE VIDEO	135
➤ MEZCLADOR DE AUDIO	136



---

4.4.2. CONTROL MAESTRO	136
4.4.3. CENTRAL DE CONMUTACIÓN Y PROCESAMIENTO DE SEÑALES	137
4.4.4. TELEPUERTO	140
4.5. SATÉLITE	144
4.6. PUNTO RECEPTOR	146
➤ CARACTERÍSTICAS DE LA PROGRAMACIÓN DE LOS CANALES	146
➤ ESTRUCTURA DEL PUNTO RECEPTOR	149
<b>V. MIGRACIÓN HACIA LA ALTA DEFINICIÓN EN LA DGTVE</b>	
5.1. INTRODUCCIÓN	151
5.2. FUNDAMENTOS Y CONSIDERACIONES	153
➤ DVB-S vs DVB-S2	155
5.3. CARACTERÍSTICAS DEL NUEVO SISTEMA	157
5.4. CAMBIOS Y NUEVO DISEÑO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN Y TX	159
5.4.1. CAMBIOS EN LA INFRAESTRUCTURA DE LA TELEVISORA (DGTVE)	159
➤ ESTUDIOS	159
➤ CENTRAL DE CONMUTACIÓN Y MASTER	163
➤ TELEPUERTO	166
5.4.2. CAMBIOS EN LA INFRAESTRUCTURA DE UN PUNTO RECEPTOR	168
5.5. CÁLCULO DEL ENLACE SATELITAL	170
➤ CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA	170
➤ CÁLCULO DE VELOCIDAD DE INFORMACIÓN	172
➤ CALCULANDO ANCHO DE BANDA (BW)	172
➤ CALCULANDO LOS PARÁMETROS	174
5.6. COSTOS Y BENEFICIOS	185
➤ COSTOS	185
➤ BENEFICIOS	185
CONCLUSIONES	187
GLOSARIO	188
BIBLIOGRAFÍA	192

## **OBJETIVO**

Difundir las tendencias en el procesamiento de la señal de televisión en alta definición, haciendo un análisis comparativo entre el sistema televisivo que actualmente se radia en México y un sistema con mejor calidad y funcionalidad. Abordando una parte en la televisión abierta, pero principalmente su uso restringido en el territorio nacional en un lapso efímero.

Esto lo llevaremos a cabo efectuando un estudio analítico para poder evaluar las mejoras manifestadas de los formatos actuales y explicar hacia donde va dirigido este novedoso sistema y, a partir de los resultados logrados, exponer la conveniencia y las ventajas de la alternancia.

Otro motivo, es dar a conocer el proceso de migración de un sistema a otro, lo cual permitirá al espectador disfrutar de algunos detalles de la imagen en total movimiento (full motion).

Todo este estudio nos dotará un conocimiento amplio sobre el tema, el cual se llevará a la práctica mediante la propuesta a la Dirección General de Televisión Educativa (DGTVE) de implantar esta nueva tecnología en su sistema de televisión, con la finalidad de brindar una mejor calidad en la forma de transmitir materiales educativos.

## JUSTIFICACIÓN

Plantear el procedimiento de migración hacia nuevos sistemas de telecomunicación que nos ofrezcan un ahorro significativo en los recursos de infraestructura en sistemas terrestres y satelitales esta en manos de personas con el deseo de innovar y adquirir nuevas tecnologías y a su vez informar al consumidor o telespectador, de los avances que ha dado estas.

Es evidente que la tecnología en materia televisiva creada en países como Japón y Estados Unidos ha llegado a México. Primero con la adquisición del sistema NTSC (*National Television System Committee* o Comité Nacional de Sistemas de Televisión) con sus parámetros de exploración de imagen (525 líneas por cuadro y 30 cuadros por segundo), un ancho de banda de 6 MHz y la señal de color con frecuencia de 3.58 MHz .

Ahora, lo nuevo que viene a cautivarnos es la televisión de alta definición, esto es un concepto de televisión digital basado en el sistema de televisión avanzada ATSC (*Advanced Television Systems Committee* o Comité Avanzado de los Sistemas de Televisión). Esta nueva tecnología de ver televisión va a permitir apreciar imágenes con una resolución de hasta cinco veces mejor a la televisión convencional ya que la cantidad de líneas de barrido será mayor.

Con la migración al sistema ATSC se podrán hacer uso de tecnologías de carácter digital como podría ser: la televisión interactiva, el sonido digital con efecto envolvente (hasta siete canales) y el almacenamiento del video en dispositivos magnéticos (cintas y discos duros) y otros más compactos como son CD`s, DVD`s, blu ray, tarjetas de memoria, tarjetas flash.

Son varias las ventajas que el televidente tendrá al hacer uso de este sistema de televisión; sin embargo, el único inconveniente es el alto costo de los receptores de HDTV (*High Definition Television* o Televisión de Alta Definición), pantallas de plasma y de LCD (*Liquid Crystal Display* o Pantallas de Cristal Líquido). Por otro lado, las televisoras deberán emigrar sus sistemas de producción de video para procesar señales de HDTV para que en un futuro ya se pueda transmitir en televisión abierta.

Hoy por hoy la empresa de comunicaciones Televisa y su filial Cablevisión llevan esta señal de HDTV como un servicio de paga hasta nuestros hogares por medio de cable coaxial. Así como Telmex que utiliza la tecnología ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line* o Línea de Abonado Digital Asimétrica) por medio del cable telefónico como medio de transporte.

A final de cuentas, una condición de la globalización es la migración hacia nuevas tecnologías para poder estar en compatibilidad con los países que fabrican, ensamblan y exportan todo el equipo de audio y video como Estados Unidos y Japón.

Por todo lo anterior es necesario conocer el funcionamiento de esta tecnología. Los estándares de los sistemas que debemos para ponerla en practica en nuestro país, así como las normas requisitadas para poder hacer uso de ella.

Para tal efecto analizaremos los términos usados en televisión basados en la norma NTSC; ya que es la usada en México. Después se analizará el sistema ATSC que es el formato adoptado por México para la transmisión de canales HDTV. Se compararán ambas tecnologías para dar a conocer en que aspectos es mejor migrar hacia la HDTV. En el siguiente paso se desarrollará un esquema el cual tiene el objetivo de transferir el sistema de televisión convencional (NTSC) de la Dirección General de Televisión Educativa (DGTVE) al sistema ATSC introduciendo la alta definición para mejorar la calidad de la educación. Finalmente se explicará el modo de transmisión vía satélite el cual no tiene mucha diferencia con el sistema NTSC.

## INTRODUCCION

Tras unos años de avance tecnológico en el mundo de las telecomunicaciones en general, sin duda, lo que ha permitido comenzar la revolución en el mundo de la televisión, ha sido en gran medida el tratamiento digital de la señal de televisión.

Aunque parezca que la HDTV es novedosa; lo cierto es que lleva mucho tiempo funcionando por todo el mundo como en los monitores de las computadoras personales, pantallas de plasma o cristal líquido, trabajando a resoluciones mayores. Sin embargo, las cadenas de televisión, de momento, no emiten masivamente en estos formatos. El problema con el que se enfrentan es que requieren de una inversión muy elevada para cambiar totalmente su forma de emisión y pasar de los sistemas analógicos a unos digitales.

Para comprender el procesamiento de las señales de televisión en alta definición (HDTV), desde la captura de las escenas por medio de una cámara hasta llegar a los aparatos receptores, es necesario saber como funciona la **visión humana** y tener algunos conocimientos previos de electrónica y telecomunicaciones.

Como el objetivo primordial de este análisis es dar a conocer los nuevos avances que ha venido dando la industria de la televisión; comparando los **antiguos sistemas analógicos** con los **modernos digitales**; será necesario primero mencionar como se fueron planteando y desarrollando los parámetros que rigen la televisión, y para esto primero analizaremos el sistema analógico, ya que este es la base de nuestro estudio.

Comenzamos explicando como se definieron los parámetros que llevaron a diseñar un estándar para tener compatibilidad entre sistemas de televisión de un país y otro. Dando como resultado la creación del sistema NTSC, creado en 1940 por los Estados Unidos y adoptado por Japón y la mayoría de los países de Latinoamérica, incluyendo México, que establece las normas y forma de transmisión de las señales de televisión. Otros países también crearon otros tipos de sistemas (formatos), como por ejemplo en Europa se opto por tener el sistema PAL (*Phase Alternating Line* o Línea Alternada en Fase), y el SECAM (*Séquentiel Couleur Avec me Moiré* en francés o Color secuencial con memoria) creado por Francia, el cual tiene mejores características que el NTSC.

El primer capítulo esta destinado a describir con detalle como esta constituido el sistema NTSC (ya que este es el que se emplea en nuestro país), abarcando desde como se compone la señal de televisión (audio y video), hasta los procesos que se llevan acabo antes de su emisión, mostrando de forma textual y gráfica cada uno de sus componentes, sin olvidar las normas ha considerar en la transmisión de televisión analógica.

Aunque es un hecho que la DTV (*Digital Television* o Televisión Digital) sustituirá a la televisión analógica, todavía falta para que esta tecnología se desarrolle en otros países, por lo cual se están implementando leyes para que se lleve a cabo la migración hacia esta señal.

Por lo tanto al finalizar el primer capítulo se incorpora la digitalización de las señales de televisión para el sistema NTSC donde se aborda la forma de conversión de la señal analógica a digital y los tipos de compresión de esta, para poder partir hacia la HDTV.

En el segundo capítulo se hace mención de todo lo referente a la HDTV, se explican las diferentes situaciones que se consideraron para establecer el nuevo sistema ATSC, el cual es el encargado del desarrollo de los estándares de la DTV (*Digital Television* o Televisión Digital), nuevamente creado por los Estados Unidos y adoptado por México. En este capítulo se describen todos aquellos parámetros que tendremos que considerar para el procesamiento de señales y transmisión en HDTV.

Para el tercer capítulo se hace una comparación entre el sistema NTSC (analógico y digital), que aún tenemos en nuestros hogares, y el sistema ATSC (digital), enunciando las diferencias entre ambos y dando a conocer el porque la DTV con HDTV es mucho mejor en varios aspectos.

Las formas de transmisión de señales de HDTV están citadas en el cuarto capítulo, en donde se describen todas las tecnologías de comunicaciones por donde se puede transmitir esta señal, profundizando en la transmisión vía satélite, enunciando las cualidades de este tipo de enlaces por ser uno de los sistemas de transmisión mas óptimos y eficaces de los últimos años.

Con todo lo anterior tendremos una visión de las mejorías que tienen el nuevo sistema de HDTV comparado con el anterior sistema NTSC, entonces se pretenderá implementar este tipo de tecnología al sistema de televisión usado con fines educativos como en la Dirección General de Televisión Educativa (DGTVE), abordando puntos como son: costos, tiempo, mobiliario, equipo; con el objetivo de que en un futuro se pueda dar un paso adelante en materia de telecomunicación para mejorar la calidad de la educación.

Finalizando, es importante conocer todo lo que respecta a la HDTV, abarcando desde el origen de la señal, su tratado, como se digitaliza, la forma en que se transmite y su forma de recepción.



# EL SISTEMA NTSC ANALÓGICO

El formato NTSC es un sistema de codificación y transmisión de televisión a color analógica. Estas siglas significan National Television System Committee el cual es el comité de expertos que lo desarrolló.

Los términos NTSC, PAL y SECAM se refieren a la técnica de codificación del color, en contraste con la creencia a que es la frecuencia de cuadro, aunque en la práctica el sistema NTSC usa 30 cuadros por segundo, o fotogramas por segundo (fps) y los sistemas PAL o SECAM usan 25 fps.

## 1.1.- LA SEÑAL DE TELEVISIÓN

En forma sintetizada definiremos a la señal de televisión como una compleja onda electromagnética de variación de tensión o intensidad, compuesta por las siguientes partes: 1) una serie de oscilaciones debidas a la intensidad de luz de los elementos cuya imagen se va explorar; 2) una serie de pulsos de sincronización que adaptan el receptor a la misma frecuencia de barrido que el transmisor; 3) una serie adicional de los denominados pulsos de borrado; y 4) una señal de frecuencia modulada (FM) que transporta el sonido que acompaña a la imagen. Los tres primeros elementos conforman la señal de video los cuales serán explicados a continuación.

1. Las fluctuaciones de intensidad o tensión correspondientes a las variaciones de la intensidad de la luz, suelen llamarse señal de video. Las frecuencias de dicha señal oscilan entre 3 y 4 MHz, dependiendo del contenido de la imagen.
2. Los pulsos de sincronización son picos pequeños de energía eléctrica generados por los correspondientes osciladores en la estación emisora. Estos impulsos controlan la velocidad del barrido horizontal y vertical tanto de la cámara como del receptor. Los impulsos de sincronismo horizontal se producen a intervalos de 0.01 segundos y su duración es prácticamente la misma.
3. Los pulsos de borrado anulan el haz de electrones tanto en la cámara como en el receptor, durante el tiempo empleado por el haz de electrones en volver desde el final de una línea horizontal hasta el principio de la siguiente, así como desde la parte inferior del esquema vertical hasta la parte superior. La sincronización y estructura de estos impulsos resultan extremadamente complejas.

Aunque las imágenes de televisión parecieran tener movimiento, en realidad se reproduce una imagen inmóvil. Lo que pasa es que una serie sucesiva de imágenes se muestran con suficiente rapidez para dar la ilusión de movimiento.

Cada imagen es un grupo de luz o sombra. Durante la emisión los puntos de luz y sombra que varían corresponden a la señal de video que envía información de la imagen.

Cuando las variaciones son de un color (blanco, gris y negro), la reproducción se llama monocromática.

En la fig. 1.1 se ilustra una señal de video de televisión, empezando de izquierda a derecha, la línea punteada superior representa el nivel de la señal cuando se explora una porción negra o sin luz de la imagen.

A este nivel de señal se le llama "nivel negro", y todos los demás valores de luz correspondientes a todos demás niveles de señal, los cuales siempre se comparan con relación al nivel negro.

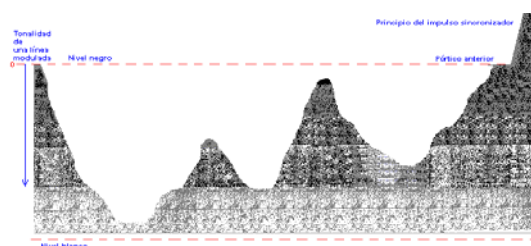


Fig. 1.1 Señal de video de televisión.



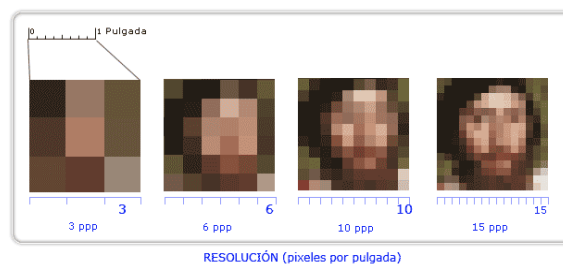
Por otra parte, una imagen de color reproduce matices de rojo, verde y azul. La televisión a color tiene contornos en blanco y negro para los detalles de la imagen y con relleno de color para las principales áreas de la escena.

### 1.1.1.- COMPOSICIÓN Y PROCESO DEL VIDEO

#### ➤ PÍXEL O ELEMENTO DE IMAGEN

La parte más pequeña de la pantalla del monitor la cual forma un punto cuadrado o rectangular recibe el nombre de píxel. La palabra píxel surge de la combinación de dos palabras inglesas comunes, picture (imagen) y element (elemento). Un píxel se describe de forma más correcta como una unidad lógica, y no física, ya que el tamaño físico de un píxel individual lo determina el fabricante del monitor. El tamaño de un píxel se mide en milímetros (mm).

Para entenderlo mejor, es el punto único más pequeño de la visualización en una imagen de televisión cuyo color o brillo pueden controlarse. Una imagen de televisión NTSC con calidad de estudio tiene 426 píxeles por línea y 525 líneas. Todos los elementos juntos contienen la información visual de la escena. Si se transmiten y reproducen con el mismo grado de luz o sombra que el original y en la posición adecuada entonces se reproduce la imagen



**Fig. 1.2** La resolución de una pantalla está definida por el número de píxeles en el sentido horizontal multiplicado al número de píxeles en el sentido vertical.

#### ➤ PERSISTENCIA DE LA VISIÓN

La impresión hecha por cualquier luz que ve el ojo persiste durante una pequeña fracción de segundo después de que desaparece esta luz. Por lo tanto, si se ven muchas imágenes durante ese intervalo de persistencia, la visión las integrará y se tendrá la impresión de ver todas las imágenes al mismo tiempo. Cuando los elementos se barren con suficiente rapidez, aparecen a simple vista como una imagen completa.

Si se tiene una tasa de repetición de imágenes mayor que 16 por segundo es posible lograr este efecto, para crear la ilusión de movimiento. En el cine se utiliza una tasa de repetición de 24 imágenes por segundo pero no es suficientemente rápida para permitir que la brillantez de una imagen se mezcle con suavidad en la siguiente, cuando la pantalla está negra entre los cuadros. El resultado es un parpadeo definitivo de luz mientras la pantalla alterna entre brillante y oscura.

En el cine esto se resuelve pasando la película por el proyector a 24 cuadros por segundo, pero mostrando cada cuadro dos veces. Así, se proyecta en la pantalla 48 cuadros por segundo aumentando la tasa de borrado, por lo tanto se elimina el parpadeo.

**Líneas por cuadro.** El número de líneas barridas debe ser grande, con la finalidad de incluir el mayor número de píxeles y por ende mas detalle. Sin embargo otras normas limitan esta cantidad. El estándar es 525 líneas barridas por una imagen o cuadro completo. Este es el número óptimo para el ancho de banda estándar de 6 MHz para los canales de emisión de televisión.

**Cuadros por segundo.** El tiempo para formar un cuadro completo (525 líneas barridas) es 1/30 seg. de este modo la tasa de repetición es de 30 cps (frecuencia de 30 Hz.). Observe que 30 Hz es la mitad de la frecuencia de la línea de alimentación de c.a. de 60Hz esto se debe a que la mayoría de los receptores de televisión operan con una fuente de alimentación comercial de 120 V, 60 Hz. Dichos televisores convierten la corriente alterna en directa mediante una fuente de media onda o de onda completa. La frecuencia de rizo de estas fuentes se relaciona armónicamente con la tasa de cuadros de 30Hz. Entonces cualquier rizo causado por un ligero decremento en el funcionamiento del filtro no causara distorsiones excesivas en la imagen.

### ➤ BARRIDO DE LA IMAGEN

Se le llama barrido a la exploración que hace el haz de electrones sobre la imagen que se va a captar. El haz de electrones barre línea por línea y píxel por píxel hasta completar la imagen completa a lo que se le denomina cuadro. Cada sistema tiene un número determinado de líneas de exploración y frecuencia de campo.

Una imagen de televisión se barre en una serie secuencial de líneas horizontales una debajo de la otra. Un barrido hace posible que una señal de video incluya todos los elementos de la imagen completa.

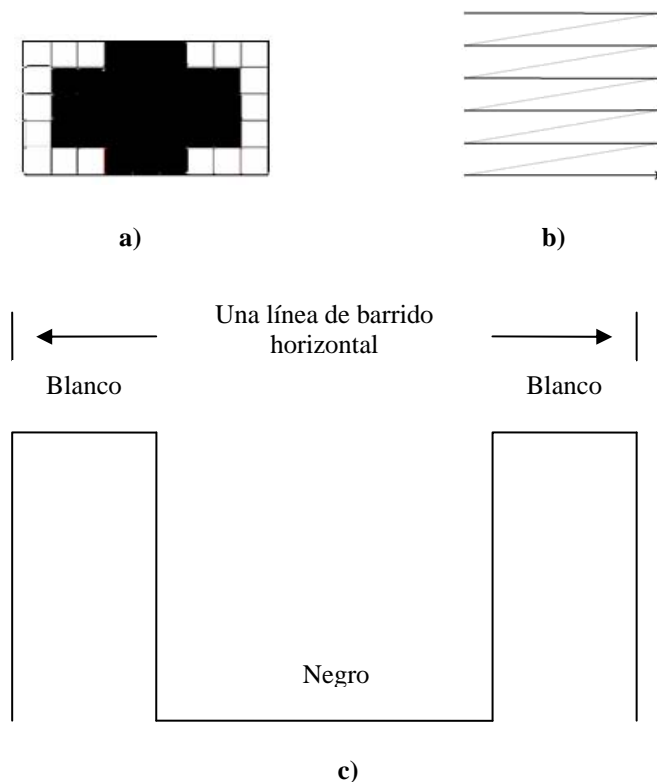
En un instante la señal de video puede mostrar solo una variación. Con la finalidad de tener una señal de video para todas las variaciones de luz y sombra, todos los píxeles se barren en un orden secuencial de tiempo. En la emisión de televisión la imagen se reensambla línea por línea y cuadro por cuadro.

En una señal de video, la amplitud del voltaje o de la corriente cambia con respecto al tiempo, estas variaciones corresponden a la información visual.

Un ejemplo de la señal de video se muestra en la fig.1.3.c. Imagine que la señal de la fig.1.3.c es el resultado del barrido mostrado en la fig.1.3.b para la imagen de la fig.1.3.a.

La señal de video muestra la información de claro y oscuro para una línea de barrido horizontal en el centro de la cruz. En el lado izquierdo la información es blanca. Después la información es oscura un tiempo mayor en el centro. Por último la información se vuelve blanca de nuevo al final de la línea en el lado derecho. De esta forma se produce una señal de video para las líneas de barrido horizontales en toda la imagen.

La figura 1.3.c muestra la señal de video con polaridad positiva para lo blanco, y negativa para lo oscuro. Sin embargo esta polaridad puede invertirse.



**Fig. 1.3** Aquí tenemos una ejemplificación muy básica de barrido.

La señal de video se produce en un tubo de cámara, este término se refiere al dispositivo transductor que convierte luz en señales eléctricas. En la actualidad los dispositivos de captación son elementos de estado sólido conocidos como CCD (*Coupled Charge Device* o Dispositivos de Acoplamiento de Cargas) que mencionaremos más adelante.

La imagen de televisión se barre o explora de la misma manera en que se lee una página de texto; se cubren todas las palabras (píxeles) de una línea y todas las líneas de la página.

La secuencia para el barrido de todos los elementos de una imagen está ilustrada en la fig.1.4 y se describe de la siguiente manera:

1. El haz de electrones barre una línea horizontal, cubriendo todos los píxeles que tiene la línea.
2. Al final de cada línea, el haz regresa rápidamente al extremo izquierdo para comenzar el barrido de la siguiente línea horizontal. El tiempo de regreso se llama *tiempo de retorno* o *flyback*. No se barre la información e imagen durante el flyback y deben ser en períodos muy cortos ya que son tiempos muertos en términos de transmisión de información de imagen.
3. Cuando el haz regresa al extremo izquierdo, su posición vertical baja para que el haz no repita el barrido de la misma línea. Como resultado de este barrido vertical, todas las líneas horizontales se inclinan un poco de arriba hacia abajo. Cuando el haz se encuentra abajo del retorno vertical regresa el haz a la parte superior para comenzar la secuencia de barrido de nuevo. Todo este proceso es muy rápido de modo que el ojo humano no lo percibe.

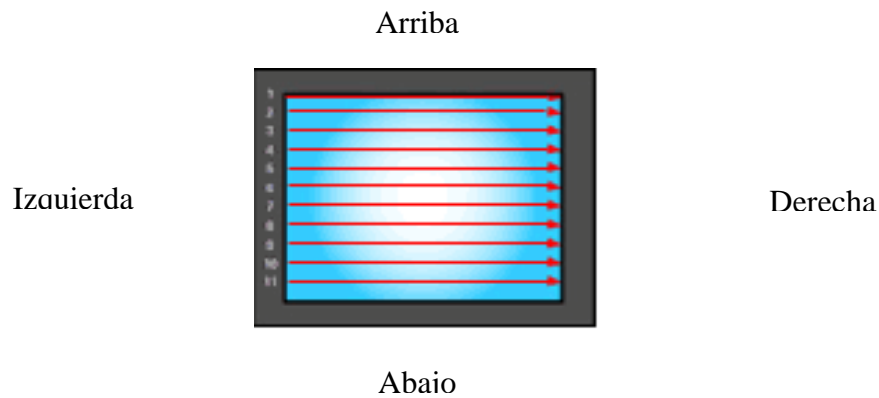


Fig. 1.4 Con esta figura representamos los pasos que sigue el barrido.

### ➤ TIPOS DE BARRIDO

**Barrido no entrelazado o progresivo.** En este barrido se envían todas las líneas para cada imagen. El parpadeo casi no se nota, pero la frecuencia de barrido horizontal es alta. El tipo de monitores que usa este barrido es 20% más caro que el anterior.

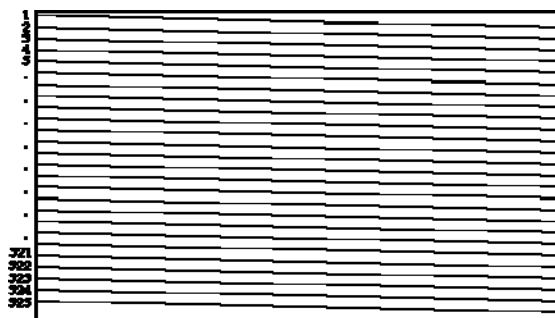


Fig. 1.5 Barrido progresivo

**Barrido entrelazado.** Para poder utilizar una frecuencia de barrido horizontal menor, y aprovechando que el ojo humano tiene también la propiedad de persistencia, se utiliza lo que se llama barrido entrelazado. De esta forma, se barren primero las líneas pares, y luego las impares.

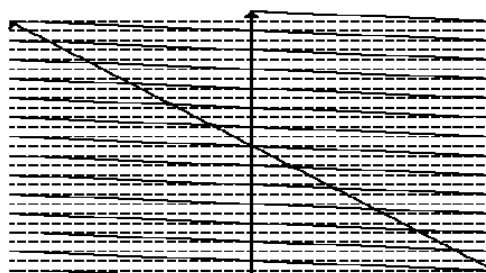


Fig. 1.6 Barrido entrelazado

## ➤ FRECUENCIAS DE CUADROS Y CAMPOS

En lugar de la rapidez de 24 cuadros por segundo empleada en el cine, los sistemas de televisión emplean una velocidad de repetición de 30 cuadros por segundo la cual proporciona la continuidad de movimiento requerida, pero dicha tasa no es tan rápida como para eliminar el parpadeo en los niveles de luz producidos en la pantalla. De nuevo, la solución es dividir cada cuadro en dos partes, para que se presenten 60 vistas de la escena por segundo.

En lugar de dividirse un cuadro en dos campos, obtenemos el mismo efecto entrelazando las líneas de barrido horizontales en dos grupos, uno con las líneas impares y otro con las pares. Cada grupo de estas líneas se denomina campo.

La tasa de repetición de los campos es 60 por segundo, por que se barren dos campos durante un periodo de cuadro de 1/30 de segundo. De esta manera se muestran 60 vistas de la imagen durante un seg. Esta tasa de repetición es suficientemente rápida para eliminar el parpadeo.

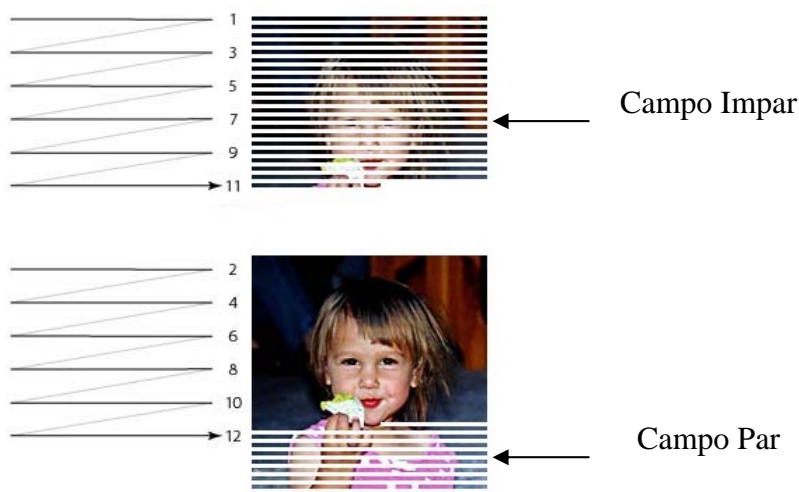


Fig. 1.7 Muestra de un tipo de barrido entrelazado

La velocidad de campos de 60Hz es la frecuencia de barrido vertical. Esta es la rapidez en la que el haz de electrones completa sus ciclos de movimiento vertical, de arriba abajo, y luego de regreso hacia arriba. El tiempo de cada ciclo de barrido vertical para un campo es 1/60 de segundo.

El número de líneas de barrido horizontales en un campo es la mitad del total de 525 líneas para un cuadro completo lo que nos da 262 ½ líneas horizontales para cada campo vertical.

Si el tiempo para un campo es de 1/60 de segundo, y un campo tiene 262 ½ líneas entonces el número de líneas por segundo es:

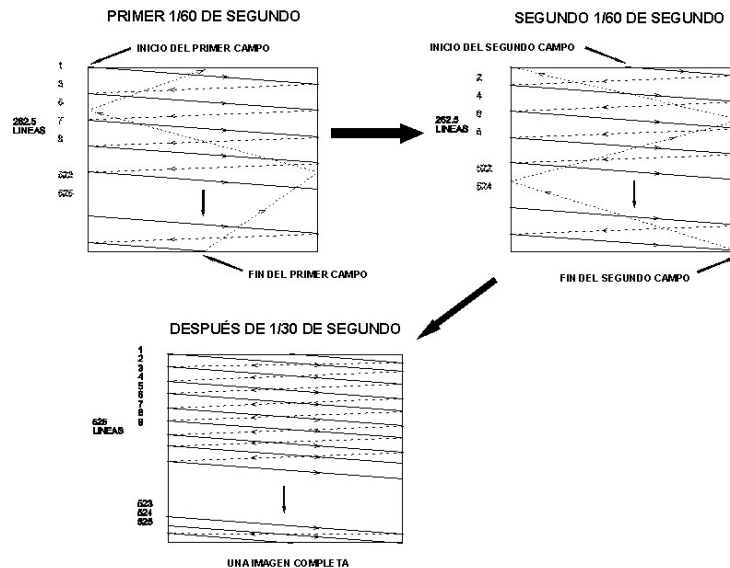
$$262 \frac{1}{2} \text{ líneas por campo} \times 60 = 15,750 \text{ líneas por seg. (Hz)}$$

$$525 \text{ líneas por cuadro} \times 30 = 15,750 \text{ líneas por seg. (Hz)}$$

*Ec. 1*

Esta frecuencia es la velocidad en que el haz de electrones completa su ciclo de barrido horizontal de izquierda a derecha y de regreso a la izquierda.

Entrelazar dos campos significa barrerlos en orden sucesivo, como se muestra en la fig.1.8 El trazo empieza en la esquina superior izquierda, con la línea 1. Cuando el haz llega al extremo derecho del tubo, visto desde el frente, el voltaje de la señal apaga el haz y se realiza el regreso al lado izquierdo. Este rápido regreso se *llama tiempo de retorno* (flyback time), como se mencionó anteriormente.



**Fig. 1.8** Cómo se barren los dos campos. a) Campo impar, 262 ½ líneas. b) Campo par 262 ½ líneas. c) Entrelazado formando un cuadro

Aunque el entrelazado pueda parecer un proceso complejo, en la realidad se hace de manera automática con las dos características siguientes:

- La frecuencia de barrido vertical se duplica, de la frecuencia de cuadro de 30Hz, a la frecuencia de campo de 60 Hz.
- El número de líneas de barrido horizontal por cuadro se queda en 525.

## Tiempo de Línea Horizontal

El tiempo “H” para cada línea de barrido horizontal es 1/15,750 segundos ya que según la ec. 1 la frecuencia de las líneas de barrido es 15,750. En términos de  $\mu$ segundos tenemos que:

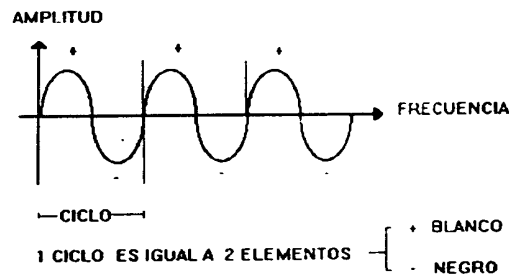
$$\text{Tiempo H} = (1 * 10^6) / (15,750) = 63.5 \mu\text{segundos. (Aprox.)} \quad \text{Ec. 2}$$

El tiempo en  $\mu$ segundos indica que la señal de video para los elementos de imagen (píxeles) dentro de una línea tiene altas frecuencias, sí hubiera mas líneas, el tiempo de barrido debería ser menor y el número de ciclos sería mayor (es decir la frecuencia se incrementaría), por lo tanto habría frecuencias de video mayores, pero en nuestro sistema de 525 líneas, la mayor frecuencia está limitada por el estándar A-53<sup>1</sup> cerca de 4.2 MHz, debido a la restricción de 6 MHz para los canales de televisión comercial como se muestra en la fig. 1.50.

<sup>1</sup> Grupo de normas adoptadas por el ATSC para estandarizar la transmisión digital terrestre de radiodifusión de televisión

Dado que el ciclo de una onda senoidal es capaz de transportar dos elementos de imagen, uno negro y otro blanco, el máximo número de elementos que pueden ser transmitidos es de:

$$4,100,000 \text{ Hz} \times 2 \text{ elementos de imagen} = 8,200,000 \text{ elementos de imagen por segundo.}$$



**Fig. 1.9** Dos elementos en un ciclo.

Debido a que la señal de video NTSC se transmite a 30 cuadros por segundo, el número de elementos de imagen en un cuadro es:

$$\frac{8,200,000}{30} = 273,333 \text{ elementos (aprox.)} \quad \text{Ec. 3}$$

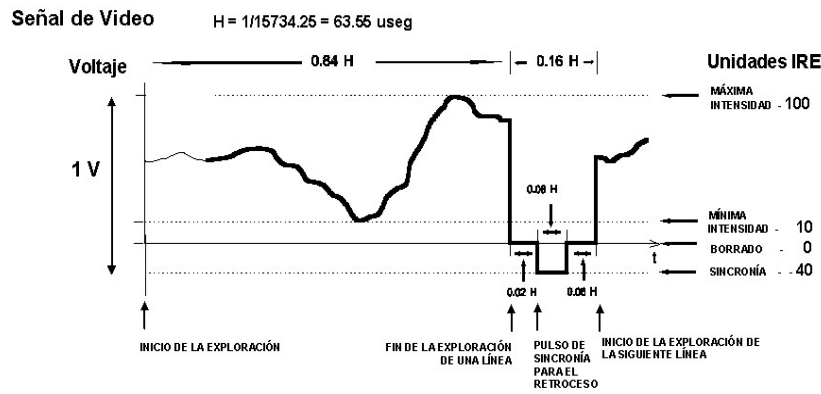
Considerando que parte de la señal no es vista en un cuadro de video, como es el borrado (o retroceso de la señal), el blanking vertical y el horizontal, que ocupan aproximadamente un 25% del total de la señal, tenemos entonces que el número real de elementos que forman un cuadro de imagen es del 75%, es decir:

$$273,333 \times 0.75 = 205,000 \text{ elementos de imagen (aprox.)} \quad \text{Ec. 4}$$

### ➤ PULSOS DE SINCRONÍA Y BORRADO

Durante los tiempos de retroceso horizontal y vertical la señal de video se mantiene durante un tiempo en un estado denominado como de borrado, correspondiendo a un valor de intensidad mas pequeño al menor valor de intensidad posible de la imagen.

Durante otro lapso de tiempo, dentro del mismo intervalo de borrado, el dispositivo convertidor de imagen a señal eléctrica incluye en la señal de video que se está generando niveles de voltaje que indican el momento en que se considera que la línea horizontal se ha terminado y debe de realizarse el retroceso, información que se le denomina como pulso de sincronía horizontal y vertical. En la fig.1.10 se muestran los períodos de borrado, sincronía y el inicio de la siguiente línea, así como los valores de tiempo y amplitud, todos ellos de acuerdo al sistema NTSC.

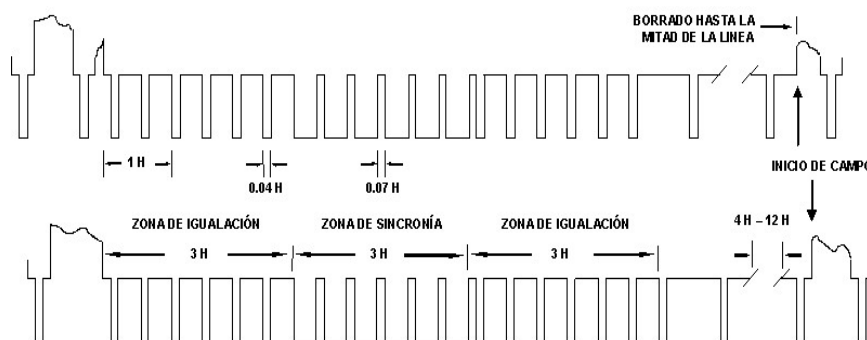


**Fig. 1.10** Gráfica tiempo contra voltaje en la que se puede observar la señal de la exploración de línea.

Durante el retroceso vertical se introduce también en la señal de video un pulso de sincronía vertical, sólo que en este caso el pulso de sincronía vertical debe permitir que no se deje de tener sincronía horizontal, razón por la cual el pulso de sincronía vertical tiene las siguientes características:

1. El intervalo de tiempo correspondiente al retroceso vertical tiene una duración de 9 líneas horizontales.
2. Las 3 primeras líneas forman una zona denominada como de igualación, las 3 líneas centrales son en sí el pulso de sincronía y las últimas 3 líneas horizontales forman otra vez una zona de igualación.
3. En todo el intervalo de retroceso vertical los pulsos de sincronía se producen al doble de la frecuencia: de las líneas de barrido horizontal que es de 31,468.5 Hz.

En las zonas de igualación los pulsos de sincronía son invertidos en su forma.



**Fig. 1.11** Pulsos de sincronía vertical.



## ➤ SINCRONIZACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL

A medida que el haz de electrones en el tubo de la cámara barre la imagen, el haz cubre diferentes elementos y envía la información de imagen correspondiente. Por lo tanto cuando el haz de electrones barre la pantalla del tubo de imagen en el receptor, el barrido debe de estar perfectamente bien sincronizado para poder ensamblar la información de imagen en la posición correcta en el receptor.

Los pulsos de sincronización se transmiten como parte de la señal, pero ocurren durante el tiempo de borrado cuando no se transmite información de imagen. La imagen se borra durante este lapso mientras el haz de electrones retorna.

Un pulso de sincronización horizontal al final de cada línea determina el inicio del retorno horizontal. El retorno horizontal comienza en el lado derecho de la imagen.

La sincronización vertical al final de cada campo determina el inicio del retorno vertical. En este punto, el haz que realiza el barrido se encuentra en la parte inferior de la imagen.

En resumen, la frecuencia de exploración horizontal lineal es de 15,750 Hz (15,734.26 Hz) al igual que los pulsos de sincronía de 15,750. La velocidad de repetición de los cuadros es de 30 por segundo, pero la frecuencia de barrido vertical de campos es de 60 Hz (59.94 Hz), igual que los pulsos de sincronización vertical de 60 Hz.

Los valores que vienen entre paréntesis son exactos y se utilizan para minimizar la interferencia entre la señal subportadora de color de 3.579545 Hz (3.58 aprox.) y la señal de luminancia (monocromática).

## ➤ BORRADO HORIZONTAL Y VERTICAL (BLANKING)

El propósito de los pulsos de borrado es hacer invisibles (pasar a negros) los regresos requeridos para el barrido. Los pulsos horizontales de 15,750 Hz borran el retorno de derecha a izquierda en cada línea, los verticales de 60 Hz el retorno de cada campo de abajo hacia arriba.

El tiempo necesario para que se lleve a cabo el borrado horizontal es de aproximadamente el 16% del tiempo de cada línea (H). Si **H = 63.5 μsegundos** (ver tiempo de línea horizontal) entonces el tiempo de borrado por cada línea es:

$$63.5 \mu\text{segundos} \times 0.16 = 10.2 \mu\text{segundos} \quad \text{Ec. 5}$$

El tiempo para el borrado vertical (V) es del 8% aprox. El tiempo total vertical es de 1/60 (0.01666). Entonces el tiempo de borrado en cada campo de abajo hacia arriba de la imagen es:

$$1/60 \times 0.08 = 0.0013 \text{ segundos (1.3msegundos)} \quad \text{Ec. 6}$$

Los pulsos de sincronización determinan el inicio de los retornos.

En resumen, primero un pulso de borrado lleva la señal de video al nivel de negro; luego una señal de sincronización inicia el retorno en el barrido. Esta secuencia se aplica tanto en el retorno vertical como horizontal.

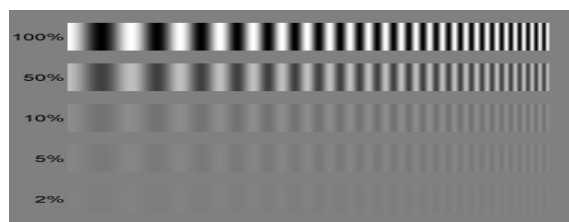
### 1.1.2.- CUALIDADES DE LA IMAGEN

**a) Brillo.** Es la intensidad de la iluminación, total o promedio. Determina el nivel de fondo de la imagen reproducida. Los píxeles pueden variar más o menos de este promedio.



**Fig. 1.12** Diferencia de brillo que se aprecia en este par de imágenes, el fotograma de la derecha contiene mayor luminosidad (brillo).

**b) Contraste.** Es la diferencia de intensidad entre las partes blancas y negras de la imagen. El intervalo de contraste debe ser tan amplio como para producir una imagen intensa, con blanco brillante y negro oscuro, para los valores extremos de intensidad.



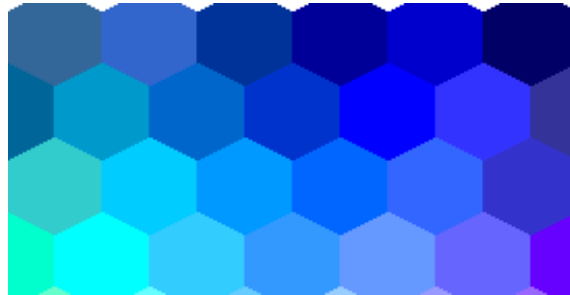
**Fig. 1.13** Niveles de contraste para señales de imagen. Entre más alto porcentaje mejor contraste se tendrá.

**c) Detalle.** Una alta calidad de detalle o imagen, también llamada resolución o definición, depende del alto número de elementos de imagen reproducidos. Con muchos elementos de imagen pequeños, el detalle fino de la imagen es evidente. Por lo tanto se deben de reproducir tantos elementos como sea posible para crear una imagen con buena definición. Esta calidad proporciona una imagen más nítida. Los pequeños detalles pueden verse, y los contornos en la imagen tienen un contorno nítido. Una buena definición también da profundidad aparente a la imagen al resaltar los detalles del fondo



**Fig. 1.14** Comparación de imágenes que muestran la diferencia de detalle.

**d) Nivel de color o cantidad de color.** La información de color se superpone a una imagen monocromática. La cantidad de color que se agrega depende de la señal de crominancia de 3.58MHz. En los receptores de televisión también se le llama color croma, intensidad o saturación (I).



**Fig. 1.15** Ejemplo de varias magnitudes de un color en este caso el azul, se muestran varias intensidades de este, lo que se le llama saturación del color.

**e) Tinte o tonalidad Q.** De manera más específica, el color de un objeto se llama tinte o matiz. Por ejemplo, en la fig.1.16 observamos que el pasto tiene un matiz verde.



**Fig. 1.16** Tonalidad de un color ejemplificado por el verde del pasto.

## ➤ TEORÍA DEL COLOR

### a) Adición del Color

Según esta teoría, se puede producir cualquier color combinando rojo, verde o azul en diferentes proporciones. El efecto aditivo se obtiene superponiendo los colores individuales. Por ejemplo en un tubo de imagen tricolor, la información de los colores R, G y B se integran en el ojo humano para proporcionar la escena de color en la escena real. La persistencia de la imagen nos da el efecto de la mezcla de color.

Veamos la fig.1.17 donde hay tres círculos traslapados entre sí, y los colores mostrados son la mezcla producida al agregar los colores primarios. En el centro, los tres círculos sobrepuestos dan el blanco.



Fig. 1.17 Combinación de los colores.

El color rojo, verde y azul son colores primarios ya que estos no se pueden reproducir con la mezcla de otro color, entonces deducimos que estos tres colores son aditivos primarios

Al color que produce la luz blanca cuando se agrega a un color primario, se llama complementario. En la fig.1.17 observamos que los colores cyan, magenta y amarillo son colores opuestos o complementarios. Por ejemplo, el amarillo, cuando se agrega al azul, produce luz blanca. Por lo tanto, el amarillo es el complemento del azul primario.

Resumiendo, los primarios aditivos para la televisión de color y sus colores complementarios son:

Color primario	Color complementario
Rojo	Cyan
Verde	Magenta
Azul	Amarillo

Más aún, las componentes de los colores complementarios son:

$$\begin{aligned}\text{Cyan} &= \text{azul} + \text{verde} \\ \text{Magenta} &= \text{rojo} + \text{azul} \\ \text{Amarillo} &= \text{rojo} + \text{verde}\end{aligned}$$

#### b) Codificación de la información de imagen

De acuerdo a los puntos tocados anteriormente para la señal de color, ahora podemos considerar con mayor detalle cómo se produce la señal de crominancia para la transmisión al receptor.

## ➤ PROPIEDADES ÓPTICAS DE LA LUZ

Cuando la luz incide sobre un cuerpo, su comportamiento varía según sea la superficie y constitución de dicho cuerpo, y la inclinación de los rayos incidentes, dando lugar a los siguientes fenómenos físicos:

### ABSORCIÓN

Al incidir un rayo de luz visible sobre una superficie negra, mate y opaca, es absorbido prácticamente en su totalidad, transformándose en calor.



Fig. 1.18

### REFLEXIÓN

Cuando la luz incide sobre una superficie lisa y brillante, se refleja totalmente en un ángulo igual al de incidencia (reflexión especular).

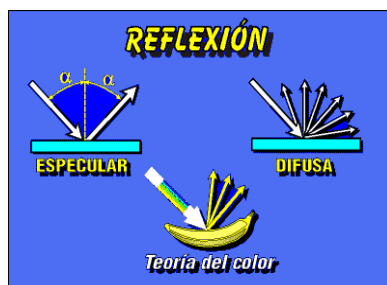


Fig. 1.19

Si la superficie no es del todo lisa, y brillante, refleja sólo parte de la luz que le llega y además lo hace en todas direcciones. A este fenómeno se le conoce con el nombre de reflexión difusa, y es la base de la **teoría del color**, que dice que:

*Al incidir sobre un objeto un haz de ondas de distinta longitud, absorbe unas y refleja otras, siendo estas últimas las que en conjunto determinan el color del objeto.*

### REFRACCIÓN

Cuando los rayos luminosos inciden oblicuamente sobre un medio transparente, o pasan de un medio a otro de distinta densidad, experimentan un cambio de dirección que está en función del **ángulo de incidencia** (a mayor ángulo mayor refracción), de la **longitud de onda incidente** (a menor longitud de onda mayor refracción) y del **índice de refracción** de un medio respecto al otro.

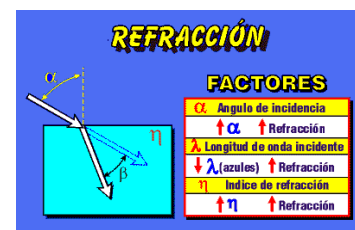


Fig. 1.20

### DIFRACCIÓN



Fig. 1.21

Aunque la luz se propaga en línea recta, sigue teniendo naturaleza ondulatoria y, al chocar con un borde afilado, se produce un segundo tren de ondas circular, al igual que en un estanque. Esto da lugar a una zona de penumbra que destruye la nitidez entre las zonas de luz y sombra, a esto se le llama fenómeno de difracción.

## TRANSMISIÓN

La transmisión es el fenómeno por el cual la luz puede atravesar objetos no opacos. La transmisión es *directa* cuando el haz de luz se desplaza en el nuevo medio íntegramente y de forma lineal. A estos medios se les conoce como *transparentes*.

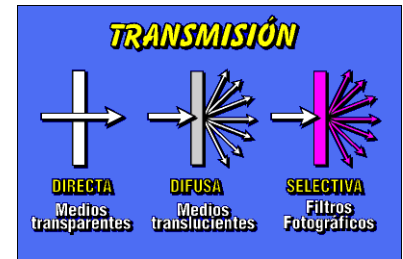


Fig. 1.22

Según la **teoría corpuscular de Newton**, las partículas que emiten los cuerpos luminosos se propagan en línea recta y en todas direcciones. Con esta teoría podemos explicar:

- ✓ La propagación rectilínea de la luz
- ✓ Los fenómenos de reflexión
- ✓ Los fenómenos de refracción

Según la **teoría ondulatoria de Huyghens**, la luz tiene un movimiento ondulatorio y longitudinal como el sonido. Con esta teoría podemos explicar:

- ✓ Los fenómenos de reflexión y refracción
- ✓ Los fenómenos de interferencia luminosa
- ✓ Los fenómenos de difracción
- ✓ El fenómeno de la polarización

### ➤ CAPTACIÓN DE LAS SEÑALES DE VIDEO.

El primer punto que tocaremos es el tipo de iluminación que se utiliza para la captación de las señales de video. En relación al espectro de la luz del día de la fig.1.23a, las lámparas incandescentes producen un tipo de luz denominada "luz blanca", que es una mezcla de colores, deficiente en violeta (400-450 nm) y en azul (450-500 nm), y cuyo máximo de intensidad está desplazado hacia el rojo (630-700 nm), como se ve en la fig.1.23b.

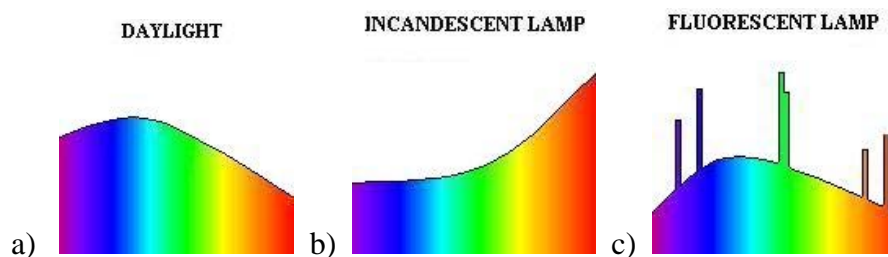


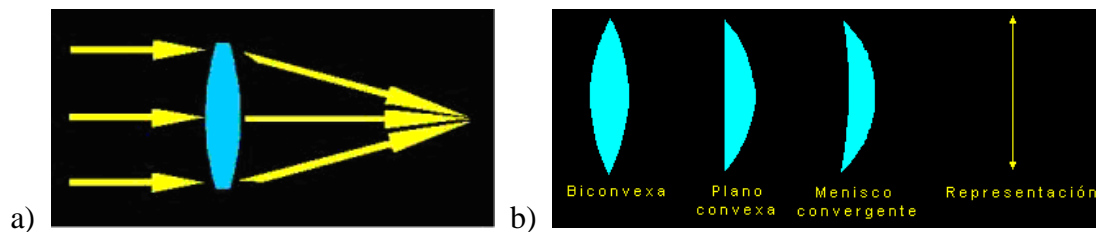
Fig. 1.23 Respuesta espectral según la fuente de iluminación.

Hay lámparas incandescentes especiales utilizadas para televisión de las cuales se obtiene una luz más blanca (con más intensidad de azul). Los tubos o lámparas fluorescentes funcionan mediante otros principios físicos y su espectro resulta discontinuo como se ve en la fig.1.23c.

El segundo punto es la lente o conjunto de lentes por las que penetra la luz en un instrumento óptico cuya misión consiste en reproducir imágenes con la mayor nitidez sobre la pantalla del dispositivo captador.

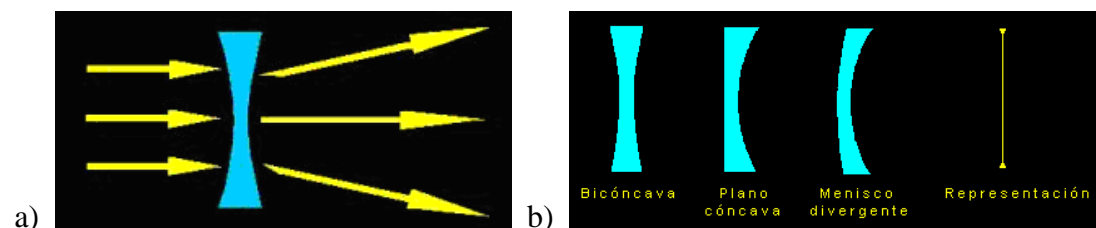
Una lente es una sustancia transparente y refringente (vidrio) que se le ha dado una forma específica, limitada por dos caras, una de las cuales es curva y la otra plana o curva, y sus centros de curvatura están en el mismo eje. Al atravesarlas un conjunto paralelo de rayos de luz hace que éstos converjan (lentes convergentes) o diverjan (lentes divergentes) regularmente.

La lente convergente o positiva es aquella en la que al atravesarla un conjunto de rayos paralelos, hace que éstos se dirijan a un mismo punto como se observa en la fig.1.24.a. Al menos una de sus caras es convexa. Puede haber tres tipos: biconvexas, plano convexas y de menisco convergente (ver fig.1.24b).



**Fig.1.24** a) Se muestra el funcionamiento de las lentes convergentes. b) Tipos de lentes convergentes.

La lente divergente o negativa son más gruesas por los bordes que por el centro, hacen diverger (separan) los rayos de luz que pasan por ellas como se ve en la fig.1.25a. Puede haber tres tipos: bicóncava, plano cóncava y de menisco divergente.



**Fig.1.25** a) Se muestra el funcionamiento de las lentes divergentes. b) Tipos de lentes divergentes.

Para fabricar un objetivo de una distancia focal dada, han de tenerse en cuenta los efectos de los siguientes factores:

- El efecto sobre las distintas **longitudes de onda o colores**, el cual queda compensado en los objetivos compuestos actuales con la combinación de lentes convergentes y divergentes con múltiples revestimientos reunidos en grupos muy complejos.
- El **índice de refracción** puede variarse, dentro de ciertos límites, modificando la composición química del vidrio. Entre los vidrios ópticos de bajo poder de refracción tenemos por ejemplo el vidrio Crown de borosilicato ( $IR = 1.51100$ ) y el extraligero de la serie Flint con un  $IR = 1.52301$ ; y entre los de mayor refracción actuales el EK-45 con  $1.80367$ .
- Finalmente, el **ángulo de incidencia** es lo más fácil de modificar pues está en función del radio de curvatura de las caras. A mayor radio de curvatura menor distancia focal y viceversa.



Cada color es refractado de forma diferente ya que tienen diferentes longitudes de onda, lo que provoca uno de los tipos de aberraciones más comunes en las cámaras, la **aberración cromática**, mientras mayor es la distancia focal se denota más este defecto, por lo tanto será mayor en posición telefoto ( $\alpha$ ) de la cámara. Dentro del espectro de luz visible el color azul ( $\lambda$  más corta) tiene mayor refracción que el color rojo.

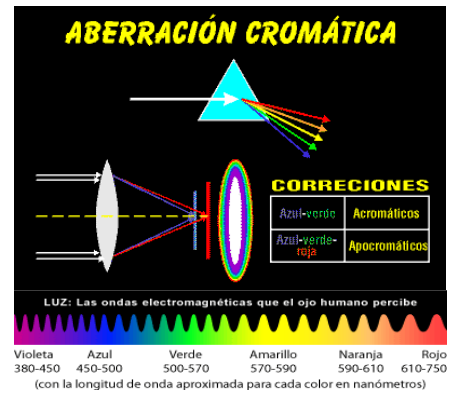


Fig. 1.26 Aberración cromática

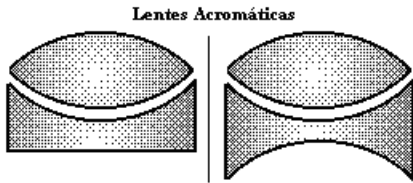


Fig. 1.27 Lentes acromáticas

Hay objetivos que corrigen este defecto haciendo converger las bandas del azul al amarillo llamados **acromáticos [ACH]** los cuales se componen de dos lentes separadas, si observamos la fig.1.27 vemos que una es de forma biconvexa y el otro puede ser plano cóncava o bicóncava.

Los objetivos que además corrigen el rojo se llaman **apocromáticos [APO]** y están conformados por un juego de 3 a 4 lentes de vidrio tipo **ED (Extra-Low Dispersion)** o **UD (Ultra-Low Dispersion)**. También existen los **biapocromáticos [2APO]** compuestos por dos lentes que disminuyen aún más los defectos. Otros lentes, tan buenos como los APO's, son los **FL (Fluorita)** ya que son recubiertos por este material.

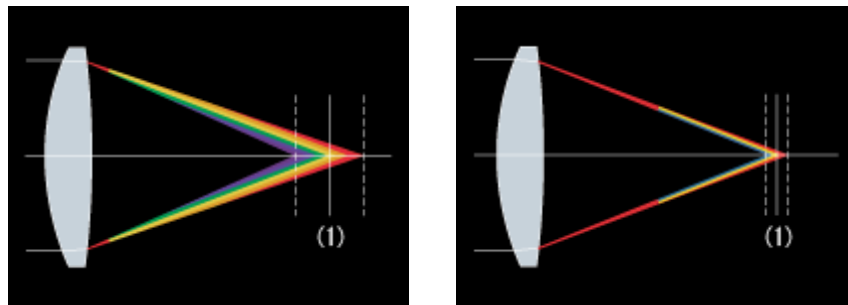


Fig. 1.28 Corrección de aberración cromática

Independientemente del color de las radiaciones, se produce otro tipo de distorsión llamada **aberración esférica** que es debida a la curvatura de las lentes, los rayos que inciden más cerca de los bordes convergen más cerca de la lente que las que llegan al eje principal, como se observa en la fig.1.29.

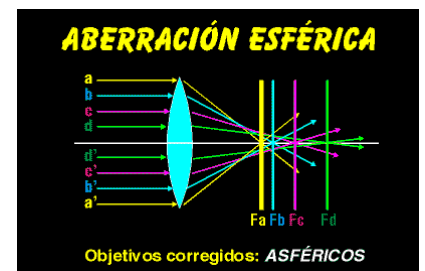


Fig. 1.29

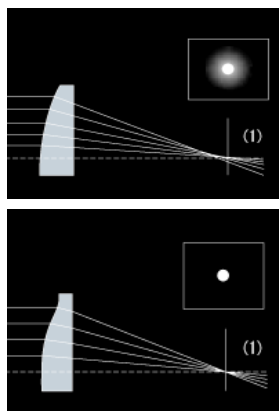


Fig. 1.30

Los tipos de objetivos que corrigen este defecto son los que contienen **lentes asféricas**, ya que estos lentes tienen menor índice de refracción y un radio de curvatura no constante. Dichas lentes constan de un dioptrio asférico y otro esférico. El primero de ellos se genera por revolución de curvas cónicas en torno al eje óptico de la lente.



Otros tipos de lentes muy utilizados son las **lentes DO (Ópticas Difractivas)** que como su nombre indica, son elementos ópticos aplicados al fenómeno de la difracción. Resultan muy atractivos por su capacidad para ajustar la aberración cromática, mejor que las lentes UD o de fluorita, a pesar de tener una forma asimétrica.

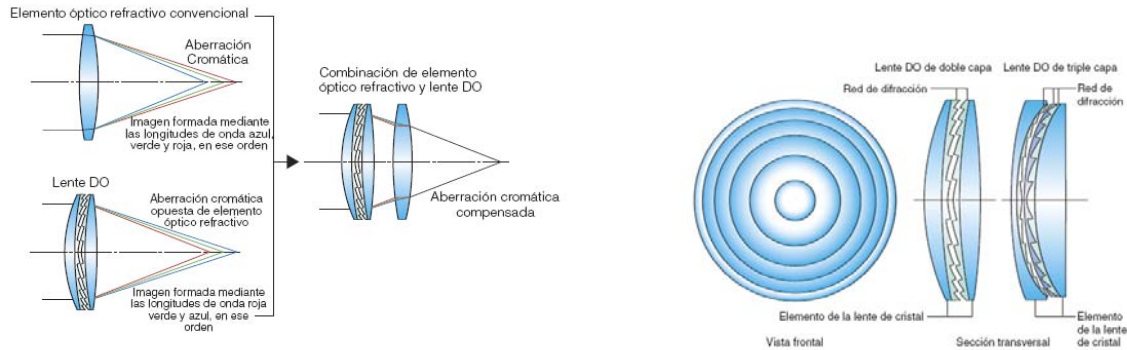


Fig. 1.31

Los lentes DO contienen una red de difracción de tipo fase, la cual se utiliza para analizar las componentes espectrales que integran un determinado haz de luz, en la que la red adopta una forma de hoja de hacha, de modo que no bloquea ninguna luz. Una red de difracción de tipo fase genera luz difractiva formando la red en un círculo concéntrico como el que se ve en la fig.1.31. La luz que sale de la red de difracción tiene un ángulo de difracción mayor en las longitudes de onda más largas. En otras palabras, la luz con una longitud de onda mayor forma una imagen más cercana a la red de difracción, mientras que la que tiene una longitud de onda más corta forma una imagen más alejada.

Cambiando parcialmente el periodo de la red (el espaciado de la red), se puede conseguir un efecto idéntico al de las lentes esféricas, lo que permite compensar distintos problemas, incluida la aberración esférica.

Por el contrario, en el caso de la luz que penetra en la lente de refracción (lente convexa) con una potencia positiva, la luz con una longitud de onda más corta forma una imagen más cercana a la red de difracción, mientras que la que tiene una longitud de onda mayor forma una imagen más alejada como se ve en la fig.1.31.

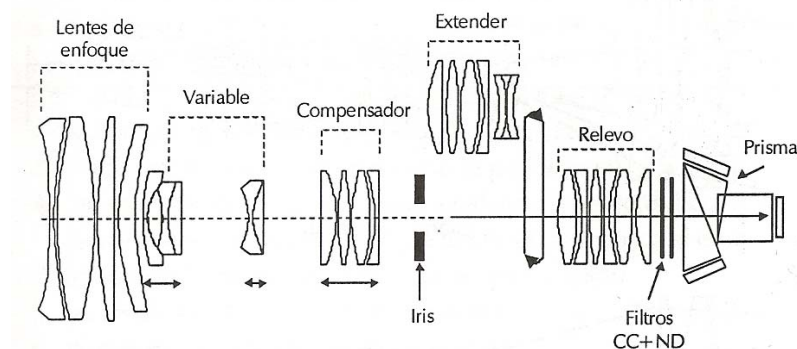
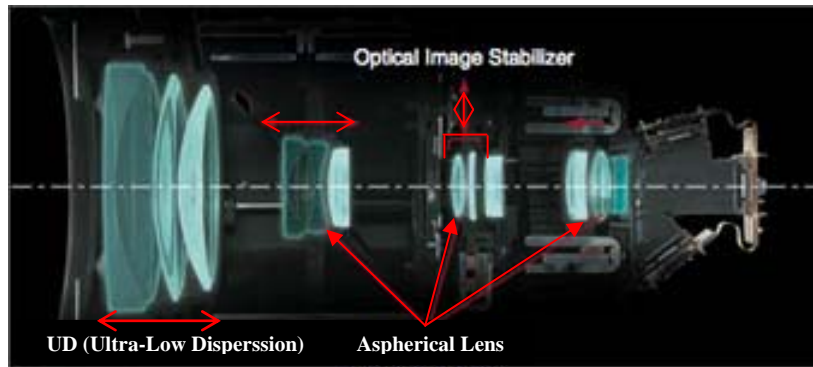
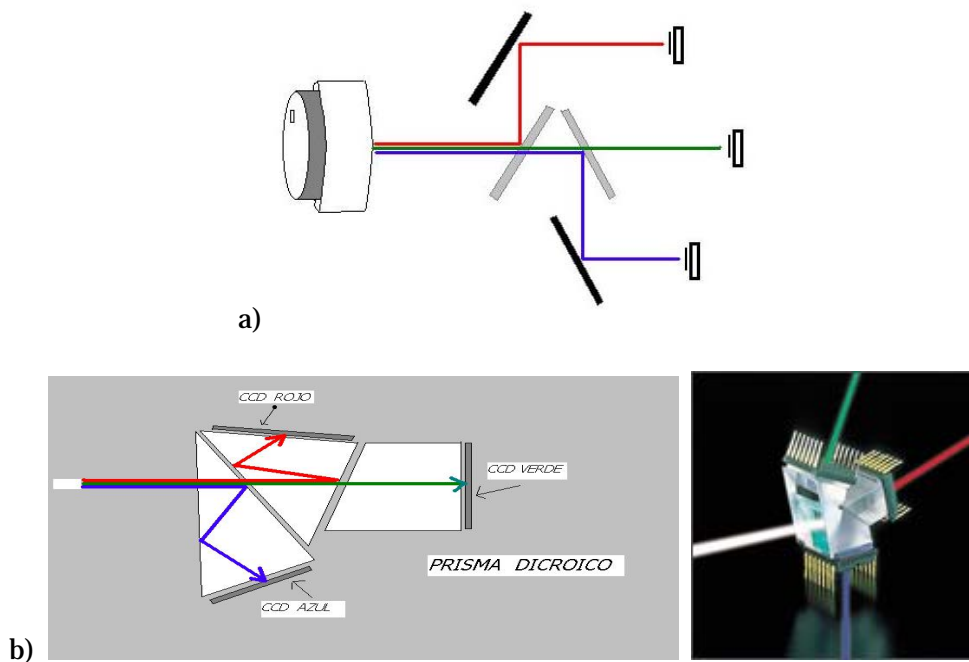


Fig. 1.32



**Fig. 1.33** a) Composición de las lentes convencionales. b) Composición de las lentes modernas de HD

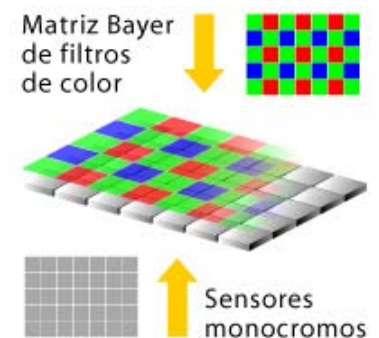
La técnica que se utiliza para filtrar los colores depende de la cámara que se use, por ejemplo, en las cámaras con tres CCD's se utiliza la técnica del espejo dicroico que solamente deja pasar ciertas longitudes de onda y reflejan las demás. Observemos la fig.1.34.a, el primer espejo refleja el rojo y deja pasar las longitudes de onda restantes. La luz azul es reflejada por otro espejo hacia el captador de luz azul. La luz que pasa a través del primer espejo va al siguiente, aquí el rojo es reflejado hacia el captador del rojo, y su salida será la información que contenga rojo. La luz restante pasa a través de este espejo y llega al captador del verde



**Fig. 1.34** a) Representación de cámara de espejo dicroico. b) Representación de cámara con superficie de prisma.

Otro método usa un prisma, como el mostrado en la fig. 1.34b. Este sistema utiliza capas de filtrado depositadas en la superficie del prisma. Los dispositivos de captación se agrupan alrededor del prisma en ángulos cuyos valores dependen de los ángulos en que emergen los colores del prisma designado.

Otro tipo de filtro que es utilizado para dividir la luz en señales R, G y B en cámaras con un solo CCD es el filtro de Bayer el cual alterna una línea de filtros verdes y rojos con otra línea de verdes y



**Fig. 1.35**

azules con franjas oblicuas de color. Este filtro se ha utilizado en videocámaras y camcorders ya que aumenta su practicidad porque son más pequeñas y mucho más baratas.

Una vez que la luz pasa a través de las lentes y los filtros la cámara recibe las luces roja, verde y azul correspondientes a la información de color de la escena para producir las señales de video que se representan en la fig. 1.37.

Los sensores más utilizados actualmente son los CCD's (*Charge Coupled Device* o Dispositivos de Carga Acoplada). El CCD es un chip que convierte señales luminosas concentrada por el juego de lentes de la cámara y separadas en su color correspondiente por medio de filtros, como se menciona anteriormente. Este chip generalmente es de Silicio altamente sensible a la luz, ya que es un semiconductor y transmite más del 95% de las longitudes de onda de la radiación infrarroja (alrededor de 456 nm). Sus propiedades son intermedias entre las del Carbono y el Germanio.

Podemos resumir el comportamiento del CCD en cuatro funciones primordiales que son:

- 1) **Generar cargas (fotoelectrones).** Esta se fundamenta en el *efecto fotoeléctrico*, los fotones al chocar con los diodos o capacitores estos liberan electrones. Consiste en la liberación de un electrón de la estructura del material a cambio de absorber un fotón. Esta propiedad está presente en algunos metales y semiconductores, entre ellos el Silicio, que en estado muy puro y cristalizado, es el material que emplean los sensores CCD.
- 2) **Recolectar cargas.** Los fotoelectrones son recogidos en puntos o píxeles cercanos, y estos puntos están concentrados por un conjunto de electrodos llamados puertas (gates).
- 3) **Transferir cargas.** En esta función la transferencia de cargas se logra manipulando el voltaje de las puertas de manera sistemática, de tal forma que la señal de electrones se mueva de un píxel al otro, haciendo un registro horizontal de píxeles al final de cada columna y poder ser enviados a un amplificador.
- 4) **Detectar cargas.** La función final se realiza cuando los paquetes individuales de carga son convertidos en voltajes de salida.

Debido a que la tensión entregada por el nodo detector es extremadamente débil es necesario magnificarla previamente mediante un circuito amplificador para después asignarle un valor digital mediante un ADC (*Analog to Digital Converter* o Convertidor Analógico Digital).

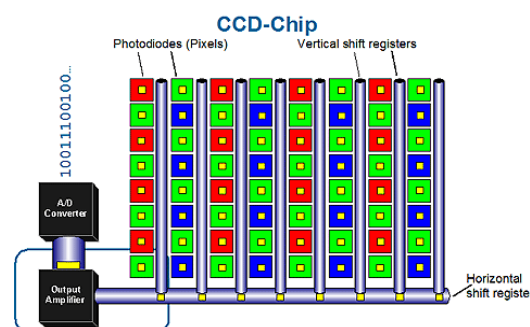
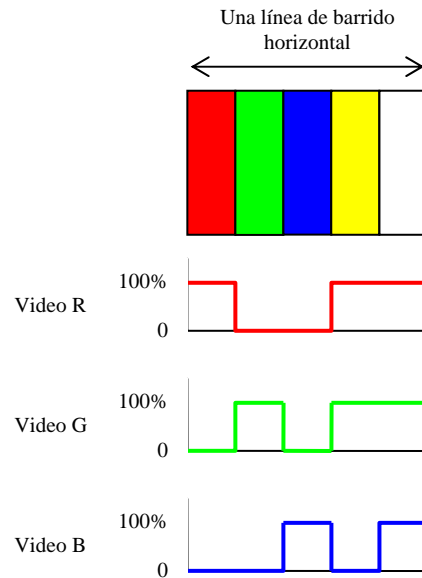


Fig. 1.36 Diagrama de un CCD

Observe en la fig. 1.37, los valores indicados para el amarillo, como ejemplo de un color complementario. Como el amarillo incluye el rojo y el verde, el voltaje de video se produce para ambos colores primarios, debido a que la captación del rojo y el verde tienen entradas de luz a través de los filtros de color. Sin embargo, no hay azul en el amarillo, lo que explica que el voltaje de video azul sea nulo para la barra amarilla.

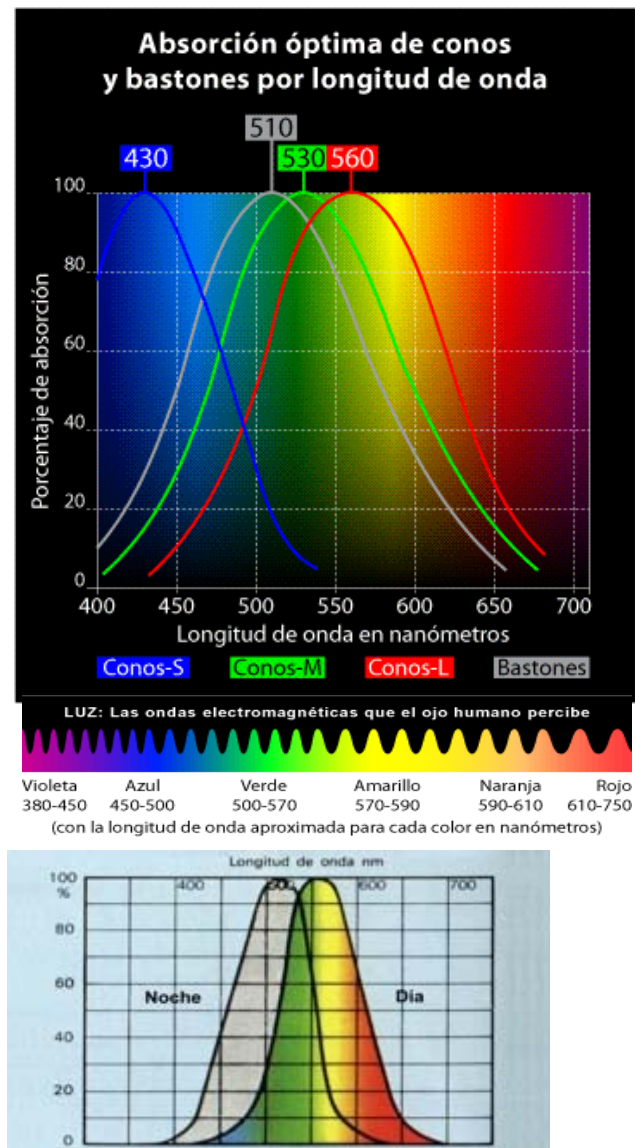
En la barra blanca hay voltaje de video en los tres CCD's ya que es la adición de los tres colores.



**Fig. 1.37** Señales de video R, G y B para el patrón de barras de color.

Los colores están dentro de un rango en el espectro electromagnético y la visión humana tiene su límite en las longitudes de onda del amarillo al verde, es decir, cerca de 560 nm ( $\text{nm}=1 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ ), como se muestra en la fig. 1.38. Nuestro sistema visual es incapaz de diferenciar el color amarillo producido por una radiación de 570 nm del amarillo producido por una radiación de 590 nm puesto que en la retina no existe un foto-conversor específico para cada color del espectro visible.

Los conos son los que proporcionan la visión en color. Hay tres clases de conos. Cada uno de ellos contiene un pigmento fotosensible distinto. Los tres pigmentos tienen su capacidad máxima de absorción hacia los 430, 530 y 560 nm de longitud de onda, respectivamente. Por eso se los suele llamar "azules", "verdes" y "rojos".



**Fig. 1.38** En esta gráfica se ve la respuesta del ojo humano con respecto a las longitudes de onda de cada color.

Esto quiere decir que el ojo ve a los colores amarillos y verdes como los más brillantes. Por lo tanto, los porcentajes de cada color primario, que igualan la sensación de la visión humana se expresa en la siguiente ecuación de señal:

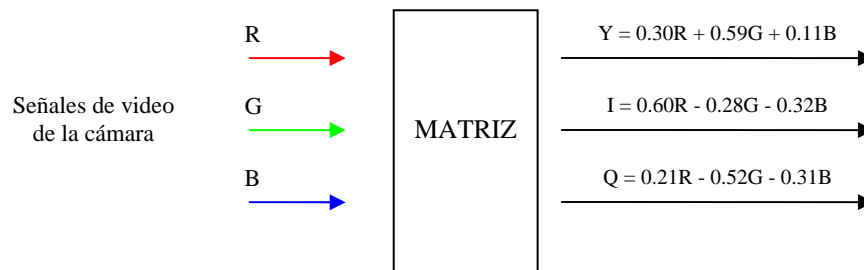
$$Y = 30\% \text{ rojo} + 59\% \text{ verde} + 11\% \text{ azul}; \text{ o bien}$$

$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B$$

En condiciones de buena iluminación, como ocurre de día, la visión es nítida, detallada y se distinguen muy bien los colores; a la cual llamamos **visión fotópica**. Para niveles inferiores desaparece la sensación de color y la visión es más sensible a los tonos azules y a la intensidad de la luz; la cual es llamada **visión escotópica**. Dicho efecto lo podemos observar en la gráfica de la fig. 1.38.

## SECCIÓN DE MATRIZ.

Un circuito de matriz, dentro de la cámara, forma nuevos voltajes de salida partiendo de la señal de entrada (RGB), combinando sus voltajes en proporciones específicas para formar las tres señales de video mejores para la difusión. Una señal contiene la información de brillo (Y), las otras dos el color (I y Q).



**Fig. 1.39** Matriz mezcladora de color

Las dos señales de color a la salida de la matriz deben ser mezclas de color, lo que significa que contienen R, G y B. Dos mezclas pueden tener toda la información de color original de los tres primarios.

Ejemplos importantes de pares de dos mezclas de color para codificar la información de color R, G y B son:

Video I y Q

o bien:

Video R – Y y B – Y

La Q significa fase en cuadratura con respecto a la señal I ya que tienen ángulos de fase de matiz separados  $90^\circ$ , al igual que las señales R–Y y B–Y. La –Y es la señal de luminancia en polaridad negativa. En realidad, I o Q se pueden convertir en R–Y o B–Y, respectivamente, o viceversa, cuando sea necesario para la codificación o decodificación.

### ➤ LA SEÑAL DE COLOR DE 3.58 MHZ

El sistema para la televisión de color es el mismo que para el monocromático, excepto que también se usa la información a color de la escena en términos de la señal RGB. Cuando se barre la imagen se producen señales de video separadas por filtros ópticos. Sin embargo, para la difusión de los canales de 6 MHz las señales de video en RGB se combinan para formar dos señales, una para brillo (luminancia) y otra para color (crominancia).

La idea básica fue transformar por combinación lineal las tres componentes RGB en otras tres señales equivalentes Y,  $C_B$  y  $C_R$ .

Como ya se ha mencionado la luminancia o brillo a la señal en blanco y negro y queda expresada matemáticamente por la siguiente fórmula:

$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B$$

**Ec. 7**



Por tanto, la señal de luminancia está formada por un 30% de la señal roja (R), un 59% de la señal verde (G) y un 11% de la señal azul (B).

La señal de luminancia no tiene información sobre el color y es preciso tener alguna información adicional que contribuya a restituir el color. En la matriz, además de la luminancia se obtienen, por simple suma algebraica, las relaciones siguientes:

$$\begin{aligned} (R - Y) + Y &= R \\ (G - Y) + Y &= G \\ (B - Y) + Y &= B \end{aligned} \qquad \text{Ec. 8}$$

A los términos entre paréntesis se les conoce por diferencia de color. Por convencionalismo, a la diferencia B-Y se la denomina U y a la diferencia R-Y se la denomina V o igual de otra manera  $C_B$ ,  $C_R$ , respectivamente. Por tanto, en la salida de la matriz se obtienen tres informaciones: Y,  $C_B$  y  $C_R$ .

La señal Y,  $C_B$  y  $C_R$  es idéntica en contenido a la señal RGB, pero existe una clara diferencia. Cada componente de la señal RGB ocupa un ancho de banda de 5 MHz, mientras que la señal Y,  $C_B$ ,  $C_R$  requiere un menor ancho de banda: 5 MHz para la Y y 1 MHz para cada componente  $C_B$ ,  $C_R$ .

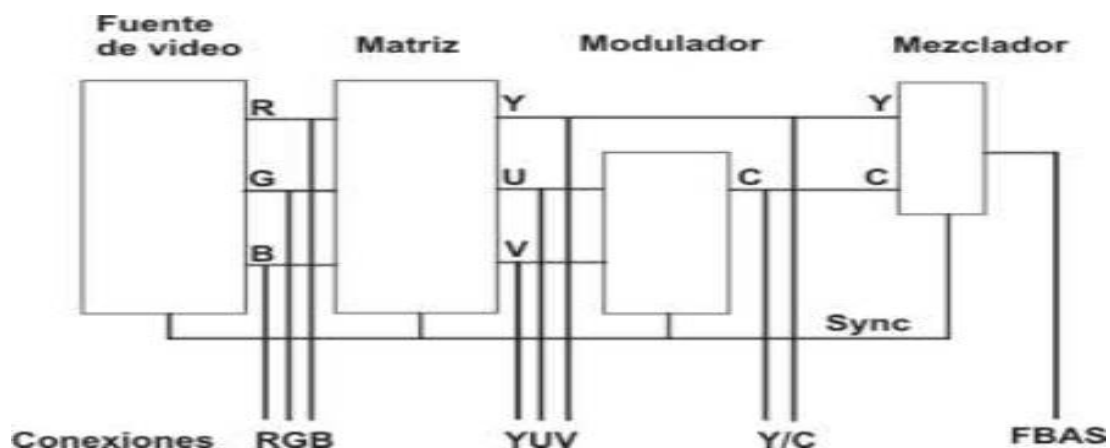
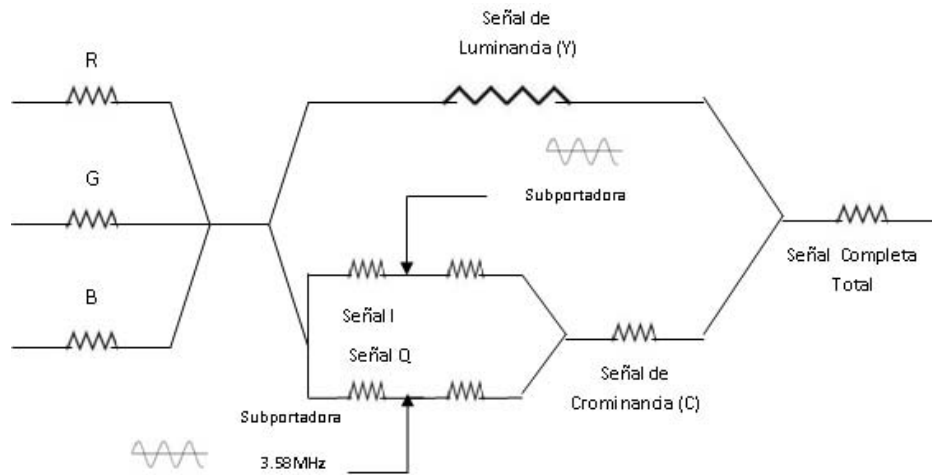


Fig. 1.40 Diagrama a bloques de la señal de color

1. Señal de luminancia (Y). Esta señal contiene sólo las variaciones de brillo, incluye detalles finos como en una señal monocromática. Esta señal se utiliza para reproducir la imagen en blanco y negro.
2. Señal de crominancia (C). Esta señal contiene la información a color. Se transmite en una subportadora con modulación en AM DSBSC (*Double Sideband Suppressed Carrier* o Doble Banda Lateral con Portadora Suprimida). La frecuencia de esta portadora es de 3.58 MHz (3.579545 MHz). En el receptor de un televisor de color, la señal cromática se combina con la señal de luminancia y luego se reproducen según la tecnología del receptor (tubo de imagen con pantalla de fósforo ó CCD con LCD).

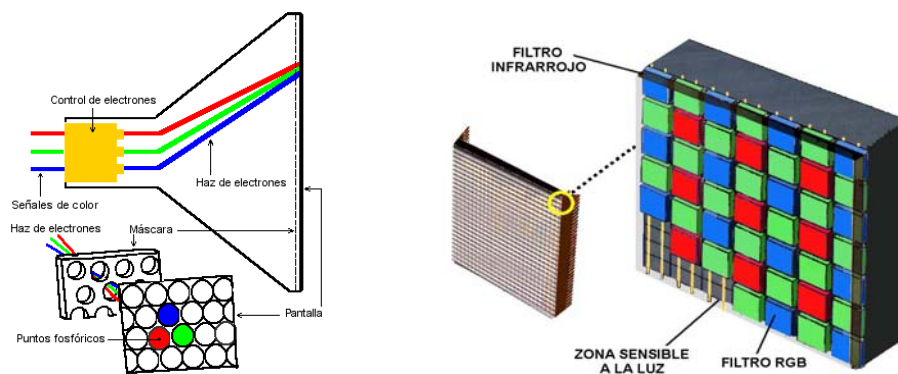
La crominancia es la componente de la señal de video que contiene las informaciones del color. El color está definido por dos magnitudes, la saturación I, que nos da la cantidad de color y el tinte o tonalidad Q que nos dice qué color es. Dependiendo del sistema utilizado para la codificación de una imagen estas dos magnitudes toman diferentes formas.



**Fig. 1.41** Composición de la señal de color

En el receptor de una televisión a color la señal cromática se combina con la señal de luminancia para recuperar las señales originales de RGB.

Cabe aclarar que anteriormente la forma de captación era por medio de un CRT (*Cathode Ray Tube* o Tubo de Rayos Catódicos), el cual fue remplazado por el CCD que es un dispositivo de estado sólido que usa columnas verticales y filas horizontales de fotodiodos para convertir la luz en cargas eléctricas. Las cargas se almacenan y después se transfieren a la etapa de salida del dispositivo. Las cargas correspondientes al nivel de luz salen temporizadas como señal de video. Ambos dispositivos se muestran en la fig.1.42.

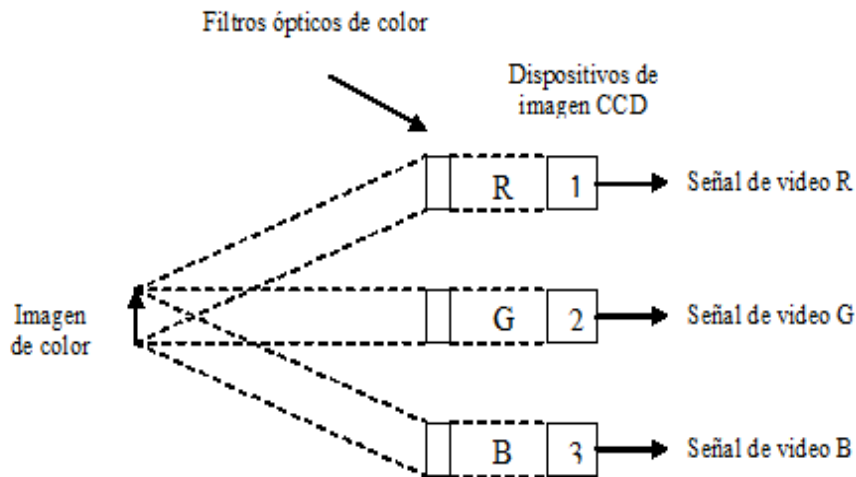


**Fig. 1.42** Comparación entre CRT y CCD

Los CCD son mejores que los dispositivos de tubo, ya que utilizan menos voltaje y te dan una mejor resolución porque tienen un gran número de fotodiodos que son usados como píxeles. Las cámaras de video y camcoders más recientes usan CCD.

Tomando como referencia la fig.1.43 donde se utilizan tres CCD's, diferentes para el rojo, verde y azul. Estos colores se separan para cada CCD por medio de filtros ópticos de color. Como resultado la salida del CCD 1 es una señal de video para R, que contiene información para las partes rojas de la escena, de manera similar para los CCD's restantes con G y B.





**Fig. 1.43** Cámara con tres CCD's como dispositivo de captación de imagen, produciendo las señales de R, G, B.

Las señales de video de color se codifican combinándolas en proporciones específicas, el resultado de esto es la formación de dos señales separadas: la señal de crominancia o croma (C), para el color y la señal de luminancia o brillo (Y), para la información de blanco y negro.

#### a) Amplitudes Diferentes de R, G y B

En la fig.1.44 se muestra la señal de video R, G y B separadas para una línea horizontal barrida a través de la imagen con barras verticales roja, verde y azul. Cada barra representa la información de la imagen de un color en particular, mientras se barre la línea roja la señal R tiene toda su amplitud, mientras tanto no hay señal de video en G y B. De manera similar para con las demás líneas.

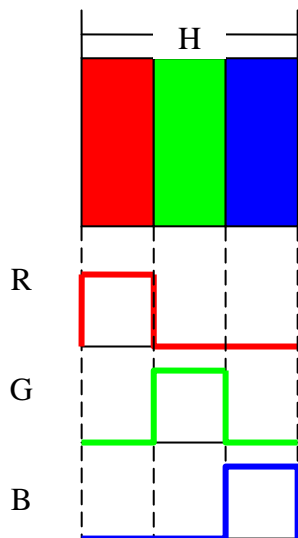
#### b) Diferentes Amplitudes para el mismo Color

En la fig.1.45 las barras roja, rosa y rosa pálido tienen valores decrecientes de intensidad de color, por lo tanto, los valores de los voltajes van decreciendo para cada color, respectivamente. Lo que queremos demostrar es que la amplitud de los voltajes de video para cada color indica su información.

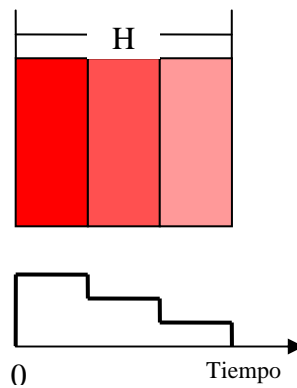
Con las amplitudes decrecientes de la señal R, las señales G y B aumentan, ya que como R, G y B proporcionan el blanco, al aumentar G y B disminuyen la saturación de R.

#### c) Frecuencias de Video de Color

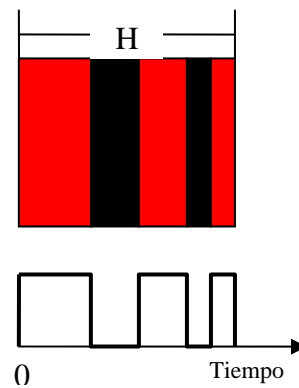
En la fig.1.47 todas las barras de color son rojas, pero se hacen más estrechas. Este es un caso de menos tiempo de barrido en los detalles más pequeños en la información de imagen.



**Fig. 1.44** Señales de video de color de R, G y B de las barras que tienen diferentes matices. La letra H indica una línea de barrido horizontal.



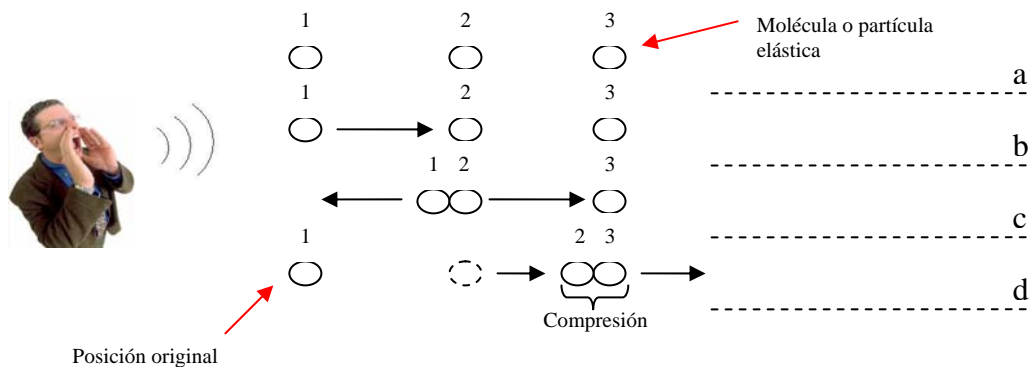
**Fig. 1.45** Amplitudes decrecientes de la señal de color R, para las barras roja, rosa y rosa pálido, que indican colores más débiles con menos saturación de color.



**Fig. 1.46** Un ej. de frecuencias crecientes de la señal de video de color para barras de color con menos ancho, indica detalles más pequeños de información..

### 1.1.3.- FUNDAMENTOS DEL SONIDO

El sonido es una perturbación que se refleja en un medio elástico y es la sensación percibida por el oído humano en forma de ondas sonoras progresivas como se muestra en la fig.1.47 e inmediatamente después se explica cada uno de los pasos mostrados en la figura.



**Fig. 1.47**

- Observamos las moléculas en estado de reposo.
- Al generarse una perturbación la molécula 1 tendrá un desplazamiento hacia la derecha provocando un choque con la molécula 2.
- La molécula 2 se desplazará de igual manera hacia la derecha provocando el mismo efecto con la molécula 3.

- d. La molécula 1 retorna a su posición original al mismo tiempo que la 2 golpea a la 3. Lo que percibe el oído es la energía de las moléculas la cual la podemos representar en forma sinusoidal para estudiar su comportamiento

### ➤ PARÁMETROS DEL SONIDO

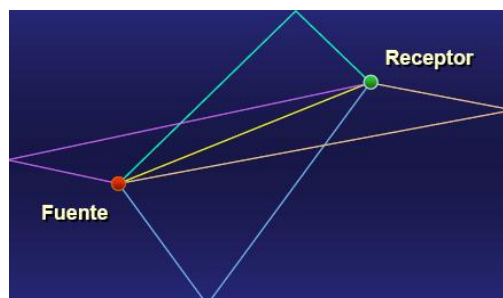
#### a. Reflexión

Es una propiedad característica del sonido, que algunas veces llamamos eco. El eco se produce cuando un sonido se refleja en un medio más denso y llega al oído de una persona con una diferencia de tiempo igual o superior a 0.1 segundos respecto del sonido que recibe directamente de la fuente sonora.

Si la onda se refleja, el ángulo de la onda reflejada es igual al ángulo de la onda incidente, de modo que si una onda sonora incide perpendicularmente sobre la superficie reflejante, vuelve sobre sí misma.

La reflexión no actúa igual sobre las altas frecuencias que sobre las bajas. Lo que se debe a que la longitud de onda de las bajas frecuencias es muy grande (pueden alcanzar los 18 metros), por lo que son capaces de rodear la mayoría de obstáculos.

En acústica esta propiedad de las ondas es sobradamente conocida y aprovechada. No sólo para aislar, sino también para dirigir el sonido hacia el auditorio mediante placas reflectoras (reflectores y tornavoces).



**Fig. 1.48** La línea amarilla es el sonido directo, las otras líneas son algunas de las primeras reflexiones.

#### b. Refracción

Es la desviación que sufren las ondas en la dirección de su propagación, cuando el sonido pasa de un medio a otro diferente, esto se debe a que al cambiar de medio, cambia la velocidad de propagación del sonido.

A diferencia de lo que ocurre en el fenómeno de la reflexión, en la refracción, el ángulo de refracción ya no es igual al de incidencia.

La refracción también puede producirse dentro de un mismo medio, cuando las características de este no son homogéneas, por ejemplo, cuando de un punto a otro de un medio aumenta o disminuye la temperatura. Dado caso se puede demostrar sobre una superficie nevada, el sonido es capaz de desplazarse atravesando grandes distancias. Esto es posible gracias a las refracciones producidas bajo la nieve, que no es medio uniforme. Cada capa de nieve tiene una

temperatura diferente. Las más profundas, donde no llega el sol, están más frías que las superficiales. En estas capas más frías próximas al suelo, el sonido se propaga con menor velocidad.

### c. Difracción (sonido)

Una de las características del sonido es que si encuentra un obstáculo en su dirección de propagación, es capaz de rodearlo y seguir propagándose. Esto se debe al fenómeno de **difracción** que afecta a la propagación del sonido. Hablamos de difracción cuando el sonido en lugar de seguir en la dirección normal, se dispersa.

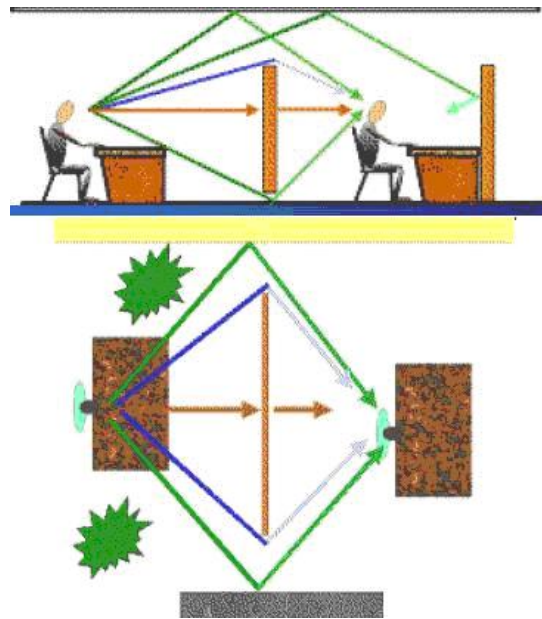
La explicación la encontramos en el Principio de Huygens que establece que cualquier punto de un frente de ondas es susceptible de convertirse en un nuevo foco emisor de ondas idénticas a la que lo originó. De acuerdo con este principio, cuando la onda incide sobre una abertura o un obstáculo que impide su propagación, todos los puntos de su plano se convierten en fuentes secundarias de ondas, emitiendo nuevas ondas, denominadas ondas difractadas.

La difracción se puede producir por dos motivos diferentes:

1. Porque una onda sonora encuentra a su paso un pequeño obstáculo y lo rodea. Las bajas frecuencias son más capaces de rodear los obstáculos que las altas ya que son lo suficientemente grandes para superar la mayor parte de los obstáculos que encuentran. Esto es posible porque las longitudes de onda en el espectro audible están entre 3cm y 12m.
2. Porque una onda sonora topa con un pequeño agujero y lo atraviesa.

La cantidad de difracción estará dada en función del tamaño de la propia abertura y de la longitud de onda.

- Si una abertura es grande en comparación con la longitud de onda, el efecto de la difracción es pequeño. La onda se propaga en líneas rectas o rayos, como la luz.
- Cuando el tamaño de la abertura es considerable en comparación con la longitud de onda, los efectos de la difracción son grandes y el sonido se comporta como si fuese una luz que procede de una fuente puntual localizada en la abertura.



**Fig. 1.49** En la ilustración, la línea azul representa la difracción, la verde la reflexión y la marrón la refracción.

### ➤ VELOCIDAD DEL SONIDO

La velocidad de propagación de la onda sonora (velocidad del sonido) depende de las características del medio en el que se transmite dicha propagación; presión, temperatura, humedad, entre otros, y no de las características de la onda o de la fuerza que la genera.

La **velocidad del sonido** es la velocidad de propagación de las ondas sonoras, las cuales son un tipo de ondas mecánicas longitudinales producidas por variaciones de presión del medio. Estas variaciones de presión (captadas por el oído humano) producen en el cerebro la percepción del sonido. El sonido no se transporta por el vacío porque no hay moléculas a través de las cuales transmitirse.

En general, la velocidad del sonido es mayor en los sólidos que en los líquidos y en los líquidos es mayor que en los gases.

- La velocidad del sonido en el aire (a una temperatura de 20 °C) es de 340 m/s (1,224 km/h)
- En el aire a 0 °C, el sonido viaja a una velocidad de 331 m/s y si sube en 1 °C la temperatura, la velocidad del sonido aumenta en 0.6 m/s.
- En el agua es de 1,600 m/s
- En la madera es de 3,900 m/s
- En el acero es de 5,100 m/s

## ➤ CARACTERÍSTICAS DEL SONIDO

### a. Intensidad

La intensidad de una onda sonora es una medida de la potencia transmitida por unidad de área perpendicular a la dirección de propagación de onda.

Las unidades para la intensidad resultan de la relación de una unidad de potencia entre una unidad de área. En unidades del SI, la intensidad se expresa en  $\text{W/m}^2$ , y ésta es la unidad que emplearemos. Sin embargo, la rapidez de flujo de energía en ondas sonoras es pequeña, y en la industria se usa todavía  $\text{W/cm}^2$  en múltiples aplicaciones. El factor de conversión es:

$$1 \text{ W/cm}^2 = 1 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2 \quad \text{Ec. 9}$$

Se puede demostrar por métodos similares a los utilizados para un resorte que está vibrando, que la intensidad sonora varía en forma directa al cuadrado de la frecuencia  $f$  y al cuadrado de la amplitud  $A$  de una determinada onda sonora. Simbólicamente, la intensidad  $I$  esta dada por:

$$I = 2^2 f^2 A^2 p v \quad \text{Ec. 10}$$

Donde  $v$  es la velocidad del sonido en un medio de densidad  $p$ . El símbolo  $A$  en la ecuación se refiere a la amplitud de la onda sonora y no a la unidad de área.

La intensidad  $I_0$  del sonido audible apenas perceptible es el orden de  $10^{-12} \text{ W/m}^2$ . Esta intensidad, que se conoce como umbral de audición, ha sido adoptada por expertos en acústica como la intensidad mínima para que un sonido sea audible.

El umbral de audición representa el patrón de la intensidad mínima para que un sonido sea audible. Su valor a una frecuencia de 1,000 Hz es:

$$I_0 = 1 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2 = 1 \times 10^{-10} \text{ W/cm}^2 \quad \text{Ec. 11}$$

El intervalo de intensidades por arriba del cual el oído humano es sensible puede ser enorme. Abarca desde el umbral de audición  $I_0$  hasta una intensidad de  $10^{-12}$  veces mayor. El extremo superior representa el punto en el que la intensidad es intolerable para el oído humano. La sensación se vuelve dolorosa y no sólo auditiva.

El umbral del dolor representa la intensidad máxima que el oído promedio puede registrar sin sentir dolor. Su valor es:

$$I_p = 1 \text{ W/m}^2 = 100 \text{ W/cm}^2 \quad \text{Ec. 12}$$

En vista de la amplitud del intervalo de intensidades al que es sensible el oído, es más conveniente establecer una escala logarítmica para las mediciones de intensidades sonoras. Dicha escala se establece a partir de la siguiente regla.

Cuando la intensidad  $I_1$  de un sonido es 10 veces mayor que la intensidad  $I_2$  de otro, se dice que la relación de intensidades es de 1 bel (B).

O sea que, cuando se compara la intensidad de dos sonidos, nos referimos a la diferencia entre niveles de intensidad dada por:

$$B = \log \frac{I_1}{I_2} \quad \text{beles (B)} \quad \text{Ec. 13}$$

donde:

$I_1$  es la unidad de un sonido

$I_2$  es la intensidad del otro.

b. Tono y Timbre.

El efecto de la intensidad en el oído humano se manifiesta en sí mismo como volumen. En general, las ondas sonoras que son más intensas son también de mayor volumen, pero el oído no es igualmente sensible a sonidos de todas las frecuencias. Por lo tanto, un sonido de alta frecuencia puede ni parecer tan alto como uno de menor frecuencia que tenga la misma intensidad.

La frecuencia de un sonido determina lo que el oído juzga como el tono del sonido. Los músicos designan el tono por las letras que corresponden a las notas de las teclas del piano. Por ejemplo, las notas do, re y fa se refieren a tonos específicos, o frecuencias.

### ➤ EL OÍDO HUMANO

Sonido audible es el que corresponde a las ondas sonoras en un intervalo de frecuencias de 20 a 20,000 Hz.

Las ondas sonoras que tienen frecuencias por debajo del intervalo audible se denominan infrasónicas. Las ondas sonoras que tienen frecuencias por encima del intervalo audible se llaman ultrasónicas.

Cuando se estudian los sonidos audibles, los fisiólogos usan los términos, fuerza, tono y calidad (timbre) para describir las sensaciones producidas. Por desgracia, estos términos representan magnitudes sensoriales y por lo tanto subjetivas. Lo que es volumen fuerte para una persona es moderado para otra. Lo que alguien percibe como calidad, otro lo considera inferior. Como siempre, los físicos deben trabajar con definiciones explícitas medibles. Por lo tanto, el físico intenta correlacionar los efectos sensoriales con las propiedades físicas de las ondas. Estas correlaciones se resumen en la siguiente forma:

- Efectos sensoriales - Propiedad física
- Intensidad acústica (Volumen) - Intensidad
- Tono - Frecuencia
- Timbre (Calidad) - Forma de la onda

El significado de los términos de la izquierda puede variar considerablemente de uno a otro individuo. Los términos de la derecha son medibles y objetivos.

#### 1.1.4.- PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL DE AUDIO

Para introducirnos en los sistemas de sonidos usados en televisión primero veremos las bases de un sistema de sonido independiente, que nos ayudará a comprender posteriormente los sistemas de sonido que forman parte de un sistema audiovisual.

Dentro de los sistemas de televisión existen dos tipos de sistemas de audio muy utilizados: monocanal (monoaural) y multicanal (dos o más canales).

## • MONOCANAL

En este sistema la banda base se modula solo un canal de sonido de unos 15 KHz de ancho de banda, en una portadora independiente de la portadora de imagen.

## • MULTICANAL

Le llamamos así cuando el sistema tiene más de un canal monoaural en donde se debe tener en cuenta las siguientes características:

### a) Sonido estereofónico

Para aumentar la sensación de realidad del sonido recibido por el oyente apareció la radiodifusión estereofónica que consiste en recoger el sonido de la escena por medio de micrófonos situados en los lados izquierdo y derecho de la misma. A la hora de reproducir dicho sonido se debe ofrecer al oyente ambos canales, para que así pueda tener mayor sensación de estar escuchando la escena en directo.

Este sistema tiene sentido cuando se están grabando escenas que emiten sonidos por todo el escenario, por ejemplo un concierto, y pierde su utilidad cuando un locutor habla por un solo micrófono.

La codificación de la emisión estereofónica debe cumplir dos requisitos: codificar y transmitir los canales derecho (R) e izquierdo (L) de sonido de la escena; codificarlos de tal forma que el receptor monofónico pueda seguir recibiendo un solo canal.

Para conseguir estos dos objetivos, las señales que se codifican no son directamente L y R, sino dos señales mezcla de ambas: “L + R” y “L – R”. La señal suma es la que va a servir al receptor para guardar la compatibilidad con el sistema monofónico y la señal diferencia permitirá al receptor estéreo decodificar L y R.

Ambas señales se modulan en FM, al igual que el sistema anterior, con una portadora de radiofrecuencia.

### b) Utilidades del sistema multicanal.

- Sonido estéreo en programas musicales.
- Sistema dual: Son dos canales monofónicos, uno con versión original del programa o película y otro con la versión doblada.
- Aplicaciones en países multilingües: Son dos canales monofónicos con el sonido en dos lenguas distintas del país.



- c) En función de la modulación del segundo canal de sonido, los sistemas multicanal se clasifican en:
- Analógicos: Si el segundo canal de sonido es analógico. Dicho canal puede sufrir una modulación previa a la FM o puede modularse con una portadora independiente.
  - Digitales: Si el segundo canal es digital.
- d) Igual que en las transmisiones radiofónicas en estéreo, en los sistemas de sonido multicanal de televisión, el requisito fundamental que debe cumplir es la compatibilidad. Los principales sistemas de sonido multicanal que se han desarrollado han sido:

**Sistema BTSC:** Es un sistema de subportadora que utilizan en Estados Unidos desde 1984 consiste en modular el segundo canal de sonido (L-R) en amplitud y sumarlo al sonido convencional (L+R) en banda base para después modular el conjunto en FM con la portadora de sonido del sistema utilizado.

**Sistema FM-FM:** Se utiliza en Japón desde 1974 e igual al anterior en el que el segundo canal de sonido modula en FM a una portadora de 31.47 KHz .

**Sistema Zweiton:** Esta en funcionamiento en Alemania desde 1981. Utiliza dos portadoras, una modulada por el primer canal de sonido y otra por el segundo canal. Ambas portadoras se modulan en FM, estando la segunda situada a 242.1875 KHz por encima de la portadora de sonido convencional. La ventaja de este sistema es conseguir mejor relación señal a ruido (S/N) que los sistemas de subportadora.

## 1.2.- EL CANAL DE DIFUSIÓN DE TV DE 6 MHZ.

El grupo de frecuencias asignadas por la FCC a una estación emisora de televisión para la transmisión de sus señales se denomina canal. Cada televisora tiene un canal de 6 MHz dentro de una de las siguientes bandas asignadas para la televisión comercial.

1. Canales VHF de banda baja, CH 2 (54 MHz) – CH 6 (88 MHz).
2. Canales VHF de banda alta, CH 7 (174 MHz) – CH 13 (216 MHz).
3. Canales UHF, CH 14 (470 MHz) – CH 69 (806 MHz).

Tomando un barrido entrelazado con 525 líneas a 30 cuadros por segundo se tiene que:

$$525 \times 525 \times 30 = 8.26 \times 10^6 \text{ elementos de imagen / segundo} \quad \text{Ec. 14}$$

Tomando la mitad de esta cantidad se estableció el ancho de banda

$$8,260,000 \text{ Hz} / 2 = 4.13 \text{ MHz} \quad \text{Ec. 15}$$

Este ancho de banda es únicamente para la imagen sin audio quedando esta en 5.75 MHz.

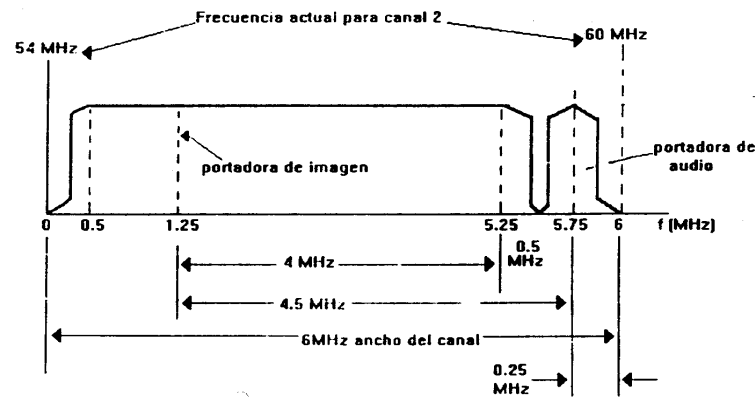


Fig. 1.50 Ancho de banda de un canal de televisión dado por el sistema NTSC

### 1.3.- MODULACIÓN DE VIDEO Y AUDIO

En esencia se requiere un ancho de banda (BW) de 6 MHz para la señal portadora de imagen. La amplitud de esta señal portadora está modulada por la señal de video, con un amplio rango de frecuencias de video (hasta alrededor de 4 MHz). Las frecuencias moduladoras de video corresponden a los detalles horizontales más pequeños en la imagen.

La portadora de imagen o video se modula en amplitud (AM), por lo general una señal de este tipo tiene una banda lateral superior y una inferior con límites iguales, lo cual resultaría que nuestra señal tuviera un  $BW = 8$  MHz. Sin embargo solo se transmite con la banda lateral superior contados los componentes de alta frecuencia hasta alrededor de 4 MHz.

Observe que la banda lateral inferior contiene nada más frecuencias de hasta 1.25 MHz. Esta técnica se conoce como transmisión de banda lateral residual AM-VSB (vestigial sideband).

#### 1.3.1.- MODULACIÓN DE CROMINANCIA.

Para emisiones de televisión de color, la señal de crominancia de 3.58 MHz contiene la información de color. Esta es una señal AM. Esta señal de color se combina con una señal de luminancia para formar una señal de video que modula la onda portadora de imagen.

La portadora para la subportadora de color no se transmite, esto se indica por la línea punteada para la señal C. Esta señal también es AM, pero con una portadora suprimida. Este tipo de AM se conoce como doble banda lateral con portadora suprimida.

#### 1.3.2.- MODULACIÓN DE SONIDO FM.

El canal de 6 MHz también incluye la señal portadora de audio. La señal portadora de audio es una señal de FM modulada por frecuencias de audio en el intervalo de 50 a 15,000 Hz. La señal de audio puede ser en estéreo.

La técnica de transmitir más de una señal en un mismo canal, se conoce como multiplexaje de división de frecuencias (FDMA).

### 1.3.3.- FRECUENCIAS PORTADORAS.

La fig.1.50 muestra la manera en que diferentes señales portadoras pueden caber en el canal estándar de 6 MHz. La frecuencia portadora de imagen siempre se localiza a 1.25 MHz arriba del extremo bajo del canal. En el extremo opuesto, la frecuencia portadora de audio está 4.5 MHz arriba de la señal portadora de imagen y 0.25 MHz abajo del extremo alto del canal.

## 1.4.- NORMAS DE TRANSMISIÓN

Es necesario establecer normas para el transmisor, de manera que el receptor funcione correctamente para todas las estaciones. La FCC ha especificado una serie de normas de transmisión. Varios puntos de los estándares se mencionan aquí para resumir los requisitos más importantes del sistema de televisión NTSC:

1. El estándar de barrido a una velocidad uniforme de las líneas horizontales de izquierda a derecha, el avance de arriba abajo en la imagen, cuando la escena se ve desde la posición de la cámara.
2. El número de líneas barridas por periodo de cuadro es 525. Esto es, 262 ½ líneas por campo.
3. La tasa de repetición de cuadros aproximada es 30 Hz, o exactamente 29.97 Hz. Un cuadro se compone de dos campos.
4. La señal subportadora de color tiene una frecuencia exacta de 3.579545 MHz.
5. La relación de aspecto de cuadro es 4:3, es decir, 4 unidades horizontales por 3 unidades verticales o 1.33. El formato 16:9 también se puede utilizar.
6. El ancho del canal asignado a una estación de emisión de televisión es de 6 MHz. Este ancho de banda se aplica a canales VHF y UHF, ya sean monocromáticos o de color.
7. La señal portadora de imagen se modula en amplitud tanto para la señal de imagen como para la señal de sincronización.
8. El audio asociado se transmite como una señal FM. La variación máxima de frecuencia de la portadora es  $\pm 25$  KHz para 100% de modulación. La frecuencia de la portadora de audio es 4.5 MHz arriba de la portadora de imagen, dentro del canal de emisión de 6 MHz. El transmisor de FM para la señal de audio se llama transmisor aural.

## 1.5.- DESVENTAJAS DEL SISTEMA NTSC ANALÓGICO

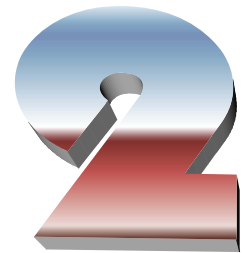
Los problemas de transmisión e interferencia tienden a degradar la calidad de la imagen en el sistema NTSC, alterando la fase de la señal del color, por lo que en algunas ocasiones el cuadro pierde su equilibrio del color en el momento de ser recibido, esto hace necesario incluir un control de tinte, que no es necesario en los sistemas PAL o SECAM. Por eso en broma se le denomina "NTSC: "Never The Same Color" ("NTSC: Nunca el mismo color"). Otra de sus desventajas es su limitada resolución, de solo 525 líneas de resolución vertical, la más baja entre todos los sistemas de televisión, lo que da lugar a una imagen de calidad inferior a la que es posible enviar en el mismo ancho de banda con otros sistemas.

## 1.6.- CONCLUSIONES

El formato NTSC consiste en la transmisión de 29.97 cuadros de video en modo entrelazado con un total de 525 líneas de resolución y una velocidad de actualización de 30 cuadros de video por segundo y 60 campos de alternación de líneas.

Para garantizar la compatibilidad del sistema NTSC en televisiones de blanco y negro, el sistema NTSC de color mantiene la señal monocromática como componente de luminancia de la imagen en color, mientras que las dos componentes de crominancia se modulan con una modulación de amplitud en cuadratura sobre una subportadora de 3.579545 MHz.

Un canal de televisión transmitido en el sistema NTSC utiliza alrededor de 6 MHz de ancho de banda, para contener la señal de video, más una banda de resguardo de 250 KHz entre la señal de video y la de audio. Los 6 MHz de ancho de banda se distribuyen de la siguiente forma: 1.25 MHz para la portadora de video principal con dos bandas laterales de 4.2 MHz; las componentes de color a 3.579545 MHz sobre la portadora de video principal, moduladas en cuadratura; la portadora de audio principal de 4.5 MHz transmitida sobre la señal de video principal y los últimos 250 KHz de cada canal para la señal audio estereofónica en frecuencia modulada.



# TELEVISIÓN DIGITAL (DTV)

El desarrollo de la televisión a pasado por diferentes cambios a lo largo de su historia, los cuales nos han llevado hasta lo que ahora conocemos. En sus inicios con imágenes en blanco y negro, poco tiempo después la adaptación del color que fue unos de sus cambios más importantes, pero sin duda lo que más nos ha cautivado y beneficiado es la digitalización de las señales.

Desde hace algunos años, los sistemas de Televisión Analógicos han comenzado a ser reemplazados por la nueva tecnología de Televisión Digital; desde el inicio de esta revolución tecnológica en los años 90's, cada vez más compañías deciden efectuar la migración hacia sistemas de proceso digital. Para poder obtener mayores beneficios de los sistemas digitales, estos deben de ser diseñados considerando nuevos conjuntos de reglas, las cuales en algunas ocasiones resultan similares con los sistemas analógicos y en algunas otras resultan ser completamente diferentes.

Regularmente los planes de diseño incluyen la consideración en la cual se tienen sistemas completamente digitales trabajando en conjunto con sistemas analógicos, para posteriormente ir evolucionando hacia una instalación completamente digital y posteriormente hacia sistemas de HDTV, sin embargo calculamos que esta tecnología no estará disponible en forma económicamente viable hasta quizás siete o más años, por lo que el paso siguiente desde los sistemas analógicos es hacia sistemas digitales, los cuales ahora resultan muy viables económicamente, por estas razones se requiere actualizar a las personas involucradas en todo el proceso de producción, así como al personal de ingeniería responsable de el servicio e instalación de los equipos; por esta razón se ha diseñado este capítulo que pretende aportar los conceptos básicos y consideraciones necesarias para la operación de un sistema de televisión digital.

La televisión digital surgió como resultado de la necesidad de mejorar la tecnología y la economía. La transmisión de video digital tiene varias ventajas, que incluyen las imágenes de alta resolución, sonido multicanal excepcional, relación señal a ruido baja, almacenamiento y edición en la computadora. Los factores económicos se relacionan con las industrias electrónicas y de semiconductores.

Sin duda alguna el primer dispositivo electrónico que posibilitó la introducción de tecnologías digitales en un mundo tan tradicionalmente analógico fue el diodo de capacidad variable (Varicap), el cual sustituyó al condensador variable. Este dispositivo permite la sintonía de los circuitos resonantes mediante la aplicación de tensión y con ello las posteriores funciones de sintonía automática y memorización de canales.

La implantación de los nuevos servicios de televisión de condición digital desarrollados e implantados, están basados en portadoras moduladas con contenido digital y son de condición multiservicio o multiprograma. Las informaciones correspondientes al mensaje son convertidas a formato digital, y transmitidas con modulaciones digitales. Los nuevos servicios ofrecen más calidad de imagen y sonido que los sistemas analógicos a demás de nuevas prestaciones, y ha sido posible ubicar sus portadoras en los espacios radioeléctricos ya asignados a los sistemas clásicos (NTSC, PAL y SECAM).

Existen tres normas técnicas definidas, las cuales se muestran en la fig. 2.1 y son:

**ATSC:** Diseñado para agregar un transmisor digital a cada transmisor NTSC sin interferencias entre las señales. Utilizado en México, Corea del Sur, Canadá, Estados Unidos y algunos países de Latinoamérica.

**DVB-T:** Es portable y se ha probado con éxito a velocidades de hasta 170 Mbps. Utilizado en Europa, India, China, Sudáfrica, Australia y algunos países asiáticos.

**ISDB-T:** Es flexible, ya que no sólo se pueden enviar señales de audio e imagen, sino también servicios multimedios. Es la norma en Japón y Brasil.

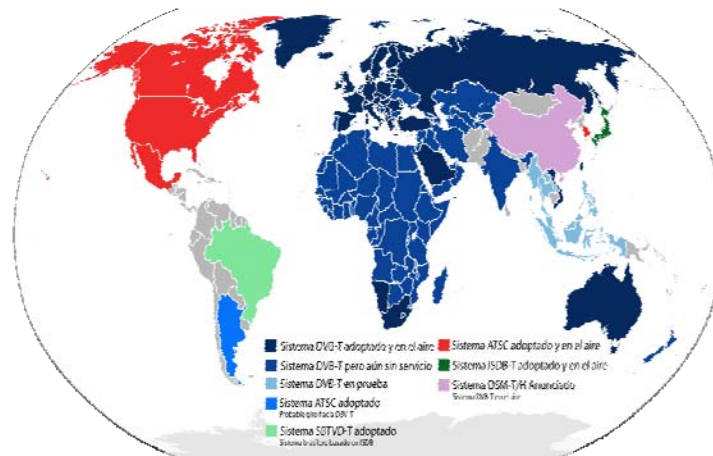


Fig. 2.1 Distribución y clasificación de servicios digitales en el mundo.

## ➤ VENTAJAS DE LA TELEVISIÓN DIGITAL

Sin duda alguna la televisión digital ofrece varias ventajas sobre la analógica, las cuales se mencionan a continuación:

- Una señal analógica sufre problemas de atenuación y desvanecimiento cuanto mayor es la distancia entre Tx y Rx, además de interferencias, lo cual no sucede con un sistema digital. Con esto se deduce que se tiene una mejor calidad de transmisión de audio y video ya que en el sistema digital es fácil regenerar la señal, ya que solo se manejan 1's y 0's.
- En la transmisión digital las técnicas de compresión, como MPEG (*Moving Picture Expert Group* o Grupo de Expertos de Imágenes en Movimiento), reducen el ancho de banda de un canal, dándonos como ventaja la transmisión de servicios adicionales en el mismo espacio y a la vez utilizar una sola portadora.
- Un problema que existe en los sistemas analógicos es el de la multi generación a partir de un solo master o cinta maestra, cada vez que se efectúa una generación a partir de otra la calidad se degrada ostensiblemente, este problema no era posible de solucionar en los sistemas analógicos y es en realidad la gran ventaja de un sistema digital que permite efectuar multigeneraciones sin sufrir degradación en la calidad original.
- En un sistema de Televisión Digital, prácticamente no existen ajustes, por lo cual la labor de mantenimiento resulta más simple, de la misma forma la labor del operador resulta más simple sin que la calidad de la señal sufra degradación.
- Otra ventaja de un sistema con proceso digital es que los procesos de post-producción resultan económicamente más baratos y fáciles de efectuar; efectos especiales que anteriormente implicaban una gran dificultad para realizarse ahora resultan posibles mediante las tecnologías digitales.
- Los circuitos digitales pueden proporcionar mucha funcionalidad en un espacio pequeño. Los circuitos que se emplean de manera repetitiva pueden "integrarse" en un solo "chip" y fabricarse en masa a un costo muy bajo, haciendo posible la fabricación de productos desechables como son las calculadoras y relojes digitales.

## 2.1. FUNDAMENTOS

La técnica para convertir una señal analógica a digital es la PCM (*Pulse Codific Modulation* o Modulación por Impulsos Codificados).

La modulación por impulsos codificados, es un método para convertir información analógica a señales digitales, cada una de las cuales esta representada por un tren de pulsos binarios. La conversión se realiza en tres procesos:



El proceso de elegir ciertos puntos para la medición de la curva es llamado **muestreo**. Los valores de medición se denominan muestras. Los puntos elegidos de la curva nos determinan las coordenadas de tiempo que nos ayudarán a obtener los valores de la señal digital.

Las amplitudes de las muestras antes dichas pueden tomar cualquier valor de la gama de amplitudes de la señal de conversión. Cuando medimos las amplitudes de las muestras se redondean los valores obtenidos, a este redondeo le llamamos proceso de **cuantificación**, a todas las amplitudes de las muestras que caigan en un mismo intervalo de cuantificación se les dará el mismo valor cuantificado.

El proceso de **codificación** nos da una forma más apropiada para la transmisión sobre el medio que se desee enviar la señal. Generalmente, los valores de las muestras se codifican en forma binaria, de modo que el valor de cada muestra estará representado con un grupo de ocho elementos binarios, los cuales se denominan palabra PCM.

En la línea de transmisión los pulsos de la palabra PCM se distorsionan gradualmente. Sin embargo mientras se pueda distinguir entre presencia o ausencia de señal es posible regenerarla y por lo tanto no hemos tenido ninguna pérdida de información. Si el tren de pulsos es regenerado la información puede transmitirse a largas distancias con prácticamente nada de distorsión. Esta es una de las principales ventajas la cual fue mencionada anteriormente.

En el lado de la recepción la palabra PCM se decodifica. La señal analógica es reconstruida mediante interpolación de las muestras cuantificadas. Hay una diferencia entre la señal original y la reconstruida debido al redondeo de las muestras. Esta diferencia se conoce como **distorsión de cuantificación**.

## 2.2. DIGITALIZACIÓN DE SEÑALES DE TELEVISIÓN

La digitalización de las señales de los equipos audiovisuales se caracteriza por tener como origen y destino magnitudes analógicas. La magnitud analógica de entrada puede corresponder a la información de la imagen o del sonido, ambas de naturaleza obviamente analógica, ya que su contenido esta situado en las variaciones de amplitud de una tensión en el tiempo.

En la televisión digital, en lugar de transmitir continuamente una señal eléctrica variable para representar la imagen, se convierte cada uno de los puntos o elementos de la imagen, denominados píxeles, en un mensaje codificado que dice: Yo soy el elemento "n", de la posición horizontal "x" y la posición vertical "y", en un tiempo "t", mi luminosidad es "l" y mi color es "c".



Para la conversión A/D de señales de video, a diferencia de las señales analógicas están deben ser correctamente acondicionadas, lo cual significa que se debe asegurar el correcto rango de voltaje y amplitud de las señales, esto es para que los rangos puedan ser aceptados por los circuitos ADC's, por lo que se van a involucrar el uso de amplificadores que garanticen un número finito de valores de cuantificación.

Una vez controladas las amplitudes las señales deben ser filtradas utilizando filtros pasabajas, uno de 5.75 MHz para limitar el ancho de banda de luminancia y dos filtros más de 2.75 MHz para limitar el ancho de banda de las componentes de color o crominancia.

Los ADC's toman muestras de las señales analógicas tomando para Y una frecuencia de reloj de 13.5 MHz (por que garantiza los tres sistemas) y para cada diferencia de color se toma la mitad de la señal Y de 6.75 MHz, dando un total de rango de muestreo de 27 MHz. Hay que tomar en cuenta que estos valores son para la familia 4:2:2 la cual se explica en el siguiente subtema.

Existen dos formas de implementar la digitalización de la señal de video: digitalizar la señal de color compuesta (formato compuesto), o digitalizar individualmente cada componente (formato por componentes).

- **FORMATO COMPUESTO.**

Consiste en digitalizar la señal compuesta como se observa en la fig.2.2. Su principal ventaja es la utilización de un solo digitalizador, pero tiene como inconveniente que aunque se elija una frecuencia de muestreo universal seguirá la incompatibilidad entre sistemas. Este formato es el utilizado en señales del sistema NTSC digital en la DGTVE.

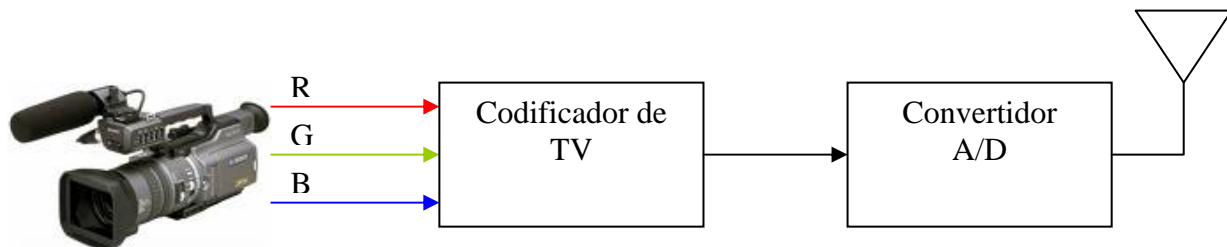


Fig. 2.2 Diagrama de conversión A/D en formato compuesto.

- **FORMATO EN COMPONENTES.**

Se digitalizan cada una de las señales por separado la luminancia (Y), y las dos de crominancia (Cr ó R-Y ó V) y (Cb ó B-Y ó U) como se observa en la fig.2.3. La ventaja de este formato es que se digitaliza en base a los tres sistemas de codificación de la señal de TV compuesta, lo cual nos permite una estandarización entre los sistemas existentes para crear una norma universal que pueda definir los parámetros como la frecuencia de muestreo y el número de bits por muestra.

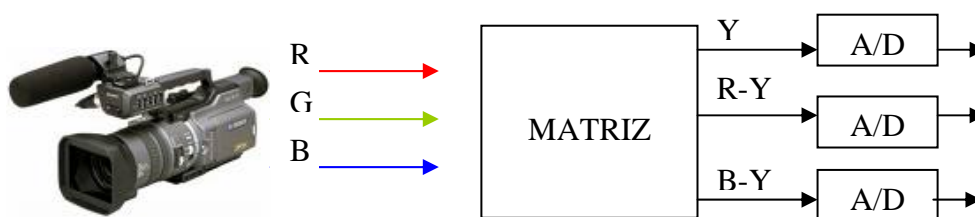


Fig. 2.3 Diagrama de conversión A/D con formato en componentes.

### 2.2.1. CONVERSIÓN A/D DE LA SEÑAL DE VIDEO (ITU-R 601)

La ITU (*International Telecommunications Union* o Unión Internacional de Telecomunicaciones) por medio del CCIR (Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones), ahora conocido como ITU-R creó la recomendación 601 que es una norma mundial emitida en 1982 que ha sufrido cinco diferentes revisiones. En realidad la recomendación ITU-R 601 es una familia de normas compatibles de codificación digital. Así se tienen las normas 4:2:2, 4:4:4, 2:1:1 y 8:4:4, las cuales se explicarán en conjunto a continuación.

En todos los casos se trata de un formato de digitalización por componentes, es decir, las señales digitalizadas serán Y, R-Y y B-Y.

Del mismo modo en el que convertimos una señal eléctrica cualquiera, de tipo analógica a digital, lo es para una señal de televisión. Veamos su diagrama a bloques en la fig.2.4 y analicemos detalladamente su funcionamiento de cada bloque cuando se digitalizan señales de video con normas ya definidas.

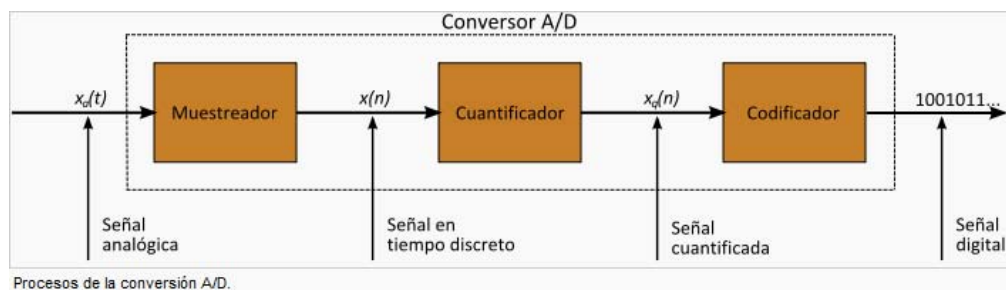


Fig. 2.4 Diagrama a bloques del proceso de digitalización.

#### • MUESTREO

Es el proceso por medio del cual se transforma una señal de tiempo continuo a tiempo discreto mediante un conmutador electrónico de alta velocidad, controlado por una frecuencia de reloj denominada de muestreo. Muestrear es tomar valores por unos instantes de tiempo de la señal analógica los cuales deben de ser iguales y ortogonales. Para esto el primer paso es determinar la frecuencia de muestreo, la cual deberá cumplir las siguientes condiciones:

- a) El criterio de Nyquist

Generalmente se emplea una frecuencia de muestreo la cual debe de ser cuando menos el doble de la frecuencia más alta análoga.

$$F_s \geq 2f_0 \quad \text{Ec. 1}$$

donde:

$F_s$  = frecuencia de muestreo

$f_0$  = frecuencia de la señal analógica

Este razonamiento fue deducido por Nyquist-Shannon, al establecer que para conseguir un muestreo y recuperación en el receptor sin distorsión, se requiere que la frecuencia de muestreo  $F_s$  sea al menos dos veces más elevada que la frecuencia máxima presente en la señal análoga muestreada. La recuperación de la banda base se realizaría con un filtro pasa bajo que corte todas las frecuencias superiores a  $F_s / 2$ . De no cumplirse el teorema del muestreo de Nyquist, el filtro dejaría pasar frecuencias pertenecientes a la banda lateral inferior contaminantes de la banda base, que producirían solapamientos con las frecuencias más altas de la misma. Este efecto se denomina "aliasing".

Al muestrear una señal, cada frecuencia de video aparecerá en las bandas laterales superiores e inferiores de cada armónico de la frecuencia de muestreo, incluyendo naturalmente la banda base, esto es, el armónico cero, ver fig.2.5.

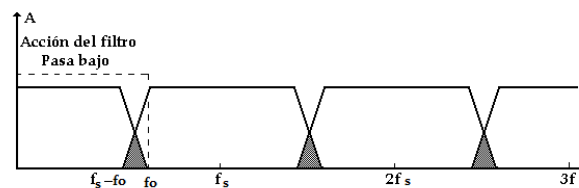


Fig. 2.5

### Sobremuestreo

Para eliminar el aliasing, los sistemas de digitalización incluyen filtros paso bajo, que eliminan todas las frecuencias que sobrepasan la frecuencia crítica (la que corresponde a la mitad de la frecuencia de muestreo elegida) en la señal de entrada. Es decir, todas las frecuencias que queden por encima de la frecuencia de muestreo seleccionada son eliminadas. El filtro paso bajo para este uso concreto recibe el nombre de filtro antialiasing. Sin embargo, abusar de los filtros antialiasing, puede producir el mismo efecto que se quiere evitar. Cuando se conectan varios filtros en cadena (en el muestreo, en la conversión D/A, etc.), un filtrado excesivo de una onda que ya cumplía con el requisito para su correcta transformación A/D puede degenerar y provocar que la onda final presente una pendiente marcada. Por esta desventaja del filtro antialiasing se ha generalizado la técnica conocida como sobremuestreo de la señal.

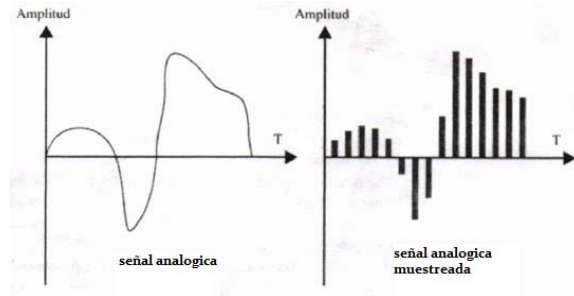
Para evitar las caídas abruptas se utiliza la técnica conocida como sobremuestreo (oversampling), que permite reconstruir, tras la conversión D/A, una señal de pendiente suave.

Un sobremuestreo consiste en aplicar un filtro digital que actúa sobre el tiempo (dominio de frecuencia), cambiando de lugar las muestras, de forma que al superponerlas, se creen muestreos simultáneos virtuales. Estos muestreos simultáneos no son reales, son simulaciones generadas por el propio filtro.

Las muestras obtenidas se superponen con los datos originales y los conversores A/D los promedian, obteniendo una única muestra ponderada (por ejemplo, si se hacen tres muestreos, finalmente, la muestra tomada no es ninguna de las tres, sino su valor medio).

Para evitar el aliasing, también se introduce a la entrada un filtro paso bajo digital, que elimine aquellas frecuencias por encima de la mitad de la frecuencia de muestreo. No obstante, a la salida, la frecuencia de muestreo utilizada para reproducir la señal ya no es la misma que se utilizó para tomar las muestras a la entrada, sino que es tantas veces mayor como números de muestreo se hayan hecho.

En la señal de video la frecuencia de muestreo elegida debe ser universal, es decir, que sea útil para los diferentes sistemas existentes, por este motivo esta deberá ser, como mínimo,  $f_0=12\text{MHz}$  ya que la frecuencia máxima de la señal es de 6 MHz.



**Fig. 2.6** Señal analógica a señal PAM (Pulse Amplitud Modulation).

b) Muestreo ortogonal

Esto quiere decir que tiene que haber el mismo número de muestras por cada línea con la finalidad de favorecer la operatividad en las memorias de almacenamiento, y por lo tanto la frecuencia de muestreo debe cumplir la siguiente condición:

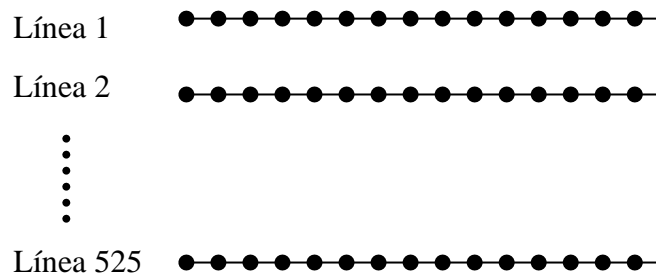
$$F_s = n F_h \quad \text{Ec. 2}$$

donde:

$F_s$  = frecuencia de muestreo

$F_h$  = muestras por línea de la señal analógica

$n$  = numero de líneas



**Fig. 2.7** Vemos que hay un mismo número de muestras, representadas por los puntos, por cada línea.

Teniendo en cuenta las dos condiciones anteriores se debe elegir un número que sea múltiplo entero de las muestras por línea ( $F_h$ ) existentes para conseguir a partir de esto una frecuencia de muestreo universal, es decir que pueda servir tanto para el sistema de 525 líneas y el sistema de 625 líneas.

Por lo anterior se deduce que las  $F_h$  de los sistemas existentes son:

- Sistema de 525 líneas:  $59.94 \times 525/2 = 15,734.25 \text{ Hz}$  **Ec. 3**
- Sistema de 625 líneas:  $50 \times 625/2 = 15,625 \text{ Hz}$  **Ec. 4**

Haciendo mínimo común múltiplo de ambas frecuencias para su compatibilidad:

$$\text{m.c.m. } (15,734.25 ; 15,625) = 2.25 \text{ MHz.} \quad \text{Ec. 5}$$

Y por último teniendo en cuenta el inciso (a) del Teorema de Nyquist tenemos que nuestra frecuencia de muestreo es:

$$F_s = 6 \times 2.25 \text{ MHz} = 13.5 \text{ MHz} \quad \text{Ec. 6}$$

Quedando así fijado el número de muestras por líneas para ambos sistemas.

- Sistema de 525 líneas:  $F_s = 858 F_h$  **Ec. 7**
- Sistema de 625 líneas:  $F_s = 864 F_h$  **Ec. 8**

Ahora bien, el sistema de televisión digital en México y usado en la Dirección General de Televisión Educativa (DGTVE), para el procesamiento y la transmisión de video digital utiliza la familia 4:2:2 de la norma ITU-R 601, la cual nos indicará que la señal de luminancia se muestrea al doble de frecuencia que los dos componentes de color.

Entonces para la norma 4:2:2 que es la familia básica las frecuencias de muestreo seleccionadas son:

- Luminancia (Y) :  $F_s = 13.5 \text{ MHz}$  **Ec. 9**
- Señales de crominancia (R-Y , B-Y) :  $F_s = 6.75 \text{ MHz}$  **Ec. 10**

Como se puede ver todas las familias indican la relación entre las frecuencias de muestreo de la luminancia (primer factor) y las de crominancia (segundo y tercer factor) como vemos en la tabla 2.1.

Familia	Frecuencia de muestreo		
	Y	R - Y	B - Y
4:2:2	13.5	6.75	6.75
2:1:1	6.75	3.375	3.375
4:4:4	13.5	13.5	13.5
8:4:4	27	13.5	13.5

**Tabla 2.1**

Aplicando las frecuencias de muestreo con la norma 4:2:2 a los diferentes sistemas se obtienen las muestras por línea las cuales son:

- Sistema de 525 líneas:

Y: 858 muestras/línea

R-Y: 429 muestras/línea

B-Y: 429 muestras/línea

- Sistema de 625 líneas:

Y: 864 muestras/línea

R-Y: 432 muestras/línea

B-Y: 432 muestras/línea

Pero como se había dicho anteriormente, para compatibilidad entre los sistemas se fija el número de muestras activas por línea para los dos sistemas como se ve en la tabla 2.2.

Luminancia (Y) = 720 muestras/ línea

Crominancia (R-Y, B-Y) = 360 muestras/línea

Familia	Muestras activas/línea		
	Y	R - Y	B - Y
4:2:2	720	360	360
2:1:1	360	180	180
4:4:4	720	720	720
8:4:4	1, 440	720	720

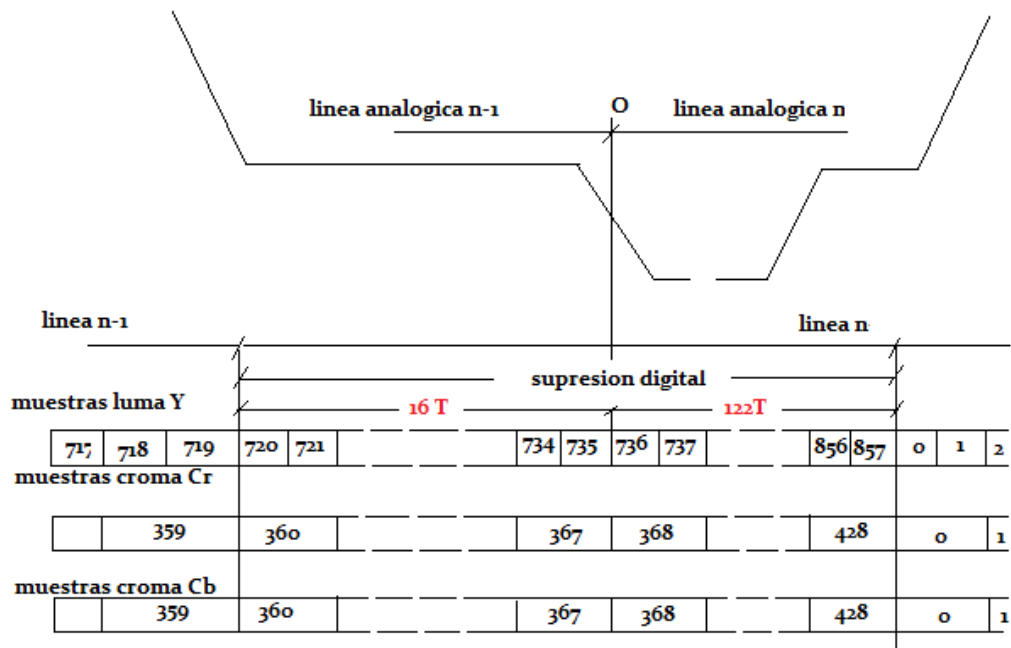
**Tabla 2.2**

En la distribución de las muestras para los dos sistemas el inicio del tiempo en donde empieza el muestreo se sitúa en el punto "O", como se ve en la fig.2.8, donde el pulso de sincronía horizontal esta a la mitad. Antes y después de este punto se dejan pasar un número determinado de muestras que es diferente para cada sistema. Por ejemplo para el caso del sistema de 525 líneas después del punto "O" se dejan de tomar 122 periodos de muestreo, o sea 122 muestras de luminancia y 61 muestras de crominancia (de la 736 a la 857); y al final de cada línea (antes del punto "O"), se dejaron de tomar 16 periodos de muestreo (de la 720 a la 735).

De igual forma para el sistema de 625 líneas se dejaron de tomar 132 periodos después del punto "O" y 12 periodos al final de la línea. Teniendo así que después de los periodos de muestreo suprimidos para cada sistema se toman las muestras activas para ambos que son de 720 para la luminancia y 360 para la crominancia.

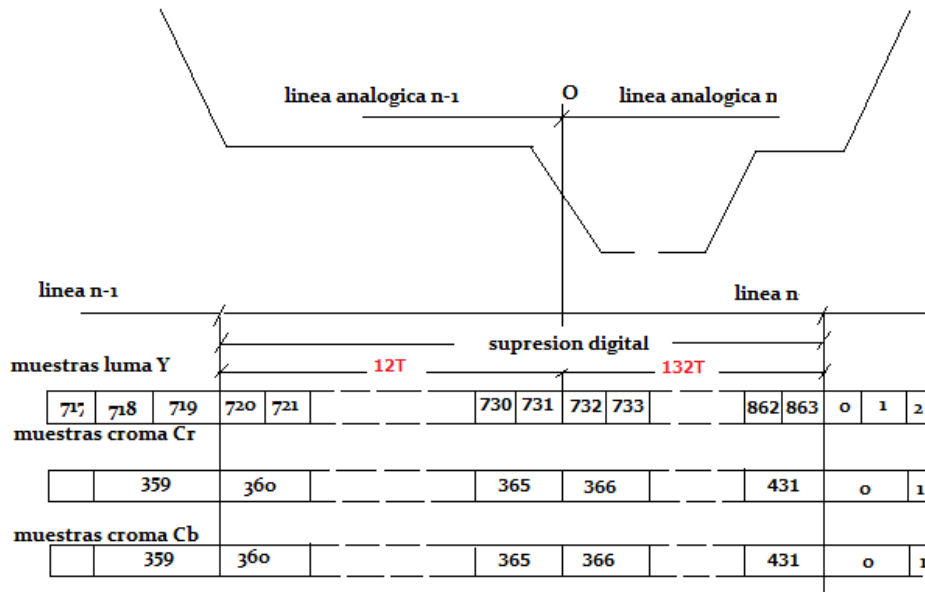
En la fig. 2.8 se presenta la distribución de las muestras para ambos sistemas.

**SISTEMA 525 LINEAS 30 Hz**



T: periodo de muestreo de luma

**SISTEMA 625 25Hz**



T: periodo de muestreo de luma

**Fig. 2.8** Distribución de las muestras para los dos sistemas.

## • CUANTIFICACIÓN

En el punto anterior se menciona que el muestreo es la modulación en amplitud de la señal de banda base del video con otra señal (tren de impulsos). De esta manera, al resultado de la serie de impulsos cortos cuyas amplitudes siguen a la señal analógica de video (tren de impulsos modulados en amplitud por la señal analógica) se le denomina señal PAM (*Pulse Amplitude Modulation* o Modulación por Amplitud de Pulsos).

El siguiente paso es la cuantificación, que es el proceso mediante el cual se atribuye a cada muestra un valor de amplitud dentro de un margen de niveles previamente fijado. Este valor se representa por un número que será convertido a un código de ceros y unos en el proceso de codificación. Por razones de facilidad en los cálculos, el número de niveles se hace coincidir con una potencia de dos y los impulsos de la señal PAM se redondean al valor superior o inferior según sobrepasen o no la mitad del ancho del nivel en que se encuentran. El error que se produjo con estas aproximaciones equivale a sumar una señal errónea a los valores exactos de las muestras, como se ve en la fig. 2.9.

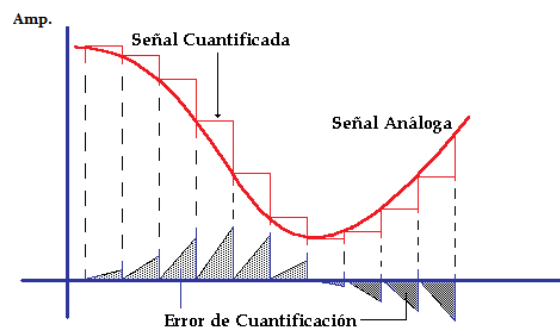


Fig. 2.9

Al error de falta de niveles se le llama **error de cuantificación**. Este será menor cuando más niveles haya de voltaje. El error de cuantificación provoca la señal errática y cuando se reconvierte la señal de digital a analógica se transforma en ruido de imagen.

La relación señal a ruido (S/N) puede obtenerse con la siguiente ecuación:

$$\frac{S}{N} = (6n + 10.8) \text{ dB} \quad \text{Ec. 11}$$

donde n es el número de bits con el que se va a cuantificar.

Tomando en cuenta que para una señal de televisión, la relación S/N aceptable es de 45dB, y cuantificando con 8 bits se tendrá según la fórmula anterior una relación S/N = 58.8 dB, por lo que será más que suficiente para una buena visualización.

Quedando claro lo anterior, entonces será necesario una cuantificación uniforme binaria de 8 bits, o sea,  $2^8$  niveles (=256), para niveles iguales de cuantificación, se obtiene un rango de números binarios que va del 0000 0000 al 1111 1111, equivalentemente del 0 al 255 en notación decimal.



En el caso de sistemas 4:2:2 (usado comúnmente) el nivel 0 y el 255 están reservados para datos de sincronismo, mientras que los niveles 1 al 254 son usados para video.

Ahora bien, para poder cuantificar cada muestra de nuestra señal PAM es necesario tener muy en cuenta cual es el **margen dinámico** de nuestra señal. Para esto se hacen las siguientes deducciones:

- La señal de luminancia Y toma valores entre 0 y 1 Volt
- Las dos señales de crominancia C (R-Y y B-Y) toma valores de voltaje de entre +0.5V y -0.5V.
- Las señales R, G y B también están normalizadas entre 0 y 1

Por lo que R-Y toma valores entre  $\pm 0.701$  y B-Y alcanzara valores comprendidos entre  $\pm 0.886$ , entonces se necesitan coeficientes ponderados ( $K_1$ ,  $K_2$ ) para reducir los valores a  $\pm 0.5$  volts.

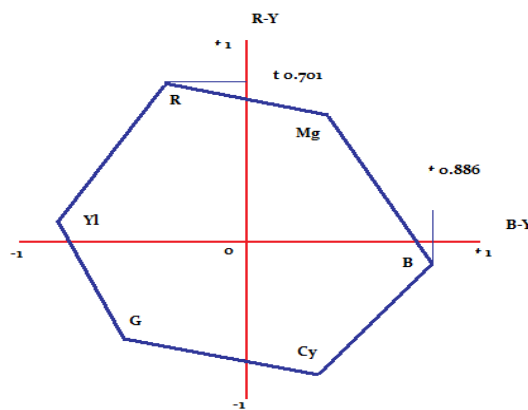


Fig. 2.10

Quedando:

$$K_1 = 0.5 / 0.701 = 0.713$$

$$K_2 = 0.5 / 0.886 = 0.564$$

*Ec. 12*

Entonces las señales a digitalizar serán:

$$Y$$

$$0.713 (R-Y)$$

$$0.564 (B-Y)$$

*Ec. 13*

Dado que la señal de luminancia ocupa únicamente 220 niveles de cuantificación, para proveer de márgenes de trabajo, y que el nivel negro es el nivel 16, el valor decimal de la señal de luminancia,  $Y_s$ , previo a la cuantificación es:

$$Y_s = 219 - Y + 16 \qquad \qquad \qquad \text{Ec. 14}$$

El nivel correspondiente al valor después de la cuantificación, es un valor entero cercano a  $Y_s$ .

nivel nominal	nivel de cuantificacion
nivel negro	16
⋮	⋮
nivel blanco	235

Tabla 2.3

De forma similar, dado que la señal diferencia de color ocupa 255 niveles y que el nivel 0 se convierte en el nivel 128, el valor decimal de la señal diferencia de color, R-Y y B-Y (Cr y Cb), previas a la cuantificación son:

$$\begin{aligned} Cr_s &= 224 [0.713 (R-Y) ] + 128 \\ Cb_s &= 224 [0.564 (B-Y) ] + 128 \end{aligned}$$

Ec. 15

y simplificándolas son:

$$\begin{aligned} Cr_s &= 160 (R-Y) + 128 \\ Cb_s &= 126 (B-Y) + 128 \end{aligned}$$

Ec. 16

nivel nominal	nivel de cuantificacion
-0.5	16
0	128
0.5	239

Tabla 2.4

El nivel correspondiente al valor después de la cuantificación, es un valor entero cercano a  $Cr_s$  y  $Cb_s$ . Los equivalentes digitales se denominan Y, Cr y Cb.

Debido a la necesidad de crear márgenes de seguridad para las señales Y, Cr, Cb, y que estas tienen un rango de valores de 220, 225, 225 respectivamente, se concluye que el número de colores representados en el espacio de color Y, Cr y Cb es menor que el de R, G y B.

## • CODIFICACIÓN

La codificación final de la señal de salida de un equipo depende de su aplicación. Puede usarse por ejemplo un código binario puro o un código de complemento a dos para aplicaciones locales. Pero cuando se trata de aplicaciones específicas como es el caso de una señal de televisión con normas establecidas, la codificación se convierte en toda una ciencia.

De igual manera, como en un principio, se originan dos diferentes planteamientos de codificar la señal de video:

- La codificación de señales compuestas.
- La codificación de componentes.

Pero como estamos empleando normas de digitalización, emplearemos la codificación en componentes cuyo esquema se muestra en la fig. 2.11.

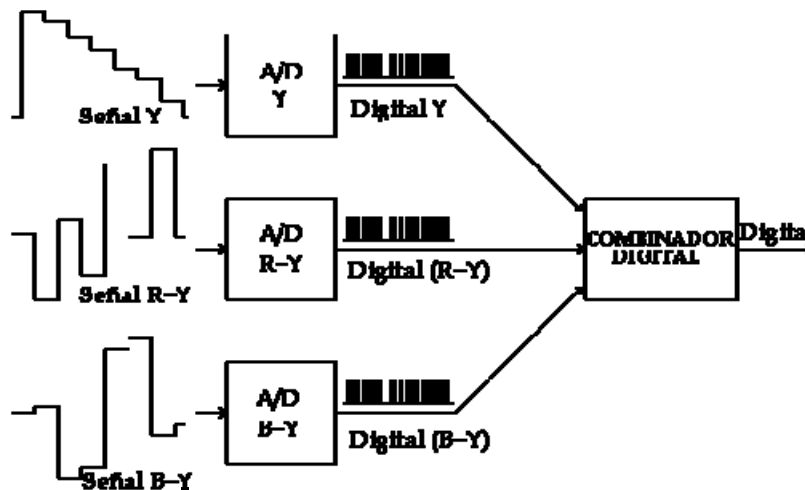


Fig. 2.11

Por este método se digitalizan las tres señales Y,  $K_1$  (R-Y) y  $K_2$  (B-Y) donde  $K_1$  y  $K_2$  son factores de ponderación que impone el sistema digital. Estos factores no tienen los mismos valores que los coeficientes ponderados de NTSC, PAL o SECAM. La primera y gran ventaja que se deriva de esta codificación es que siendo estas tres señales comunes a todos los sistemas, la compatibilidad puede alcanzarse por regulación internacional de los parámetros de muestreo, cuantificación y codificación. En tal sentido la ITU-R emitió en 1982 la norma 4:2:2 ITU-R 601 de televisión digital en componentes. La segunda ventaja de esta codificación es que una vez alcanzada la digitalización plena de la producción, sólo se requiere un paso final de conversión D/A y una codificación NTSC, PAL o SECAM según el sistema adoptado de transmisión.

• PARÁMETROS DE LA NORMA 4:2:2

Parámetros	Sistemas	
	NTSC	PAL/SECAM
	525 líneas 60 campos	625 líneas 50 campos
<b>1. Señales codificadas</b>	Y, Cr, Cb	
<b>2. Número de muestras por línea completa:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Luminancia</li> <li>▪ Crominancia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 858</li> <li>▪ 429</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 864</li> <li>▪ 432</li> </ul>
<b>3. Estructura de muestreo</b>	Ortogonal, estructura idéntica de todos los campos y cuadros. Las señales Cr y Cb se muestrean simultáneamente con las muestras impares de la luminancia (1, 3, 5, etc.)	
<b>4. Frecuencia de muestreo</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Luminancia</li> <li>▪ Crominancia</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 13.5 MHz</li> <li>▪ 6.75 MHz</li> </ul>
<b>5. Codificación</b>	Cuantificación lineal. Codificación con 8 bits por muestra para la luminancia y cada señal de crominancia.	
<b>6. Número de muestras activas por líneas digitales:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Luminancia</li> <li>▪ Crominancia</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 720</li> <li>▪ 360</li> </ul>
<b>7. Correspondencia entre los niveles de video y de cuantificación:</b>	220 niveles de cuantificación. El nivel negro corresponde al número digital 16; el nivel nominal de blanco al número 235.	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Luminancia</li> <li>▪ Crominancia</li> </ul>	224 niveles de cuantificación en la parte central del margen de cuantificación. El nivel de video cero corresponde al número 128.	

Tabla 2.5

## 2.2.2. CONVERSIÓN A/D DE LA SEÑAL DE AUDIO

En un sistema analógico la información sonora está contenida en las infinitas variaciones de algún parámetro continuo, tal como la tensión o la intensidad de flujo magnético. Un determinado parámetro puede ser una exacta representación del original solamente si el proceso de conversión es lineal, por lo que la señal de audio analógica inevitablemente sufre degradaciones, dependiendo del número de etapas o procesos por los que dicha señal atraviesa.

En un sistema de audio digital, la señal es discreta en función del tiempo (corresponde a muestras de la señal original en un intervalo de tiempo) y en función de la amplitud (los valores numéricos de la señal digitalizada se encuentran en pasos discretos). En un sistema de audio digital, la información se encuentra en forma binaria. Las señales enviadas tienen solamente dos estados y cambian en determinados momentos de acuerdo con una señal de reloj estable. Si la señal binaria resulta afectada por el ruido, éste será rechazado en el receptor, ya que solamente se considera si la señal está por encima o por debajo de un determinado umbral. El ruido superpuesto puede desplazar el punto en el que el receptor detecta que ha habido un cambio de estado; la inestabilidad en el tiempo tiene el mismo efecto. Esta inestabilidad es rechazada también, ya que en el receptor la señal es redispuesta por un reloj estable, con lo que todos los cambios en el sistema tienen lugar en coincidencia con los flancos de ese reloj.

Por otra parte, en sistemas numéricos es factible incorporar un sistema de corrección de errores, por lo que si llegasen a producirse en la grabación digital distorsiones o interferencias (por ej. pueden desaparecer algunos cambios de flujo o aparecer otros que no existan; el resultado es que algunos de los números serán incorrectos), estos podrían ser corregidos.

Existen varias maneras de convertir una señal de audio al dominio digital siendo la más común la conversión por PCM (*Pulse Codification Modulation* o Modulación de Impulsos Codificados). De igual manera como se hizo con la señal de video se analizará el procedimiento de conversión A/D del audio el cual sigue la misma trayectoria en cuanto al diagrama de bloques.

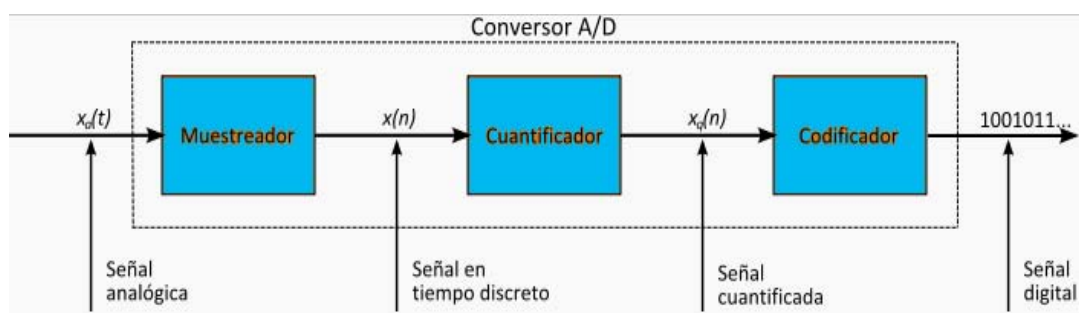


Fig. 2.12

- MUESTREO

Para obtener una señal que está destinada a ser grabada sobre CD de audio, la velocidad de muestreo es de 44.1 KHz, utilizando una cuantificación equivalente a 16 bits por muestra, aunque esta resolución para la cuantización no es aceptada como buena por todos los audiófilos.

De la misma forma que en el video se deduce que:

$$F_s \geq 2f_0 \quad \text{Ec. 17}$$

donde:

$F_s$  = frecuencia de muestreo

$f_0$  = frecuencia de la señal analógica

entonces:

$f_0 = 15$  KHz por canal

$F_s = 2 (15) = 30$  KHz.

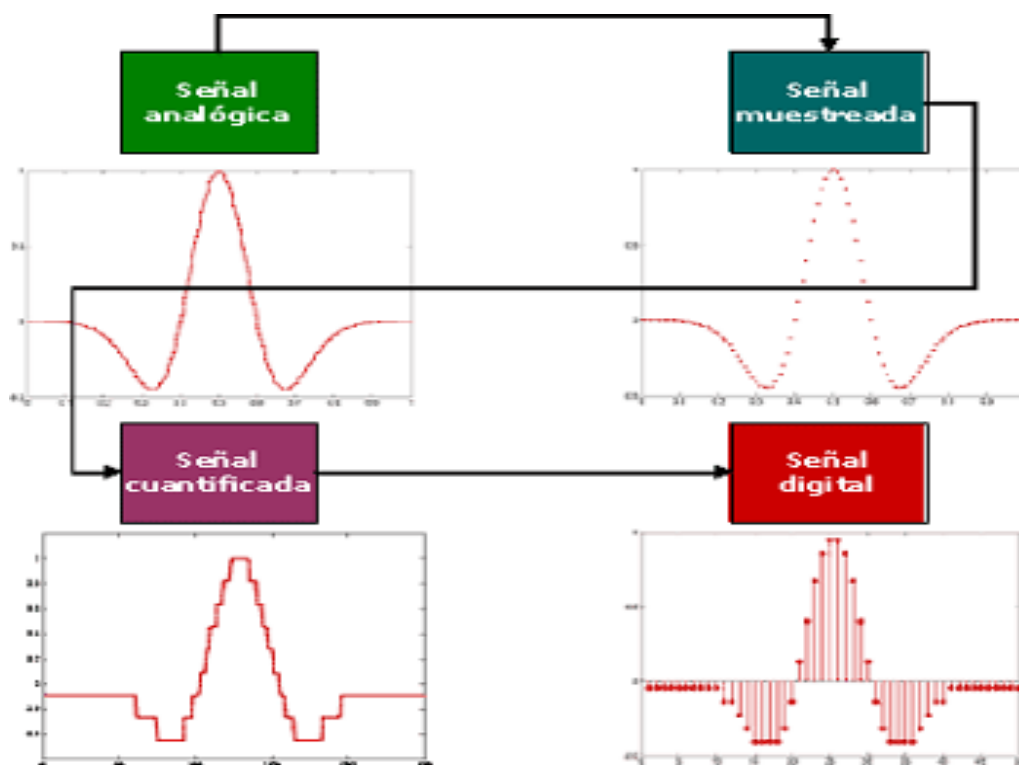


Fig. 2.13. Procesos de la señal de audio

El proceso de muestreo está gobernado por el teorema de Shannon. Dada una señal “s” con energía finita y de banda (frecuencial) limitada, es posible recuperar la señal a partir de una colección numerable de muestras “s”. Por ejemplo, el ancho de banda de una señal que procede de un disco de 78 rpm grabado con micrófono eléctrico puede exhibir un ancho de banda de 5,000 Hz. Se puede muestrear con una tasa de 11,025 Hz que es mayor o igual que  $2 \times 5,000$  Hz de manera que no existe pérdida alguna de información al pasar de la señal analógica a la señal digital.

En la práctica, si lo que se desea es digitalizar señales dentro de todo el espectro audible, es decir, de 20 Hz a 20 KHz, bastaría con utilizar una frecuencia de muestreo de 40 KHz. Sin embargo, esto no es posible debido, entre otras cosas, a que los filtros utilizados durante el proceso de reconstrucción D/A no son ideales y poseen una pendiente, de modo que si solamente se aplicase el criterio de Nyquist, existiría superposición entre los valores que toma (Y) para cada valor de n. Es por esto que, en aplicaciones de audio profesional se utiliza por lo menos la frecuencia de 44.1KHz, que es un poco mayor que el mínimo exigido para cumplir con el criterio de Nyquist.

La importancia del criterio de Nyquist se hace evidente cuando dicho criterio no se cumple, es decir, cuando existen componentes espectrales en la señal de entrada cuya frecuencia es mayor que la mitad de la frecuencia de muestreo.

### **Sobremuestreo**

En principio, sobremuestreo significa que la interface entre la señal análoga y digital se realiza con una frecuencia de muestreo más alta que la utilizada para almacenar los datos digitales. Como ejemplo, en un reproductor de discos compactos con sobremuestreo de cuatro veces, tres muestras sucesivas son interpoladas en la salida, entre lecturas sucesivas de las muestras almacenadas como datos en el disco. Mientras que el disco entrega 44,100 muestras (por canal) cada segundo, el mecanismo de interpolación entrega 176,400 muestras por segundo al convertor D/A.

La interpolación se realiza agregando tres muestras con valor cero por cada valor de entrada, y procesando el resultado a través de un filtro digital. Los coeficientes en el filtro digital ponderan cuatro muestras de entrada como un promedio para generar con esto una muestra de salida interpolada. Los filtros digitales pueden ser muy precisos, no tienen ruido y no presentan distorsión de fase. Se aplica un filtro digital pasa bajo al tren de muestreo de 44.1 KHz en la frecuencia de corte cercana a 20 KHz, tal como lo requiere el teorema de Nyquist. En la etapa siguiente, la frecuencia de muestreo del convertidor D/A es cuatro veces mayor y los requerimientos en el filtro de reconstrucción análogo solo son cortar en  $176,400 / 2$ , proceso que es más fácil de realizar para la mayoría de los filtros.

Un principio similar se aplica en la grabación. El convertidor A/D trabaja con una frecuencia de muestreo mayor que la frecuencia con que eventualmente serán almacenados los datos. De éste modo, un filtro pasa bajos análogo común puede ser usado como filtro anti aliasing.

Un dispositivo conocido como decimator, que descarta muestras antes del almacenamiento, incluye un filtro digital que se encarga de remover las componentes de entrada con frecuencias mayores que la mitad de la frecuencia con que son almacenadas las muestras y que podrían provocar aliasing en la señal almacenada.

## Elección de la Frecuencia de Muestreo

Una frecuencia de muestreo elevada puede ser adecuada para transmitir una forma de onda como la que se observa en la fig. 2.14A, pero en la fig. 2.14B se detecta que, la frecuencia de salida tiene una forma de onda y frecuencia diferente a la señal original.

Esto lleva a la idea de que, el criterio de Nyquist es solo el comienzo del proceso que debe seguirse para alcanzar un valor aceptable de la frecuencia de muestreo.

Por ejemplo, si se desea muestrear una señal senoidal de 15 KHz (frecuencia, por cierto presente en los armónicos y sobre armónicos de algunos instrumentos y que dan cierto carácter o identidad al sonido), la reconstrucción de dicha forma de onda se ve seriamente deteriorada al utilizar una frecuencia de muestreo de 44.1 KHz, tal como en los discos compactos de audio que se comercializan actualmente. El caso más extremo, pese a que éste fenómeno afecta a todas las frecuencias altas (es decir, de 12 KHz hacia arriba, aproximadamente), es el caso de la forma de onda resultante para una señal senoidal de 20 KHz, donde apenas se alcanzan a tomar dos muestras para cada ciclo. Si se utilizan frecuencias de muestreo mayores, la reconstrucción de la forma de onda en la salida resulta más natural o más fiel a la forma de onda original.

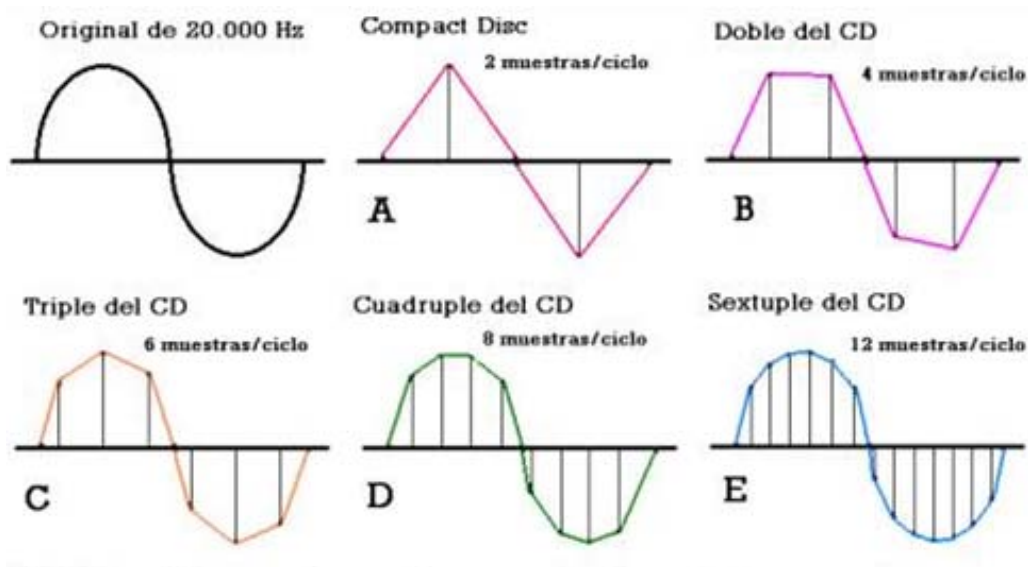


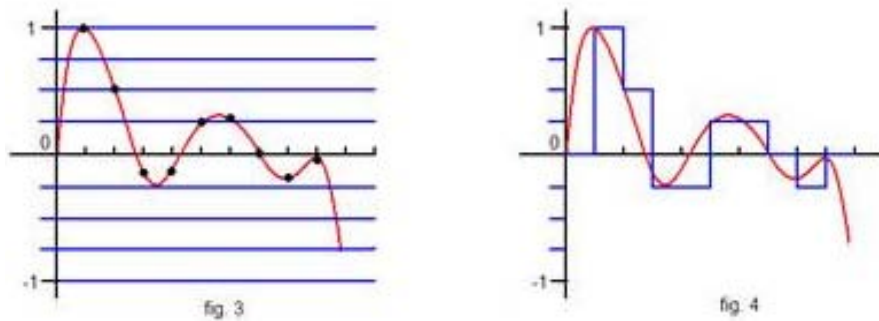
Fig.2.14 Muestreo de la señal de audio según Nyquist

Como se mencionó anteriormente, la pendiente de los filtros de reconstrucción disponibles obliga a los diseñadores a elevar la frecuencia de muestreo por encima del valor teórico de Nyquist. En equipos de consumo, cuanto más baja sea la frecuencia de muestreo mejor, ya que el costo del medio se reduce. Con productos profesionales existe la necesidad de operar a velocidad variable para realizar correcciones de tono. Cuando se reduce la velocidad de un magnetófono digital, la frecuencia de muestreo de la señal reproducida por la cinta disminuye, por lo que, con una frecuencia de muestreo mínima la primera frecuencia imagen puede ser suficientemente baja como para atravesar el filtro de reconstrucción. Este problema se soluciona elevando la frecuencia de muestreo utilizando una frecuencia de muestreo superior, sin cambiar la respuesta de los filtros.



- CUANTIFICACIÓN

La señal digitalizada es discreta en el eje vertical (amplitud) ya que los valores numéricos de la señal digitalizada se encuentran expresados en pasos discretos correspondientes a números enteros. El convertidor A/D tiene una salida digital que corresponde a un número entero al igual que un convertidor D/A tiene una entrada digital que corresponde a un número entero.



**Fig.2.15.** Cuantificación de señal de audio

El número de valores enteros distintos que una determinada muestra puede tomar está especificado por el número de bits, y está dado por la expresión  $2^n$ , donde  $n$  es el número de bits. Por ejemplo, un disco compacto de audio almacena una muestra como una palabra de 16 bits; la palabra toma uno de los  $2^{16} = 65,536$  valores posibles.

Una forma simple de describir el error de cuantización es en términos de la resolución de un sistema de conversión. Como el sistema es capaz de resolver una unidad entera, y el valor máximo que puede tomar una señal es  $2^n$ , se dice que la relación señal-error es entonces  $2^n$ , lo que usualmente se expresa como relación S/N en dB, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$L_s - L_n \text{ (dB)} = 20 \log 2^n = 20 n \log 2 = 6 n \quad \text{dB} \quad \text{Ec. 18}$$

La relación S/N de cuantización para un sistema de 16 bit es entonces  $6 \times 16 = 96$  dB. Cada bit de resolución adicional agrega 6 dB a la relación. Al igual que otras relaciones establecidas para definir el rango dinámico, esta relación se asume para cuando la señal se encuentra a su máximo valor posible. Al tratar el error de cuantización como un ruido, se asume que la señal original y el tren de impulsos no están en sincronía. En caso de estar sincronizados, el error aparece como una distorsión (fenómeno que será analizado mas adelante).

En algunos estudios sobre la cuantificación se establece otra relación entre el número de bits de una palabra y la relación S/N el cual es  $(6.02n + 1.76)$  dB. En dicha aproximación existen dos defectos. Primero, la potencia de ruido calculada tiene un espectro finito y no se ha tenido en cuenta el efecto sobre el filtro de reconstrucción. Segundo y más importante, los cálculos solo son válidos si la función de densidad de probabilidad del error de cuantificación es uniforme. A bajos niveles y particularmente con señales puras o sencillas, el error de cuantificación deja de ser aleatorio y se convierte en una función de la señal de entrada, (en caso de que la señal no deseada sea una función de la señal deseada, se debe hablar de distorsión en lugar de ruido). Al reducirse el nivel de la señal analógica, el error de cuantificación se hace cada vez menos aleatorio, apareciendo ruido de modulación. Cuando en la entrada existe más de una frecuencia, aparecen productos de intermodulación. El efecto resultante de dicho fenómeno ha sido denominado como “granulación”.

De lo anterior, se deduce que, mientras el ruido de cuantización es menos aleatorio, dicho ruido tiene relación o es función de la señal de entrada, por lo tanto corresponde a un tipo de distorsión; por otra parte, mientras más aleatorio sea el ruido de cuantización, se reduce por consiguiente la distorsión.

- CODIFICACIÓN

El objetivo fundamental de la codificación de voz es la conversión de la señal de voz a una secuencia binaria o representación digital. Dado el carácter analógico de la señal de voz, la codificación de voz conlleva un proceso básico de muestreo y cuantificación para conseguir una representación digital. Mediante el muestreo discretizamos la señal en tiempo y mediante la cuantificación discretizamos la señal en amplitud.

El proceso de codificación, propiamente dicho, toma como señal de entrada la obtenida de la conversión A/D a una velocidad de  $(F_m)(n)$  bits/segundo y utilizando ciertas propiedades de la señal de voz obtiene una nueva codificación con una velocidad de  $R$  bits/segundo inferior a la inicial.

Los codificadores de voz trabajan explotando las propiedades tanto temporales como frecuenciales de la señal de voz y del sistema auditivo humano puesto que en último término va a ser el sistema auditivo humano quien va a juzgar la calidad de la señal.

Así, la correlación de la señal es utilizada para reducir el margen dinámico de la señal y de este modo poderla cuantificar con un número menor de bits, como por ejemplo en el codificador ADPCM (*Adaptive Differential Pulse Code Modulation*) que permite reducir a 32 Kbps la velocidad de transmisión sin degradar la calidad de la señal.

Existen varias formas de codificar una señal de audio las cuales ya llevan implícita la compresión, entre las más comunes tenemos las siguientes:

- WAV (.wav)
- MPEG(MP3)(.mp3)
- RealAudio (.rm)
- MIDI (.midi)
- AU
- RMF
- AIFF

## 2.3. COMPRESIÓN DE LA SEÑAL DIGITAL

La compresión de imágenes se plantea en el momento en que se pretende codificar una imagen como una señal digital. El problema reside en la cantidad de bits que se necesitan para dicha codificación, por ejemplo, para una imagen estática con calidad de TV en formato 4:3 es:

- Secuencia de televisión a color

$$512 \text{ píxeles} \times 768 \text{ píxeles} \times 3 \text{ bytes/píxel} \approx 1.2 \text{ MB}$$

- NTSC

$$512 \text{ píxeles} \times 768 \text{ píxeles} \times 3 \text{ bytes/píxel} \times 30 \text{ imágenes/seg.} \times 8 \text{ bits/byte} \approx 283 \text{ Mbps}$$

Por lo tanto 283 Mbps es la tasa binaria a transmitir lo cual en un ancho de banda de 6 u 8 MHz es totalmente imposible, por lo que necesitamos reducir su régimen binario en un factor de 20 o 30 veces, no solo para transmitir la información, sino para su almacenamiento.

En el caso de la transmisión de imágenes el objetivo principal es reducir la tasa binaria a costa de perder cierta información (pérdida de calidad); y en el caso del almacenamiento necesitamos reducir el número de bits por imagen para poderlas guardar en un espacio menor.

### 2.3.1. CODIFICACIÓN PARA VIDEO MPEG

Existen varios tipos de codificación de video siendo el más utilizado MPEG (*Moving Picture Experts Group* o Grupo de Expertos sobre Imágenes en Movimiento) ya que consigue altas tasas de compresión para la señal de video, eliminando no solo las redundancias espaciales sino también las temporales, dicha codificación se verá en el siguiente apartado.

#### ➤ LAS PRIMERAS NORMAS

La primera norma internacional de codificación de video digital fue la Recomendación ITU-T H.120, aprobada en 1984 y perfeccionada en 1988. La Recomendación H.261, aprobada en 1990, fue la primera norma de codificación de video digital verdaderamente influyente, ya que permitió desarrollar un mercado para la videoconferencia sobre la base de normas de inter funcionamiento. Desde entonces las principales normas de codificación de video se han basado en su diseño. De hecho, la ISO/CEI utilizó el diseño H.261 para iniciar sus trabajos sobre codificación de video MPEG. El objetivo original del grupo era almacenar imágenes de video en discos compactos, y con esa finalidad en 1992 creó la norma de compresión de video MPEG-1. Ésta fue la norma de compresión de video utilizada en los VCD's (Disco Compacto para Video), la cual se difundió ampliamente en Asia pero no llegó a ser del todo asimilada en otras partes del mundo.

## ➤ LA ITU-T Y EL MPEG

Pronto se manifestó la firme voluntad de proporcionar una norma de codificación de video digital para video de calidad superior. Como resultado de ello, la ITU y el MPEG crearon un nuevo proyecto conjunto encaminado a facilitar la producción de esos resultados con calidad de radiodifusión, en cuanto a la codificación de video, que dio lugar a la norma de video digital elaborada en colaboración y aprobada conjuntamente por la ITU-T (como recomendación ITU-T. H 262) e ISO/CEI (como ISO/CEI 13818-2) conocida como MPEG 2. Esta norma se transformó en el cimiento de la codificación de video digital tal como la conocemos ahora y ha servido de base para prácticamente todos los sistemas de radiodifusión digital, ya sea por satélite, por cable o almacenamiento de video en disco que se utilizan desde el momento de su aprobación en 1994.

A medida que fue madurando el proyecto MPEG-2, el VCEG (*Video Coding Experts Group* o Grupo de Expertos en Codificación de Video) de la ITU-T y el MPEG de ISO/CEI trabajaron separadamente durante un tiempo; la ITU elaboró la primera versión de la Recomendación H.263 en 1995 y unos pocos años después ISO/CEI elaboró MPEG-4 Parte 2 Visual (ISO/CEI 14496-2). Así mismo, cada una de las organizaciones introdujo mejoras en el marco de cierto número de proyectos.

## ➤ REDUNDANCIA Y ENTROPÍA

Estudios llevados a cabo sobre nuestra capacidad sensorial para la captación de imágenes han puesto de manifiesto condiciones favorables para la compresión. Así, a la imagen reproducida en un transductor se la puede suprimir un cierto número de detalles sin que provoque en el televidente una pérdida apreciable de calidad. Del mismo modo los niveles de brillo y color pueden reducirse en número sin que se aprecie defecto o carencia de calidad por las condiciones de sensibilidad sensorial.

En la compresión de datos digitales sin pérdida apreciable de calidad subjetiva, se dan dos conceptos fundamentales, que son la entropía y la redundancia.

En un mensaje a transmitir, la entropía se define como la mínima información necesaria que hay que transmitir al receptor, para que este lo interprete en su totalidad.

En cuanto a la redundancia, esta se define como la repetición de los hechos, lo que se traduce en la aparición de detalles iguales o muy próximos, lo que permite suprimir los redundantes para no ser transmitidos y que los regenere el receptor con la información adicional que se envía.

Existen dos tipos de redundancia que son:

**Redundancia espacial.-** Es referida a las muestras de la señal de imagen cuyo valor es igual o muy próximo entre sí para poder apreciarlas, lo que permite su compresión durante el proceso de codificación. Los procedimientos para la compresión en el espacio fueron desarrollados por el JPEG (*Joint Photographic Expert Group* o Grupo de Expertos en Imagen Fija).

**Redundancia temporal.-** Es la que se produce entre imágenes (campos) sucesivas. Es una expansión del JPEG que fue desarrollada por el MPEG para el tratamiento de señales de

video de condición continua, como las de televisión. En la redundancia espacial se analiza el histograma de una imagen para hallar y suprimir los píxeles que se consideren redundantes.

### ➤ MPEG1

Fue el primero de los estándares desarrollados para la compresión de video, el cual se tomo como base para desarrollar los siguientes formatos. Consiste en la transmisión o almacenamiento de imágenes móviles con una tasa binaria fija de 1.5 Mbps. Para dicho fin se hace uso de un proceso sumamente complejo detallado a continuación.

La codificación definida por este estándar esta dada por tres procesos principales que son:

- a) **Transformación.-** Se encarga de eliminar las redundancias espaciales (compresión intracuadro).
- b) **Cuantificación.-** Se encarga de cuantificar la imagen con un número finito de bits. Aquí es donde se introduce la compensación de movimiento (compresión intercuadro).
- c) **Codificación.-** El flujo de bits de salida de la cuantificación se codifica con algún método de codificación entrópica.

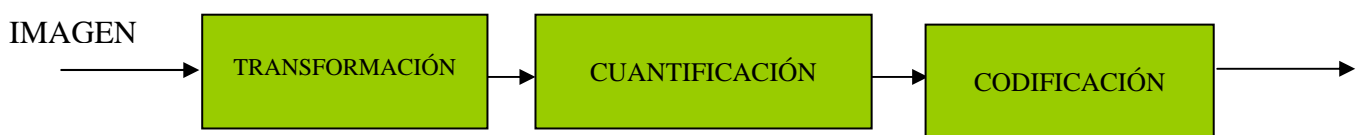


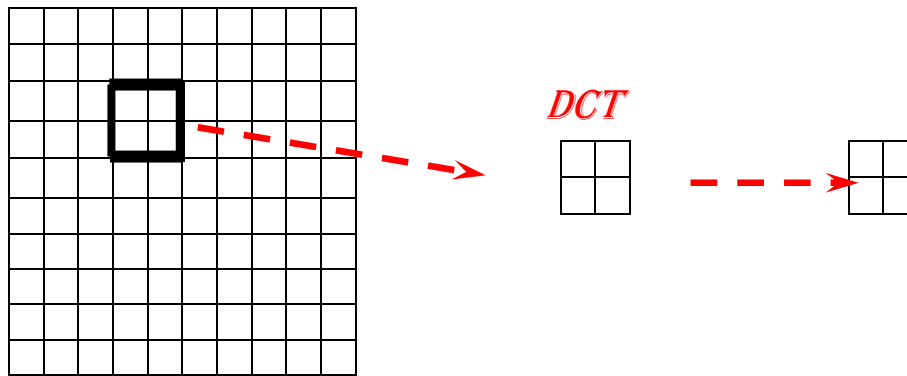
Fig. 2.16

#### a) Transformación

Como podemos observar en el diagrama a bloques en el primer proceso que sufre la imagen es una transformación. Existen varias formas de transformar una imagen de un dominio a otro; los transformadores típicos son la transformada discreta de Fourier, la transformada de Walsh-Hadamard y la DCT (*Discrete Cosine Transform* o Transformada Discreta del Coseno), siendo esta última la empleada por MPEG.

Este proceso consiste en transformar la imagen al dominio de la frecuencia, es decir, en varios coeficientes. Los coeficientes resultantes de la DCT corresponden a distintas frecuencias de la imagen la cual es una señal de condición periódica en una serie de funciones armónicas de tipo seno y coseno. Como una imagen es normalmente una señal de baja frecuencia solo los coeficientes pertenecientes a estas frecuencias serán considerados.

La DCT no se aplica a la imagen completa sino que esta se divide en bloques de 8 x 8 píxeles, como se ve en la fig. 2.17, esto se hace para disminuir la cantidad de memoria necesaria para realizar los cálculos.



**Fig. 2.17.** Realización de la DCT por bloques.

Al aplicar esta técnica se tendrá el riesgo de que existan algunas degradaciones en la imagen como son:

- **El ruido granular.** Esta se presenta en la imagen como una especie de nieve cuando se cuantifica con un número finito de bits.
- **Pérdida de resolución.** Es cuando la imagen recuperada tiene bordes difuminados, esto se produce por los coeficientes eliminados.
- **Efecto bloque.** Es cuando se ve la separación de los bloques en la imagen.

#### b) Cuantificación

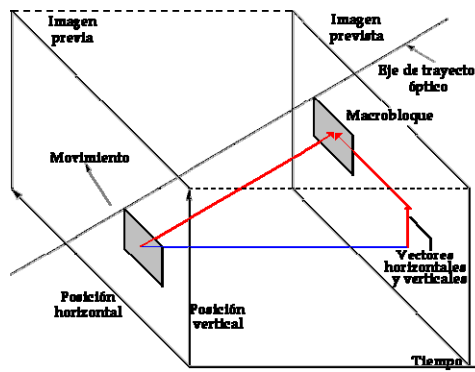
Una vez obtenidos los coeficientes en el bloque anterior se procede a cuantificarlos con un número finitos de bits. En este bloque es donde se introduce la compensación de movimiento. Este proceso consiste en eliminar la redundancia temporal entre las imágenes que componen una secuencia, como las de televisión.

Esto se basa en la comparación de dos imágenes sucesivas de las que se obtienen dos informaciones fundamentales:

- La diferencia entre ambas imágenes a comparar.
- El vector que cuantifica el movimiento producido entre ellas.

Con estas dos características podríamos decir que es más factible transmitir sólo la diferencia entre dos imágenes y estimar el movimiento que ha sufrido un píxel de algún objeto en la imagen siguiente, es decir, habrá que calcular el vector de movimiento asociado a cada píxel como se ve en la fig. 2.18.

La compensación de movimiento es un proceso mediante el cual se mide eficazmente el movimiento de los objetos de una imagen a otra. De este modo se consigue medir qué tipos de movimientos redundan entre imágenes.



**Fig. 2.18.** En la figura se muestra que la imagen en movimiento puede ser expresada en un espacio de tres dimensiones que resulta de mover a lo largo del eje del tiempo dos imágenes consecutivas.

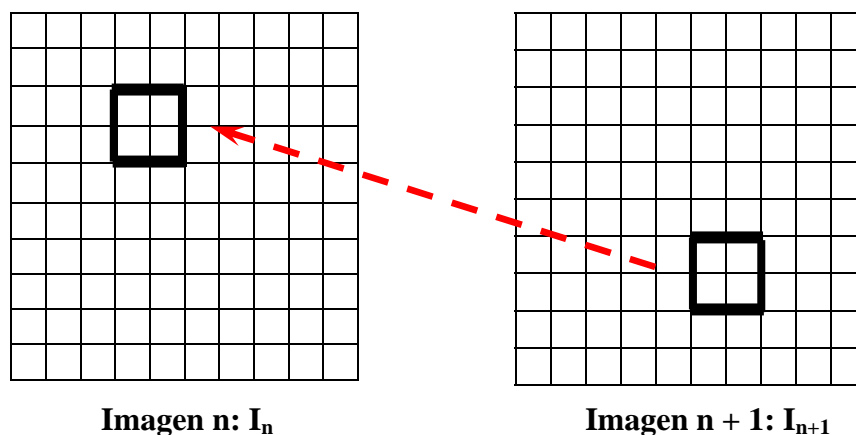
En el caso de un objeto que permanezca estático, el movimiento de este solo se ve en el eje del tiempo. Sin embargo, cuando un objeto está en movimiento, este se mueve en el eje de trayecto óptico (eje horizontal y vertical en el tiempo) que no es paralelo al eje del tiempo.

El eje de trayecto óptico une los puntos de movimiento de un objeto a medida que este se mueve a través de varias imágenes. Este trayecto puede ser nulo en valores que representen un objeto en movimiento que solo cambia con respecto al eje del tiempo, de igual manera al mirar un objeto en movimiento que cambia su apariencia, uno de estos movimientos es el de rotación.

Algunos métodos para calcular vectores de movimiento son:

- Métodos de bloques
- Método de flujo óptico
- Métodos bayesianos

El método más empleado es el método de bloques que consiste en dividir la imagen en bloque de 16 x 16 píxeles, como se ve en la fig. 2.19, al cual se le denomina macrobloque en donde por cada bloque (B) de la imagen n se busca el bloque de la imagen n+1 que más se le parezca (B'), y una vez encontrado el vector de movimiento se asume que para todos los píxeles de dicho bloque será el mismo.



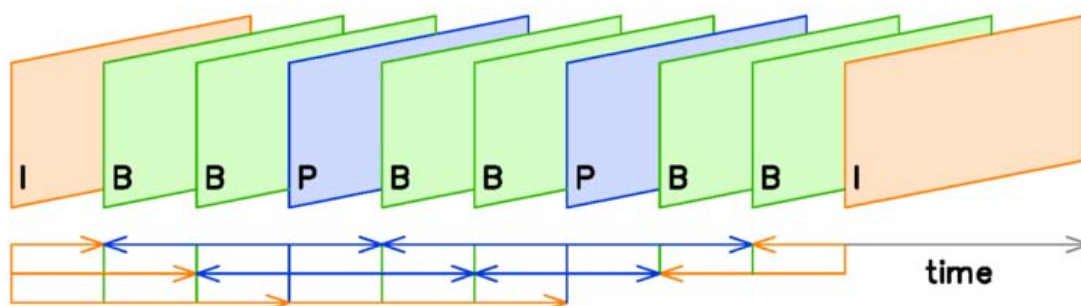
**Fig. 2.19.** Método de bloques para la obtención de vectores de movimiento.

c) Codificación entrópica.

La comparación entre imágenes “n” y “n+1” vistas en la fig. 2.19 da como resultado las denominadas imágenes predictivas P y bidireccionales B que son las que el sistema entrelaza y transmite junto con las imágenes de tipo intracadro I. Este conjunto de estas tres imágenes forman los denominados GoP (Group of Picture) con los que se estructura la información a transmitir.

- **Imágenes intracadro I.** Se generan con la referencia a la imagen en curso y contienen la entropía de la imagen, se codifica como si fuesen imágenes fijas usando JPEG, para decodificar no se necesita otra imagen más que ella misma.
- **Imágenes predictivas P.** Tienen condición predictiva y contiene la compensación de movimiento, para decodificarlas se necesita además de esta imagen la I o P anterior.
- **Imágenes bidireccionales B.** Su información corresponde a los datos complementarios par generar una nueva imagen, para decodificarlas hace falta, además de ella misma, la I ó P anterior y la I o P siguiente.

A medida que aumentamos el número de imágenes I se mejora el punto de acceso pero se empeora la compresión, normalmente se suelen transmitir dos imágenes de tipo I por segundo. La norma MPEG deja a la elección del diseñador del Códec el número y el tipo de imágenes que forma el GoP. Un ejemplo de un GoP se muestra en la fig. 2.20.



**Fig. 2.20.** Secuencia de imágenes. Los vectores inferiores indican las referencias predictivas que hay entre ellas. Se ha escogido una ordenación IBBPBBPBBBI a modo de ejemplo, ya que permite establecer lazos de predicción bastante usuales.

➤ **CODIFICADOR Y DECODIFICADOR DE MPEG-1**

Un codificador de MPEG-1 incluye módulos de estimación de movimiento, selección de modos de compresión por macrobloques, conjunto de valores para la matriz de cuantificación, predicción de compensación de movimiento, cuantificador y decuantificador, transformada discreta del coseno (DCT), transformada inversa discreta del coseno (IDCT), códigos de longitud variable (VLC), un multiplexor, una memoria intermedia y un regulador de memoria.



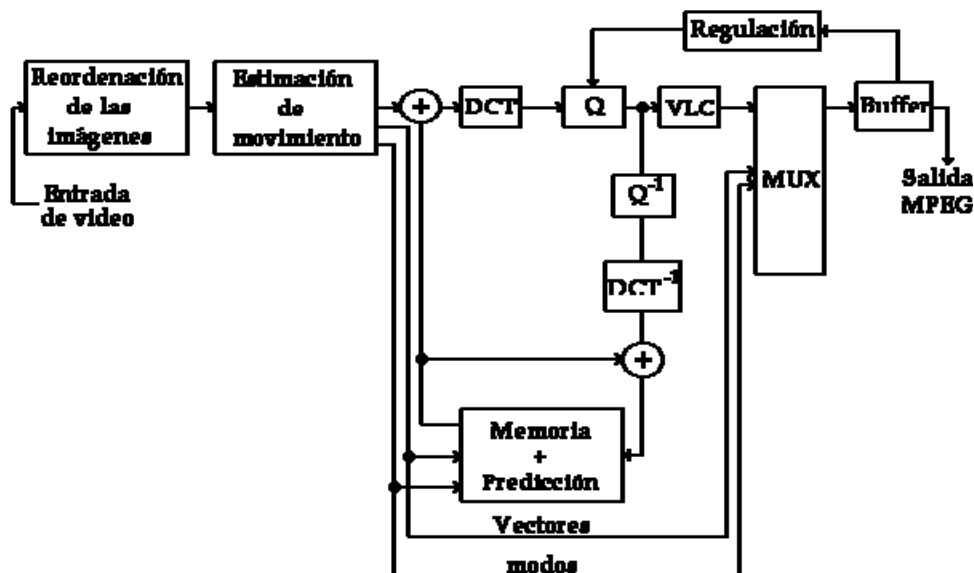


Fig.2.21. Esquema simplificado del codificador MPEG-1

La decuantificación y la transformada discreta del coseno inversa (IDCT) se necesitan en el codificador, porque la predicción de imágenes está basada en la reconstrucción de datos. El número relativo de imágenes I, P y B en la GoP depende específicamente de la aplicación a utilizar.

El estándar MPEG-1 especifica que se debe utilizar mínimo una imagen I cada 132 imágenes, para así evitar la propagación de errores en el módulo IDCT, creando de esta manera diferencias entre el codificador y el decodificador.

El uso de imágenes B es opcional, ni el algoritmo de estimación de movimiento, ni el criterio de selección del modo de compresión y ni la matriz de cuantificación son parte del estándar. En general, la estimación de movimiento es calculada usando los datos de luminancia solamente. Un solo vector de movimiento es calculado para cada macrobloque y el rango para estimar el movimiento de un objeto en un macrobloque es de medio píxel. Un vector de movimiento que se refiera a unos píxeles que se hallan fuera de la imagen actual no es tomado en cuenta.

En resumen, un codificador típico de MPEG-1 realiza los siguientes pasos:

- Define los parámetros M y N que determinan de que forma se encadenan las imágenes I, P y B en una GoP.
- Estima los vectores de movimiento para cada macrobloque en las imágenes P y B.
- Determina el modo de compresión para cada macrobloque de la imagen seleccionada (compresión espacial o temporal).
- Selecciona la matriz de cuantificación.

Un decodificador MPEG-1 revierte las operaciones del codificador, donde la secuencia de video codificada de entrada es demultiplexada en coeficientes DCT y por otro lado se obtiene la información en modos de compresión, vectores de movimiento y matriz de cuantificación.

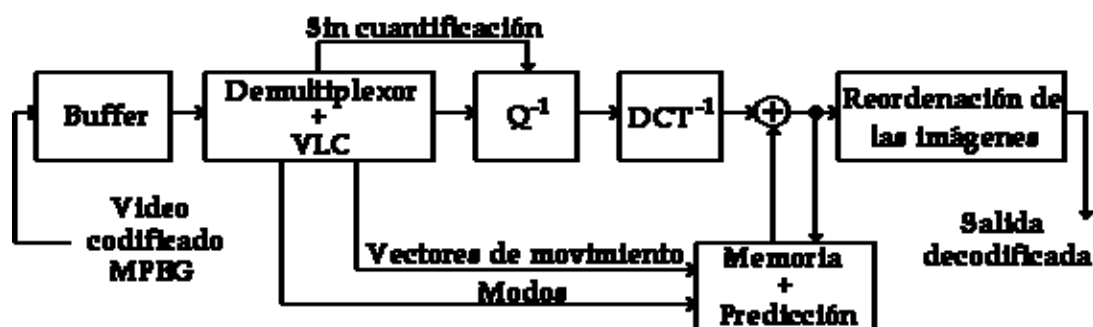


Fig. 2.22. Diagrama a bloques de un decodificador MPEG-1.

La ventaja del decodificador, es que no tiene que encargarse de realizar la estimación de movimiento y su diseño resulta más simple, cumpliéndose uno de los objetivos principales planteados durante la definición de la norma.

### ➤ CLASIFICACIONES DE MPEG

Los distintos estándares MPEG surgen como aplicaciones y mejoras del estándar base (MPEG 1). Veamos algunas de las características propias de cada estándar las cuales se les diferencian de cada una.

- **MPEG 1.** Estándar inicial de compresión de audio y video, usado después como la norma para VCD, incluye popular formato de compresión de audio Capa 3 (MP3).
  - MP1 ó MPEG-1 Parte 3 Capa 1 (MPEG-1 Audio Layer 1)
  - MP2 ó MPEG-1 Parte 3 Capa 2 (MPEG-1 Audio Layer 2)
  - MP3 ó MPEG-1 Parte 3 Capa 3 (MPEG-1 Audio Layer 3)
- **MPEG-2.** Es igual que el estándar MPEG 1 en cuanto a la forma de codificar por lo que son compatibles, solo que este permite codificar el video entrelazado ya que fue diseñado para la codificación de imágenes de televisión, en concreto, permite aplicaciones desde 5Mbps (NTSC/PAL) hasta 80 Mbps (HDTV).

Este gran número de aplicaciones permitido por MPEG 2 hace que sea necesario establecer una jerarquía que ordene las características específicas aplicadas para cada servicio.

La jerarquía establecida es la de perfiles y niveles, donde un nivel es el rango de parámetros soportados por la implementación de cada servicio y un perfil es el conjunto de algoritmos añadidos a este para obtener el perfil superior.

NIVEL	MUESTRAS / LÍNEAS ACTIVAS	VELOCIDAD
High (HL)	1920 x 1152	80 Mbps
High-1440 (H14L)	1440 x 1152	60 Mbps
Main (ML)	720 x 576	15 Mbps
Low (LL)	352 x 288	4 Mbps

Tabla 2.6

Es también utilizado para servicios de televisión por satélite como DirecTV (Cadena estadounidense de televisión vía satélite de difusión directa), señales de televisión digital por cable y, con ligeras modificaciones, para los discos de video DVD.

- Codificación de video MPEG-2 (simplificado)
- Codificación de audio MPEG-2.
- MPEG-2 en SVCD
- MPEG-2 en DVD
- MPEG-2 en DVB y ATSC
- **MPEG-3.** Diseñado originalmente para HDTV (Televisión de Alta Definición), pero abandonado posteriormente en favor de MPEG-2.
- **MPEG-4.** Expande MPEG-1 para soportar objetos audio/video, contenido 3D, codificación de baja velocidad binaria y soporte para gestión de derechos digitales (protección de copyright). Está formado por varios estándares, llamados "partes", que incluyen:
  - *Parte 1* (ISO/IEC 14496-1). Sistemas.- Describe la sincronización y la transmisión simultánea de audio y video.
  - *Parte 2* (ISO/IEC 14496-2). Visual.- Un códec de compresión para elementos visuales (video, texturas, imágenes sintéticas, etc.). Uno de los muchos *perfiles* definidos en la Parte 2 es el *Advanced Simple Profile* (ASP).
  - *Parte 3* (ISO/IEC 14496-3). Audio.- Un conjunto de códecs de compresión para la codificación de flujos de audio; incluyen variantes de *Advanced Audio Coding* (AAC) así como herramientas de codificación de audio y habla.
  - *Parte 4* (ISO/IEC 14496-4). Conformidad.- Describe procedimientos para verificar la conformidad de otras partes del estándar.
  - *Parte 5* (ISO/IEC 14496-5). Software de referencia.- Formado por elementos de software que demuestran y clarifican las otras partes del estándar.
  - *Parte 6* (ISO/IEC 14496-6). Delivery Multimedia Integration Framework (DMIF).
  - *Parte 7* (ISO/IEC 14496-7). Software optimizado de referencia.- Contiene ejemplos sobre como realizar implementaciones optimizadas (por ejemplo, en relación con la Parte 5).
  - *Parte 8* (ISO/IEC 14496-8). Transporte sobre redes IP.- Especifica un método para transportar contenido MPEG-4 sobre redes IP.
  - *Parte 9* (ISO/IEC 14496-9). Hardware de referencia.- Provee diseños de hardware que demuestran implementaciones de otras partes del estándar.

- *Parte 10* (ISO/IEC 14496-10). Advanced Video Coding (AVC).- Un códec de señales de video técnicamente idéntico al estándar ITU-T H.264.
  - *Parte 12* (ISO/IEC 14496-12). Formato para medios audiovisuales basado en ISO.- Un formato de archivos para almacenar contenido multimedia.
  - *Parte 13* (ISO/IEC 14496-13).- Extensiones para el manejo y protección de Propiedad Intelectual (IPMP).
  - *Parte 14* (ISO/IEC 14496-14). Formato de archivo MPEG-4.- El formato de archivo de contenedor designado para contenidos MPEG-4; basado en la Parte 12.
  - *Parte 15* (ISO/IEC 14496-15). Formato de archivo AVC.- Para el almacenamiento de video Parte 10, basado en la Parte 12.
  - *Parte 16* (ISO/IEC 14496-16).- *Animation Framework eXtension* (AFX).
  - *Parte 17* (ISO/IEC 14496-17).- Formato de subtítulos (en elaboración el último avance en su revisión data de enero de 2005).
  - *Parte 18* (ISO/IEC 14496-18).- Compresión y transmisión como flujo de fuentes tipográficas (para fuentes Open Type).
  - *Parte 19* (ISO/IEC 14496-19).- Flujos de texturas sintetizadas.
- **MPEG-7.** Sistema formal para la descripción de contenido multimedia

PERFIL	CARACTERÍSTICAS
Simple (SP)	Muestreo de video del modo 4:2:0. No utiliza imágenes B.
Main (MP)	Muestreo de video del modo 4:2:0. Utiliza imágenes I, P y B
Scalable (SNR)	Aporta las mismas características que el MP más la posibilidad de separar los datos en dos partes; por ejemplo, como señal base y señal de realce.  Admite la escalabilidad de la resolución espacial.
Spatially Scalable (SSP)	Perfil de jerarquía que aporta otro modo de división de la señal. Sus algoritmos superan el nivel de este tratado.
Hight (HP)	Muestreo de video a 4:2:2 ó 4:2:0, empleo de imágenes I, P y B y transmisión escalable SNR y espacial.

**Tabla 2.7**

## 2.3.2. CODIFICACIÓN MPEG PARA AUDIO

### ➤ NECESIDAD DE COMPRESIÓN

Las clases de audio que existen son la voz con calidad telefónica que es aceptable hasta para servicios de videoconferencia, la voz de banda ancha y el audio de banda ancha (alta fidelidad) que incluye audio multicanal y que necesita un ancho de banda de al menos 20 KHz por canal.

	Rango de frecuencias	Frecuencia de muestreo (KHz)	Nº de bits/muestra	Tasa binaria (Kbps)
Voz de calidad telefónica	300-3400	8	8	64
Voz de banda ancha	50-7000	16	8	128
Audio de banda ancha	10-22000	48	16	768

Tabla 2.8

Como se puede observar en la tabla anterior para el audio de banda ancha la tasa binaria ya es muy alta lo cual se debe recurrir a una compresión de la señal.

### ➤ TIPOS DE COMPRESIÓN

Existen infinidad de modos para comprimir una señal de audio, a continuación se muestran las características de algunas:

- **MP3 ó MPEG-1.** Audio Layer 3, puede ser considerado el estándar en formatos de audio digital. Fue inventado en 1987 por el Instituto Fraunhofer para Circuitos Electrónicos en Erlangen, Alemania, y diseñado para reducir archivos de audio en una relación 10:1 de compresión.
- **MP3PRO.** Es un formato de audio basado en el MP3 que duplica la señal en dos canales con la misma calidad, de este modo, un archivo en MP3PRO a 64 Kbps de calidad sería equiparable a un archivo en MP3 a 128Kbps, dividiendo el tamaño del archivo y manteniendo la calidad.
- **AAC.** Es un formato que se creó para mejorar el rendimiento (calidad/tamaño) del MP3 consiguiendo una calidad similar de un archivo MP3 a 128 Kbps en sólo 96 Kbps. Actualmente, al igual que su reciente auge dentro de los formatos soportados por reproductores portátiles y teléfonos móviles con soporte multimedia. Tiene 2 formatos: MPEG-2 Layer 4 (con extensión .AAC) y MPEG-4 Layer 4 (con extensión .AAC ó .MP4).
- **AAC+ (AAC Plus ó HE AAC).** Es la evolución lógica del AAC, que tiene la misma relación con el AAC que el MP3PRO con el MP3.
- **WMA.** Es el formato que Microsoft lanzó para combatir al MP3. Ha pasado por muy distintas versiones, como la WMA7 y WMA8 que eran equiparables al MP3 actual, hasta el WMA9 y WMA10.
- **AC3 (Dolby Digital).** Es el formato de audio para DVD por excelencia ya que permite 5.1 / 7.1 canales.

- **RealAudio (.rm).** Real Audio es la tecnología que predomina actualmente en la Web. Necesita un reproductor propietario, pero las versiones básicas del reproductor están disponibles gratuitamente.
- **MIDI (.midi).** El formato Musical Instrument Digital Interface no es un formato de audio digital. Representa notas y otra información para que pueda sintetizarse la música. El MIDI tiene un buen soporte y sus archivos son muy pequeños, pero solamente es útil para ciertas aplicaciones a causa de la calidad de su sonido cuando se reproduce en el hardware PC.

### ➤ **MODELO PSICOACÚSTICO**

Este proceso tiene que ser eficaz, esto significa que la técnica empleada para la reducción debe permitir que el terminal receptor y/o reproductor presente la información de modo que, luego de expandirla, los observadores y/u oyentes no se encuentren en capacidad de notar diferencia alguna si tuvieran la oportunidad de comparar la señal original con la así procesada. Además, el proceso tiene que ser eficiente, es decir, ha de efectuarse en tiempo real y con un costo que justifique los beneficios pretendidos. El dominio elegido para este proceso es el digital, por las innumerables ventajas que posee sobre el analógico.

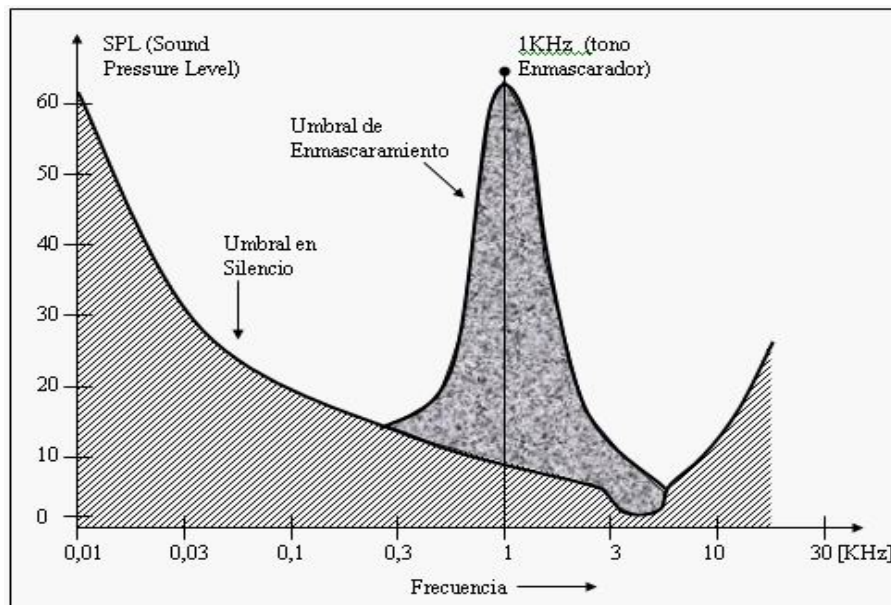
Compresión, reducción de la tasa de bits y reducción de datos son términos que significan básicamente lo mismo en este contexto. En esencia, compresión significa que la misma información se transfiere usando una menor tasa de datos. Se debe indicar que en el lenguaje tradicional del audio, "compresión" significa un proceso en el cual se reduce el rango dinámico de la señal representativa del sonido. En el lenguaje digital la misma palabra significa que la tasa de bits se reduce, idealmente dejando sin cambios la dinámica de la señal. Por lo tanto en este contexto se adoptará el último significado.

Los modelos psicoacústicos se componen a partir de las percepciones de un grupo de personas entrenadas para rendir al máximo en este campo. Por medio de una serie de experimentos se puede determinar la sensibilidad del oído humano a una serie de fenómenos, de forma que aparezcan resultados útiles para el tratamiento del sonido, como ya hemos visto.

Las tres siguientes características de la audición se acompañan del experimento que sirve para cuantificarlas.

- Sensibilidad del oído humano.
  - Enmascaramiento en frecuencia
  - Enmascaramiento temporal.
- **Enmascaramiento simultáneo (dominio frecuencial)**

El enmascaramiento simultáneo es un fenómeno que tiene lugar en el dominio de la frecuencia donde las señales de bajo nivel (por ejemplo podría ser un tono puro) puede volverse inaudible al oído humano si simultáneamente una señal más fuerte (por ejemplo un ruido de banda angosta) está lo suficientemente próximo en frecuencia.



**Fig. 2.23.** Umbral estático de audibilidad y umbrales de enmascaramiento producidos por máscaras de frecuencia perteneciente a la banda crítica

Por ejemplo, para un tono de 1 KHz, un umbral de enmascaramiento puede ser medido de manera que cualquier señal por debajo del mismo no será audible. El umbral de enmascaramiento depende del SPL (Nivel de Presión Sonora) que es el volumen de la señal y de la frecuencia de la señal enmascarada.

- **Enmascaramiento temporal**

Junto con el enmascaramiento simultáneo, otros dos fenómenos juegan un importante rol en la percepción del audio en el ser humano:

- a) Pre enmascaramiento
- b) Post enmascaramiento

Los efectos de enmascaramiento temporal tienen lugar antes y después que una señal comience y termine. Los efectos del pre enmascaramiento tienen una duración de una décima parte del post enmascaramiento y según lo determinan nuevos estudios es bastante menor que ese valor.

La duración del post enmascaramiento está en el orden de los 50 a 200 mseg. Ambos efectos son explotados en los algoritmos de codificación de ISO/MPEG.



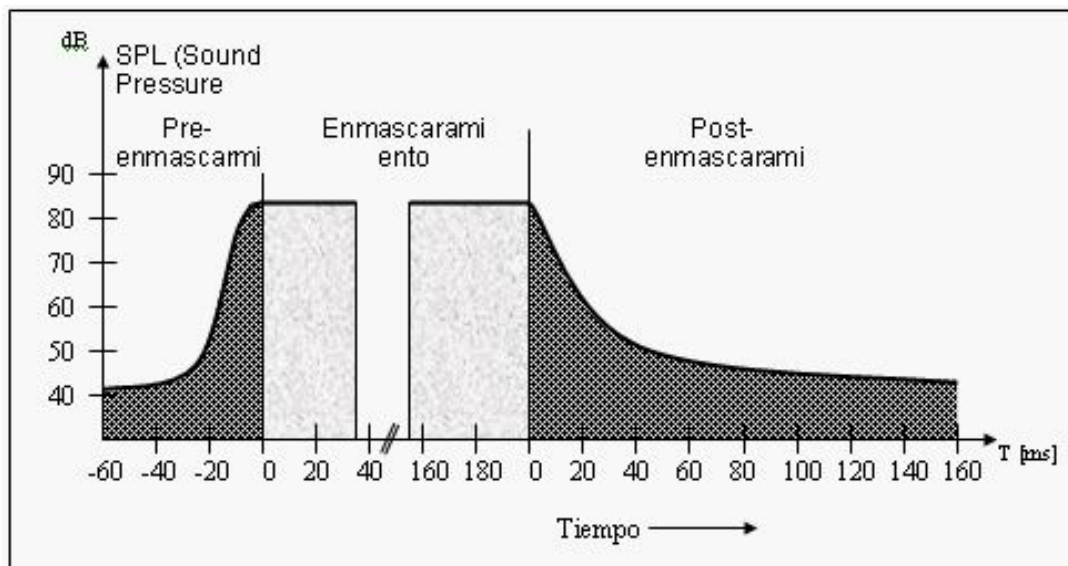


Fig. 2.24. Efectos del pre y post enmascaramiento

La determinación del enmascaramiento temporal en las mismas condiciones del ejemplo anterior, ofrece un tono enmascarador de 1 KHz a 60 dB y un tono de prueba de 1.1 KHz a 40 dB, el tono de prueba no es audible.

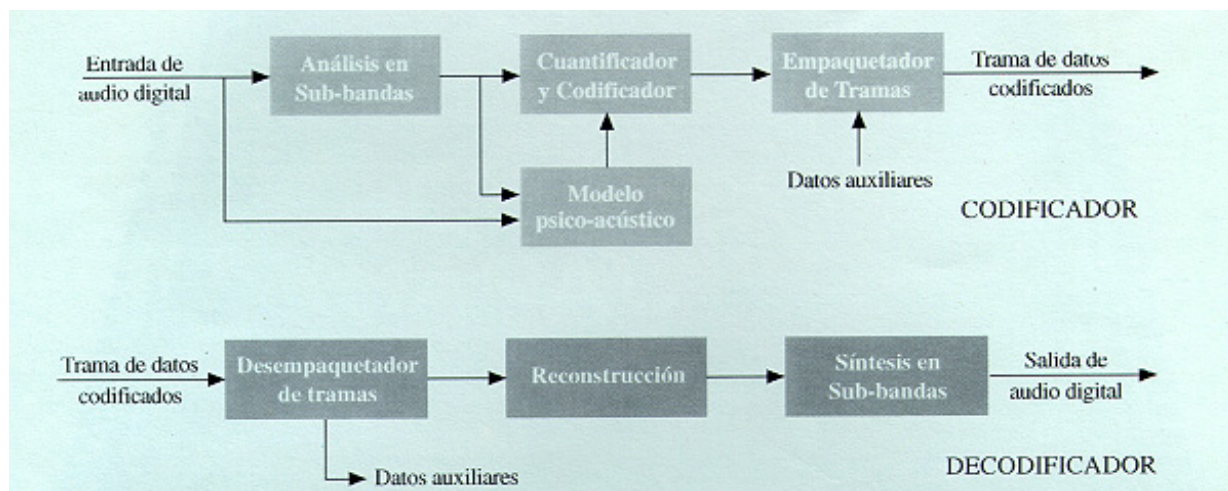


Fig. 2.25. Diagrama de un codificador-decodificador de audio MPEG

### ➤ IRRELEVANCIA Y REDUNDANCIA

Teniendo en cuenta estas dos características, los distintos métodos de compresión se proponen eliminar el caudal de datos de aquéllos que son irrelevantes y/o redundantes.

- Una señal o dato es irrelevante cuando su presencia no es perceptible por la mayoría de los evaluadores (observadores y/u oyentes) o cuando no produce efecto alguno sobre el sistema.
- Una señal o dato es redundante cuando su presencia, aunque perceptible, no provee un aporte a la información ya conocida.



Un buen algoritmo de compresión tiene dos metas. La primera meta es proveer un método más eficiente de representación de la imagen (y/o del sonido). La segunda meta es sacrificar aquellas características del cuadro de video (y/o secuencia PCM para el caso del audio) a las que los sentidos humanos son menos sensibles y sacrificar también aquella información de sucesos que son muy poco probables que aparezcan, es decir, en la codificación, solo se tendrán en cuenta los sucesos habituales.

### ➤ CLASIFICACIÓN DE LAS REDUNDANCIAS EN EL AUDIO

La mayoría de los sistemas de audio digitales usan técnicas de modulación por codificación de pulsos (PCM) para digitalizar las señales de audio analógicas. Los sistemas de alta calidad, tales como los formatos CD's con PCM lineal de 16 bits, resultan en tasas de datos que exceden en mucho la tasa de información de la señal original. Por esta razón, los datos digitales PCM son altamente redundantes y generalmente con grandes anchos de banda.

Las redundancias en PCM pueden identificarse en dos importantes áreas:

**Redundancias objetivas (o redundancias)**, las cuales son medibles y cuantifican ciertas características numéricamente predecibles de las señales de audio, tales como la periodicidad de las formas de onda

**Redundancias subjetivas (o irrelevancia)**, las que resultan de los fenómenos psicoacústicos de la audición humana. (La eliminación de redundancia es también citada como compresión estadística, mientras que la remoción de la irrelevancia es frecuentemente llamada codificación perceptiva).

### ➤ COMPRESIÓN SIN PÉRDIDAS Y CON PÉRDIDAS

Las técnicas de compresión de audio, en general, se pueden clasificar en dos categorías básicas: sin pérdidas y con pérdidas. Aunque hay muchas diferentes técnicas de compresión, todas ellas caen en una u otra de estas categorías.

**En la compresión sin pérdidas**, los datos del expansor son idénticos bit por bit a los datos originales de la fuente. La compresión sin pérdida, también es conocida como compresión reversible, ya que no pierde datos. La señal de audio comprimido puede ser descomprimida sin omitir ninguna muestra de información. La compresión sin pérdida, sin embargo, permite solo una modesta reducción de tasa de bit.

**En la compresión con pérdidas**, los datos desde el expansor no son idénticos bit a bit a los datos de la fuente. La compresión con pérdida es irreversible, ya la señal de audio reconstruida perderá algunos de sus muestras originales.

La compresión con pérdida, permite una más alta reducción de la tasa de bits. En general, una mayor compresión crea una mayor distorsión pero con técnicas cuidadosamente seleccionadas, esta distorsión puede hacerse bastante imperceptible al oído humano. Los códecs con pérdida no son apropiados para los datos de computadora, pero son habituales en aplicaciones de audio puesto que ellos permiten un mayor factor de compresión que los códecs sin pérdida.

- Cuadro comparativo de los 3 esquemas (layers)

Esquema	Objetivo	Compresión	Calidad 64 kbps	Calidad 128 kbps	Retardo
Esquema-1	192 kbps	4 a 1			19 ms
Esquema-2	128 kbps	6 a 1	2'1 a 2'6	Más de 4	35 ms
Esquema-3	64 kbps	12 a 1	3'6 a 3'8	Más de 4	59 ms

Tabla 2.9

### ➤ ORGANIZACIÓN DE LA TRAMA DE AUDIO

Parte del bit stream es decodificable con el uso de la información principal (main información) previamente adquirida. Cada trama en layer III contiene información de 1,152 muestras. Aunque la distancia entre dos tramas consecutivas es un número entero de slots (1 Byte / layer III) la información de audio perteneciente a una trama no está generalmente contenida entre dos palabras de sincronismo.

- ❖ Cabecera (Header).- Parte del bit stream que contiene la sincronización e información de estado.

Header	Layer
11	Layer I
10	Layer II
1	Layer III
0	Reserved

Tabla 2.10

Dentro de la cabecera se encuentran los siguientes campos:

- Syncword (Palabra de sincronismo de 12 bits).- "1111 1111 1111"
- ID (1 bit): Indica si la trama responde a la norma (ID = 1) o no (ID = 0)
- Layer (2 bits).- De acuerdo a su contenido indica:
  - Protection\_bit (1 bit): Indica si se ha introducido redundancia en el bit stream de audio para facilitar la detección y/o cancelación de errores:
    - ✓ 1: Indica que **no** se adicione redundancia
    - ✓ 0: Indica que **si** se adicionó redundancia

## 2.4. CONVERSIÓN D/A DE SEÑALES DE TELEVISIÓN

Mediante una suma ponderada de los dígitos de valor 1 se consigue, en forma muy simple, un convertor digital-analógico rápido; la ponderación puede hacerse con una serie de resistencias en progresión geométrica (cada una mitad de la anterior), lo cual obliga a utilizar un amplio rango de resistencias.

Puede convertirse una tensión en número binario utilizando un convertor opuesto D/A, a través de la comparación entre la tensión de entrada y la proporcionada por dicho convertor D/A aplicado a un generador de números binarios; se trata de aproximar el número resultado a aquel cuya correspondiente tensión analógica es igual a la de entrada. La aproximación puede hacerse de unidad en unidad, mediante un simple contador o dígito a dígito mediante un circuito secuencial específico.

En los sistemas digitales la precisión viene dada por la utilización de dos símbolos 1/0 y por la separación entre las tensiones que los representan. En cambio, en el tratamiento de tensiones analógicas, y por tanto en los convertidores D/A y A/D, hemos de preocuparnos de la precisión y de las diversas causas de error que le afectan; desplazamiento del origen, linealidad y resolución.

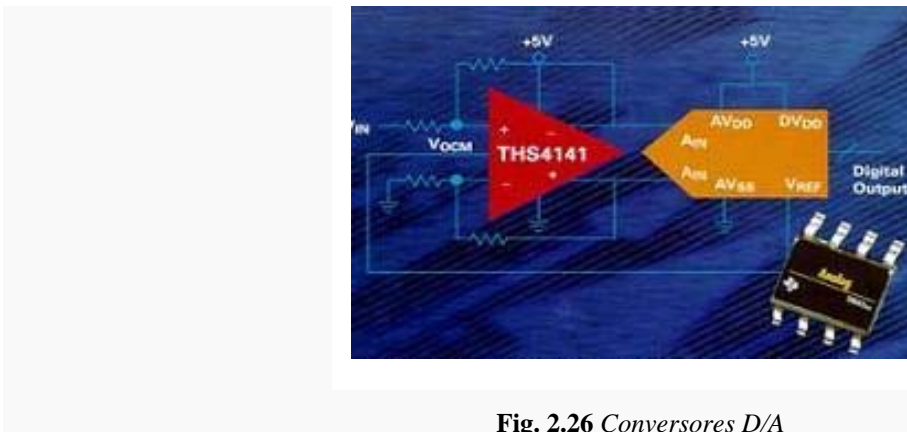


Fig. 2.26 Conversores D/A

### 2.4.1. SEÑAL DE VIDEO

Para la conversión de la señal de video se requiere de un convertidor en el cual se apliquen palabras digitales en formato serie o paralelo y proporciona en su salida magnitudes analógicas de valor equivalente en forma de tensión o corriente. Cuando se requiere una salida de carácter continuo en el tiempo, es preciso introducir entre la terminal de salida del convertidor y el receptor de la información, un filtro de reconstrucción, que en la práctica es un filtro paso bajo, para eliminar la frecuencia de muestreo implícita en la información de entrada.

La fig. 2.23 muestra los procesos de un convertidor D/A de una señal de video.

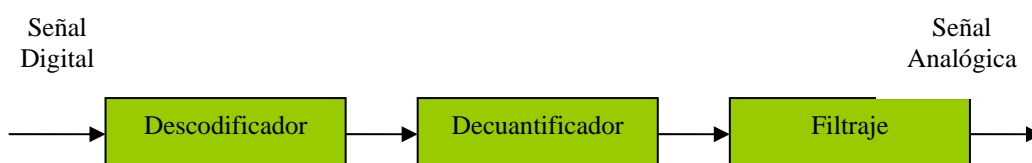


Fig. 2.27

## 2.4.2. SEÑAL DE AUDIO

Para la audición de esta señal digital de audio, es necesaria la reconversión inversa, de forma que los números almacenados son enviados a un convertor D/A que los convierte en voltajes, a la misma frecuencia de reloj. Esta señal analógica es suavizada mediante un nuevo filtro, amplificada y enviada a unos altavoces, que con su vibración, convierten finalmente los voltajes en variaciones de presión de aire. La fig. 2.28 esquematiza este proceso.

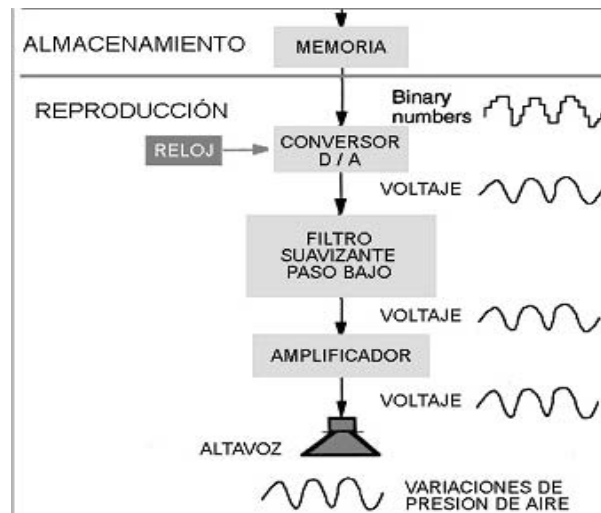


Fig. 2.28 Diagrama de un convertor D/A de la señal de audio

## 2.5. TRANSMISIÓN DE TV DIGITAL

Con las nuevas tecnologías digitales basadas en distintos procedimientos de modulación y demodulación se consigue mejoras con respecto a las modulaciones analógicas como por ejemplo:

- Limitación al mínimo del valor de ruido para obtener una relación G/N (ganancia/ruido) más favorable.
- Permitir el posicionamiento de los nuevos servicios en el espacio radioeléctrico para mantener el espectro.

Con la transmisión digital es posible aportar mayor inmunidad a perturbaciones y distorsiones como se mencionó al principio de este capítulo. Lo que justifica su implantación comercial, más allá de la oportunidad tecnológica, es la posibilidad de obtener multiservicio o multiprograma con las técnicas de multiplexaje.

### 2.5.1. CONDICIONES DE LA TRANSMISIÓN DIGITAL.

Para transmitir un flujo binario mediante un procedimiento de modulación y transporte ya sea de radiación o por cable, es necesario que se cumplan las siguientes condiciones:

- Debe tener suficiente señalización para permitir al receptor identificar el principio de los símbolos y los datos de cada servicio.
- El flujo de datos en banda base no debe tener largas cadenas de bits iguales porque se dificulta la regeneración de reloj.
- La información a transmitir debe protegerse mediante la incorporación de palabras o símbolos de código para permitir al receptor corregir los bits erróneos.
- El sistema transmisor en conjunto debe aportar la máxima eficacia espectral para ocupar el mínimo ancho de banda.

### 2.5.2. CANAL DIGITAL Y ESTRUCTURA DE LA TRAMA.

Un canal digital es un conjunto de procesos al que se somete la información ya estructurada (empaquetada) siguiendo los procedimientos de su norma (DVB, ATSC o ISDB –T) para generar finalmente una portadora de radiofrecuencia modulada en condiciones idóneas que permitan su ubicación en el espacio radioeléctrico asignada.

Los procesos por los que pasa la información (audio y video) previamente digitalizada y comprimida antes de ser transmitida se muestra en la fig. 2.29.

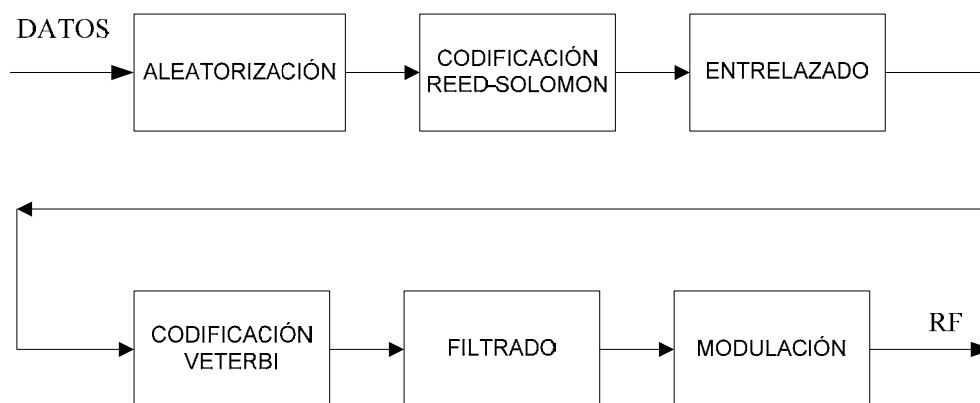


Fig. 2.29 Diagrama de bloques del canal digital.

#### ➤ ALEATORIZACIÓN DE DATOS

La finalidad de este primer proceso del canal digital es permitir la dispersión de la RF (señal de radiofrecuencia) final de la salida del modulador, para evitar las concentraciones de energía como consecuencia de la aparición de largas cadenas de bits iguales (asesoria), que entre otros efectos indeseables, dificultaría la recuperación del reloj de los datos en el receptor.

## ➤ CODIFICACIÓN FEC

Los siguientes tres bloques de la fig. 2.29 están referidas a este tipo de codificación. Este tipo de codificación integra procedimientos de codificación exterior (codificación Reed Solomon), entrelazado e interior (codificación Viterbi).

**Codificación exterior (Reed Solomon).** Se trata de añadir redundancias a la información mediante CRC (*Cyclical Redundancy Code* ó Códigos de Redundancia Cíclica) para proteger la información, lo que supone añadir al mensaje de audio y video palabras de código basadas en los bits de paridad, con las que el receptor comprueba los bits de los datos para detectar y corregir los posibles errores.

**Entrelazado de datos.** En este bloque los datos de cada paquete se descolocan con respecto a su posición original para evitar con ello que las ráfagas de errores producidas durante la recepción superen el margen de detección y corrección del sistema.

**Codificación interior (Viterbi).** En algunos sistemas de transmisión digital se obtienen una baja relación C/N (portadora/ruido) en la recepción de las señales demoduladas y con ello una deficiente relación señal a ruido para contrarrestar estas deficiencias se hace uso de esta codificación que también es llamada codificación convolutiva. Este sistema añade una gran seguridad a los datos por la redundancia que introduce, la cual tiene diferentes tasas para proporcionar relaciones entre el flujo de datos de salida y la protección aportada siendo la más potente la de 1/2 y por tanto la que más protección aporta, ya que se transmiten 2 bits de salida por cada uno de entrada. Sin embargo, este procedimiento dobla el número de datos a transmitir lo cual sería un problema con el ancho de banda, por esto se ha dado lugar a tasas normalizadas de 2/3 (2 bits de entrada y 3 de salida), 3/4 (utilizado en la DGTVE), 5/6 y 7/8.

## ➤ FILTRADO

La aplicación de impulsos rectangulares al modulador daría lugar a un ancho de banda muy grande y con esto se imposibilitaría la asignación en el espacio del espectro de RF. Este hecho ha provocado la búsqueda de sistemas de transferencia que dan lugar a flancos de caída suave y respuesta impulsiva con rápida atenuación. Uno de ella es el filtrado de coseno alzado, el cual satisface los requerimientos de Nyquist para un canal con contenido digital.

El filtrado de coseno alzado ha aplicar a la información digital esta definido por el parámetro Roll Off o Factor de Redondeo, el cual representa el porcentaje de ancho de banda en exceso que es preciso ocupar en la relación al ancho de banda necesario con un filtro ideal.

## ➤ MODULACIÓN

Este último proceso debe adoptar una configuración que depende del medio de transmisión empleado para el servicio de televisión digital. Los tipos de modulación para la transmisión de televisión digital se explican en el siguiente apartado.

### 2.5.3. TIPOS DE MODULACIÓN DIGITAL.

#### ➤ MODULACIÓN PSK

Consiste en un procedimiento de la onda portadora en función de un bit de dato (0, 1). Un bit 0 corresponde a la fase 0; en cuanto al bit 1, corresponde a la fase  $\pi$ . Por tanto, este ángulo está asociado con un dato al ser transmitido y con una técnica de codificación usada para representar un bit.

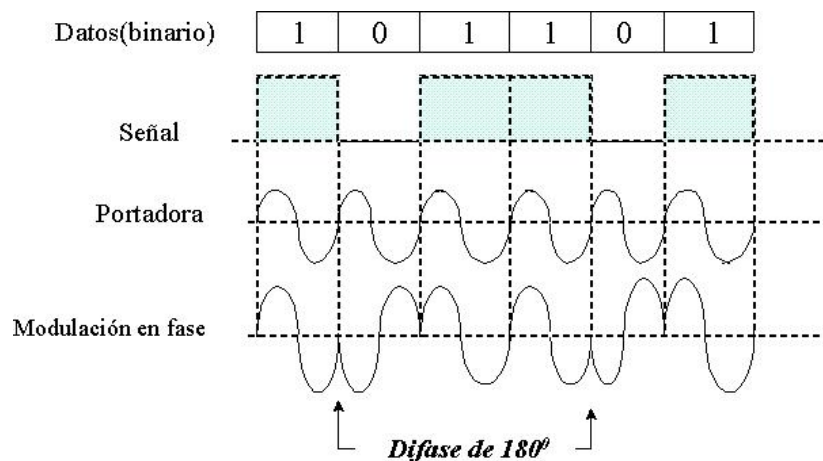
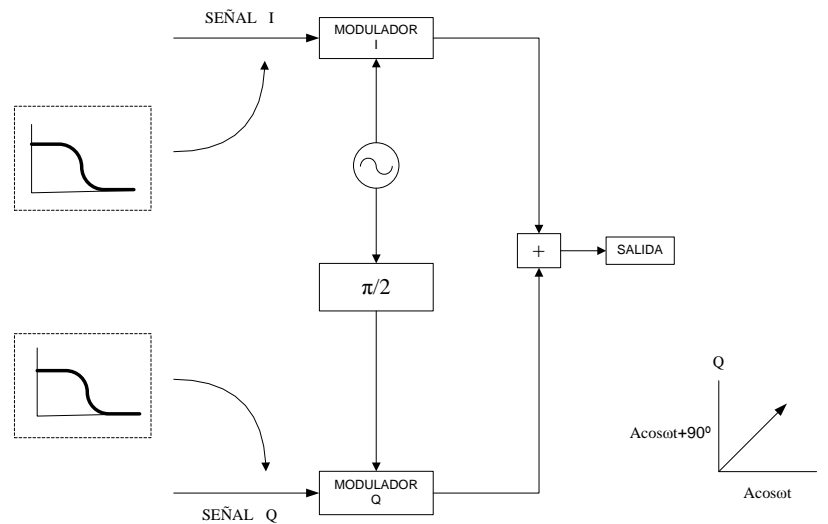


Fig.2.30.

#### MODULACIÓN QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying* ó Transmisión por Desplazamiento de Fase en Cuadratura)

Este tipo de modulación es el aplicado en la DGTVE utilizando la norma DVB. El modulador de este sistema recibe parejas de bits en sus entradas I (en fase) y Q (en cuadratura) y procede a generar cambios de fase representativos, manteniendo constantes los parámetros de amplitud y frecuencia, la fig. 2.31 muestra su arquitectura.

La transmisión por desplazamiento de fase cuaternaria (QPSK) o, en cuadratura PSK, como a veces se le llama, es otra forma de modulación digital de modulación angular de amplitud constante. La QPSK es una técnica de codificación M-ario, en donde  $M=4$  (de ahí el nombre de "cuaternaria", que significa "4"). Con QPSK son posibles cuatro fases de salida, para una sola frecuencia de la portadora. Debido a que hay cuatro fases de salida diferentes, tiene que haber cuatro condiciones de entrada diferentes. Ya que la entrada digital a un modulador de QPSK es una señal binaria (base 2), para producir cuatro condiciones diferentes de entrada, se necesita más de un solo bit de entrada. Con 2 bits, hay cuatro posibles condiciones: 00, 01, 10 y 11. En consecuencia, con QPSK, los datos de entrada binarios se combinan en grupos de 2 bits llamados dibits. Cada código dibit genera una de las cuatro fases de entrada posibles. Por tanto, para cada dibit de 2 bits introducidos al modulador, ocurre un solo cambio de salida. Así que, la razón de cambio en la salida es la mitad de la razón de bit de entrada.



**Fig. 2.31** Arquitectura del modulador QPSK

El flujo de datos que procede del filtro de Nyquist es aplicado a los moduladores de amplitud I y Q los cuales reciben a su vez la frecuencia del oscilador de portadora en la condición de fase  $0^\circ$  y  $-90^\circ$  respectivamente. A la salida de los moduladores estas se suman y la información resultante tendrá condición vectorial como se muestra en la fig.2.31 en donde se observa que existen 4 posibles combinaciones lógicas que se obtienen de cada pareja de bits que entra en el modulador.

➤ **MODULACIÓN QAM (Quadrature Amplitude Modulation ó Modulación de Amplitud en Cuadratura)**

La modulación QAM es un esquema de modulación multinivel en donde se envía una  $M=4(n)$  señales, donde n es el nivel de amplitud, con distintas combinaciones de amplitud y fase. Utilizando múltiples niveles, tanto en la modulación en amplitud como en la modulación en fase, es posible la transmisión de grupos de bits, de manera que cada uno de estos grupos será representativo de un conjunto nivel-fase característico de la portadora de la señal, mismo que dará cabida a un símbolo.

Esta es una modulación digital avanzada que transporta datos cambiando la amplitud de dos ondas portadoras. Estas dos ondas, generalmente sinusoidales, están desfasadas entre si  $90^\circ$  en la cual una onda es la portadora y la otra es la señal de datos. Se utiliza para la transmisión de datos a alta velocidad por canales con ancho de banda restringido. Un modulador QAM se muestra en la fig. 2.32.



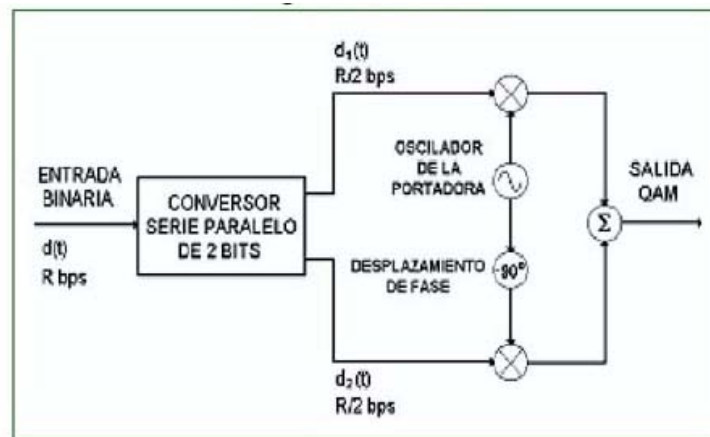


Fig. 2.32

Una de las características principales de la modulación QAM es que modula la mitad de los símbolos con una frecuencia y la otra mitad con la misma frecuencia, pero desfasada  $90^\circ$ . El resultado de las componentes se suma, dando lugar a la señal QAM. De esta forma, QAM permite llevar dos canales en una misma frecuencia mediante la transmisión ortogonal de uno de ellos con relación al otro. Como ya se ha dicho, la componente "en cuadratura" de esta señal corresponderá a los símbolos modulados con una frecuencia desfasada  $90^\circ$ , y la componente "en fase" corresponde a los símbolos modulados sobre una portadora sin fase. En la Figura 2.33 se muestran las constelaciones para los esquemas de modulación 4-QAM, 16-QAM y 64-QAM. Note que para cada uno de ellos se varían los niveles de amplitud y de fase de la señal.

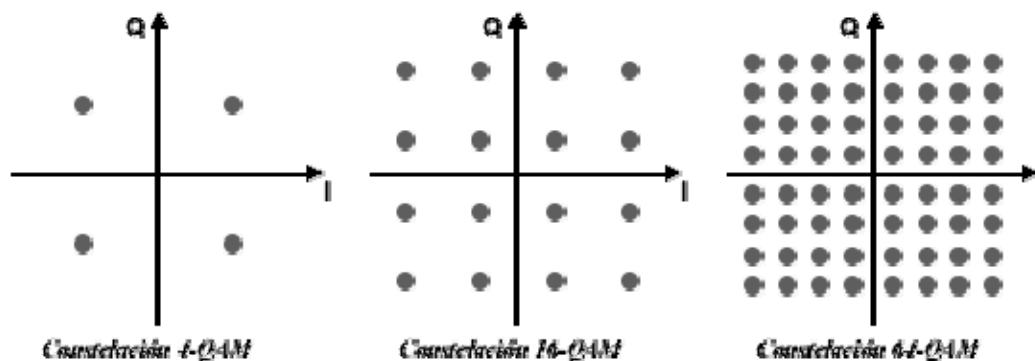


Fig. 2.33

### ➤ MODULACIÓN VSB (VESTIGIAL SIDE BAND)

Este tipo de modulación es empleado por el sistema ATSC la cual aporta una alta eficacia espectral y elevada inmunidad a las interferencias radioeléctricas, pero tiene baja robustez ante ecos de recepción.

El VSB es una alternativa al QAM ya que esta basado en una modulación de amplitud con banda vestigial que genera ocho escalones de amplitudes discretas con modulación en cuadratura.

En esta modulación se transmite completamente una banda y sólo parte de la otra, lo que facilita su recuperación de datos en el receptor con simples detectores de envoltura en la fig. 2.34 muestra un ejemplo del principio del sistema en el que se puede observar la introducción del filtro VSB para reducir a un vestigio una de las bandas.

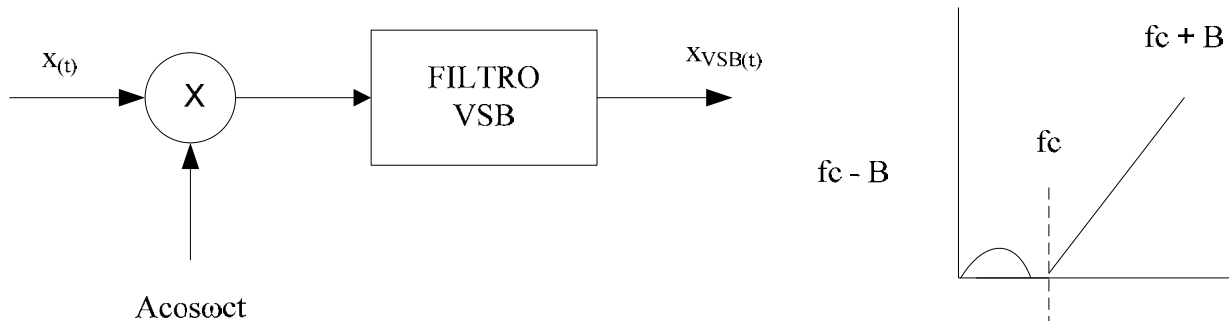


Fig. 2.34. Principio básico del modulador VSB.

Para una aplicación práctica en televisión digital el modulador 8-VSB adopta la configuración de circuitos que se muestra en la fig. 2.35.

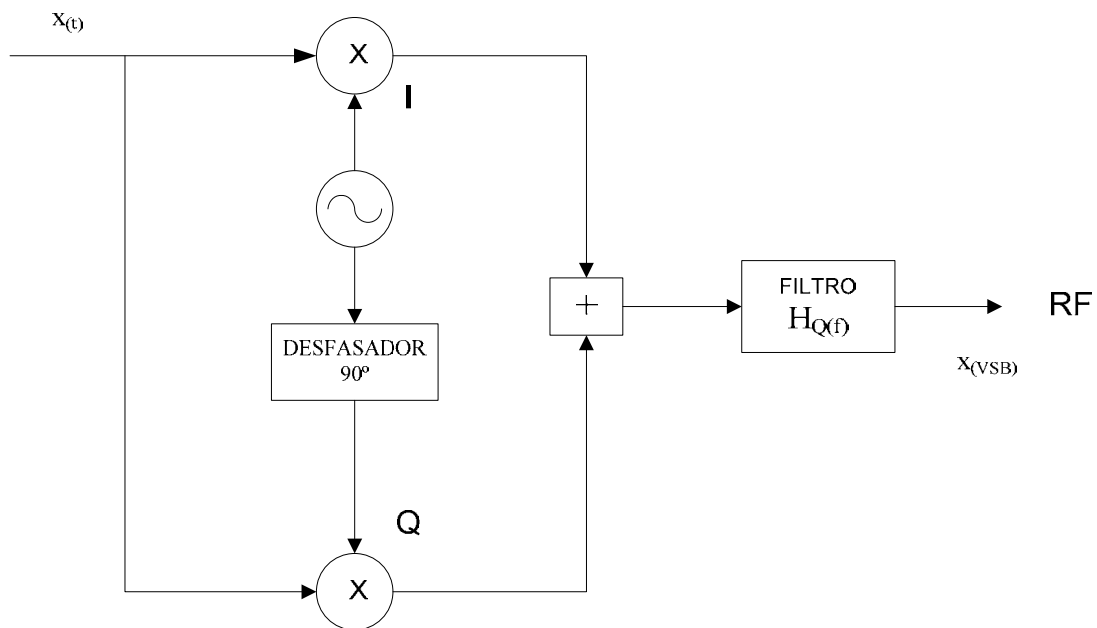


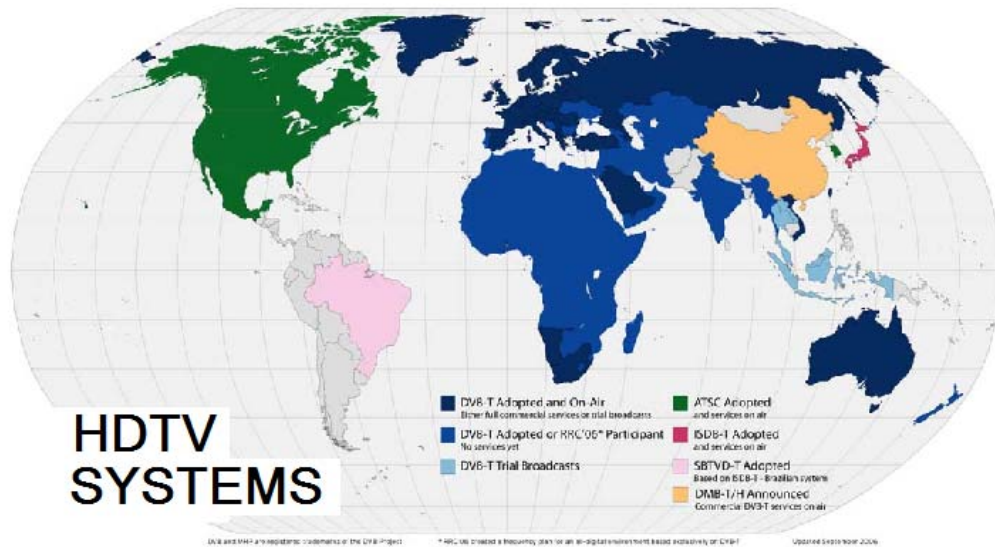
Fig. 2.35 Modulador VSB



# LA TELEVISIÓN DE ALTA DEFINICIÓN

La televisión de alta definición es una variante de la televisión digital y definida por el sistema ATSC, como una Pantalla Ancha (Wide Screen), con relación de 16:9 e imágenes con una resolución superior al de los anteriores estándares analógicos. El sistema ATSC también involucra una calidad de audio Dolby Digital (sonido envolvente), con codificación formato AC-3 que proveerá hasta 7.1 canales de audio.

El sistema ATSC es un grupo que se encarga del desarrollo de los estándares de la televisión digital, este sistema reemplazará al sistema NTSC, que es el sistema de televisión analógica anteriormente usado en Estados Unidos, Canadá, Japón y buena cantidad en países de América Latina incluyendo México. Así como ATSC fue hecho y normalizado por Estados Unidos otros países también desarrollaron sus propios sistemas para transmitir televisión de alta definición. En la fig.3.1 se puede observar la distribución de los diferentes sistemas de televisión digital y se anexa una tabla para simplificar su comprensión.



Sistema	Explicación
DVB-T	La transmisión mediante DVB-T ya se ha puesto en práctica.
DVB-T adoptado o RRC06 participante	DVB-T adoptado: Países que se han decidido por el sistema DVB-T. RRC06: Los países señalados participan en la Conferencia Regional de Radiocomunicaciones 2006 de la ITU (International Telecommunication Union). Se presupone que todos los países participantes se decidirán por el sistema DVB-T cuando pasen de la transmisión analógica de televisión a la digital.
DVB-T en prueba	En estos países, el estándar DVB-T está en período de prueba.
ATSC	La transmisión mediante el sistema ATSC ya se ha puesto en práctica.
ATSC adoptado	Países que se han decidido por el sistema ATSC.
ISDB-T	La transmisión mediante ISDB-T ya se ha puesto en práctica.
SBTVD-T adoptado	Países que se han decidido por el sistema SBTVD-T. SBTVD-T, es una modificación parcial de ISDB-T
DVB-T y DVB-H anunciado	Ninguna adopción formal de un estándar de TDT. Servicio comercial del DVB-T
Servicio comercial del DVB-T	Ninguna adopción formal de un estándar de TDT.

**Fig.3.1.** Distribución de los sistemas para televisión digital en el mundo

**ATSC (Advanced Television System Committee o Comité de Sistemas de Televisión Avanzada).** Utilizado en México, Corea del Sur, Canadá, Estados Unidos y algunos países de Latinoamérica.

**DVB (Digital Video Broadcasting).** Utilizado en Europa, India, China, Sudáfrica, Australia y algunos países asiáticos.

**ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting) o Transmisión Digital de Servicios Integrados.** Es la norma en Japón y Brasil.

En este capítulo se hablará solo del sistema ATSC, ya que es el usado en México, también se darán a conocer los parámetros primordiales, como se hizo en el Capítulo 1 con NTSC, para después indicar las diferencias entre uno y otro y así saber como el nuevo sistema de televisión avanzada es mejor en muchos aspectos. Al final del capítulo se citarán cada uno de los estándares que ATSC emplea para hacer uso de la tecnología de la alta definición como lo son las normas para el procesamiento y compresión del audio, conversión analógica-digital, codificación del video, compatibilidad con sistemas anteriores, entre otros.

### 3.1. DE LA TELEVISIÓN DIGITAL A LA ALTA DEFINICIÓN

La televisión de alta definición como se dijo es una variante muy mejorada de la televisión digital. A continuación se resumirá la digitalización de la señal de televisión vista en el Capítulo 2 con el fin de ilustrarla e introducirla en el ámbito de la alta definición.

#### 3.1.1. FUNDAMENTOS

##### ➤ DIGITALIZACIÓN DE IMAGEN

**Muestreo.** Es el proceso por medio del cual se transforma una señal de tiempo continuo a tiempo discreto mediante un conmutador electrónico de alta velocidad, controlado por una frecuencia de reloj denominada frecuencia de muestreo. Muestrear es tomar valores por unos instantes de tiempo de la señal analógica los cuales deben de ser iguales y ortogonales. Se lleva a cabo bajo la norma UIT-R 601 utilizando la familia 8:4:4, ya que en SDTV (*Standard Definition Television* o Televisión de Definición Estándar) se utiliza la 4:2:2.

**Cuantificación.** Es el proceso mediante el cual se atribuye a cada muestra un valor de amplitud dentro de un margen de niveles previamente fijado. Este valor se representa por un número que será convertido a un código de ceros y unos en el proceso de codificación. Es necesaria una cuantificación uniforme binaria de 8 bits, o sea,  $2^8$  niveles (256).

**Codificación.** La codificación final de la señal de salida de un equipo depende de su aplicación, ya que es aquí donde intervienen las codificaciones de audio y de video específicos para la HDTV, los cuales se explican a continuación.

##### ➤ MODELO PARA HDTV

El diseño del sistema de video comprende dos capas OSI, la parte de formateo de fuente de video y la codificación de compresión como lo muestra la figura 3.2. Es necesario formatear la fuente ya que hoy en día, la mayoría de las fuentes de programas son producidas en varios formatos de componentes analógicos utilizando señales RGB o Y, Pr, Pb. La digitalización se realiza usando una frecuencia de muestreo de 13.5 MHz para señales SDTV y 75 MHz para señales HDTV. En la producción de imágenes se utilizan muchos estándares de colorimetría. Para asegurar una versión de colorimetría idéntica en la pantalla receptora, se especifican parámetros de colorimetría basados en colores primarios, características de transferencia (gama) y coeficientes de matriz.

Por último, se utiliza el MPEG- 2 para la compresión del video. Luego de comprimir la cadena de datos, ésta se multiplexa en el dominio del tiempo y se formatea en paquetes que serán enviados al sistema de transporte.

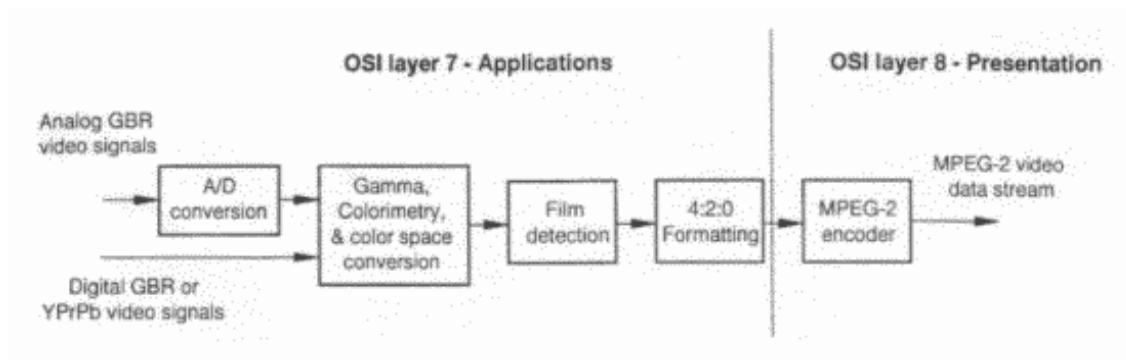


Fig.3.2. Formateo y codificación de fuente de video

La transferencia de datos en HDTV utilizando una señal sin comprimir debiera ser de 1Gbps, pero como se utiliza un canal de 6 MHz de ancho para transmitir la información, debemos comprimirla unas 50 veces con el objeto de reducir la tasa de transferencia a 20Mbps, que es lo que acepta dicho ancho de banda.

Los siguientes perfiles MPEG-2 son los determinados por el estándar ATSC:

- **The MP@ML profile (MainProfile@MainLevel).** Es el formato digital más comparable al NTSC y su velocidad de transmisión de datos es de 15 Mbps.
- **The MP@HL profile (MainProfile@HighLevel).** Es utilizado para la genuina HDTV. Su máxima velocidad de transferencia de datos alcanza los 80 Mbps, por lo que no puede ser completamente usado en el ancho de banda de 6 MHz. donde aproximadamente se hace a 19.4 Mbps.

### 3.1.2. CODIFICACIÓN MPEG PARA HDTV

Existen tres tipos de compresión (codificación) que se utilizan para imágenes en HD los cuales son: MPEG-2, MPEG-4 (H.264) y VC-1 (estándar que fue implementado por Windows Media Video 9), aunque el MPEG-2 se está quedando desfasado actualmente por su baja eficiencia de compresión comparado con los otros códecs. Siendo MPEG-4 el que más lo reemplaza ya que las imágenes HDTV, con este formato, son hasta 5 veces más definidas que las de la televisión de definición estándar en NTSC.

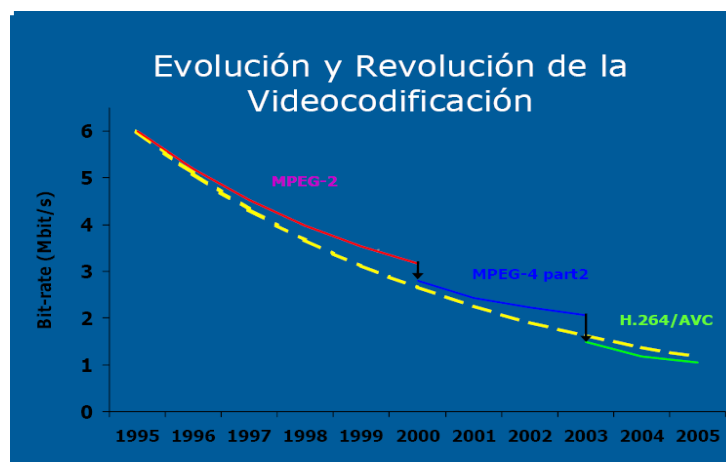


Fig. 3.3. Comparación de codificación

La norma H.264 o MPEG-4 parte 10 define un códec de video de alta compresión, desarrollada conjuntamente por la ITU-T VCEG (*Video Coding Experts Group*) y el ISO/IEC MPEG (*Moving Picture Experts Group*). La intención del proyecto H.264/AVC fue la de crear un estándar capaz de proporcionar una buena calidad de imagen con tasas binarias notablemente inferiores a los estándares previos (MPEG-2, H.263 o MPEG-4 parte 2), además de no incrementar la complejidad de su diseño.

Para garantizar un ágil desarrollo de la misma, la ITU-T y la ISO/IEC acordaron unirse para desarrollar conjuntamente la siguiente generación de códecs de video. El JVT (Joint Video Team) estaba formado por expertos del VCEG y MPEG y nació en Diciembre de 2001 con el objetivo de completar el desarrollo técnico del estándar hacia el 2003. La ITU-T planeó adoptar el estándar bajo el nombre de ITU-T H.264 y la ISO/IEC bajo el nombre de MPEG-4 Parte 10 AVC (*Códec de Video Avanzado*) y de aquí surgió el nombre híbrido de H.264/MPEG-4 AVC. Para empezar a programar el código del nuevo estándar adoptaron las siguientes premisas:

- La estructura DCT + Compensación de Movimiento de las versiones anteriores era superior a otros estándares y por esto no había ninguna necesidad de hacer cambios fundamentales en la estructura.
- Para permitir una libertad máxima en la codificación y evitar restricciones que comprometan la eficiencia, no se contempla mantener la compatibilidad con normas anteriores.

El uso inicial del MPEG-4 AVC estuvo enfocado hacia el video de baja calidad para videoconferencia y aplicaciones por Internet, basado en 8 bits/muestra y con un muestreo ortogonal de 4:2:0. Esto no daba salida al uso de este códec en ambientes profesionales que exigen resoluciones más elevadas, necesitan más de 8 bits/muestra y un muestreo de 4:4:4 o 4:2:2, funciones para la mezcla de escenas, tasas binarias más elevadas, poder representar algunas partes de video sin pérdidas y utilizar el sistema de color por componentes RGB. Por este motivo surgió la necesidad de programar unas extensiones que soportasen esta demanda. Tras un año de trabajo intenso surgieron las “extensiones de gama de fidelidad” que incluían:

- Soporte para un tamaño de transformada adaptativo.
- Soporte para una cuantificación con matrices escaladas.
- Soporte para una representación eficiente sin pérdidas de regiones específicas.

Este conjunto de extensiones denominadas de "perfil alto" son:

- La extensión High que soporta 4:2:0 hasta 8 bits/muestra
- La extensión High-10 que soporta 4:2:0 hasta 10 bits/muestra
- La extensión High 4:2:2 que soporta hasta 4:2:2 y 10 bits/muestra
- La extensión High 4:4:4 que soporta hasta 4:4:4 y 12 bits/muestra y la codificación de regiones sin pérdidas.

## ➤ CARACTERÍSTICAS H.264/MPEG-4 AVC

La norma H.264/MPEG-4 AVC no supone una gran tecnología con respecto a las normas de codificación de video anteriores. Las diferencias se pueden encontrar a pequeña escala sobre el principio general de codificación (predicción, transformada, cuantificación, etc.).

	Resolución Típica de Pantalla	Velocidad binaria Típica	Aplicación Típica
QCIF	176 x 144	50 - 100 kbit/s	Teléfono UMTS PDA
CIF	352 x 288	250 - 500 kbit/s	Receptor móvil PC
SDTV	720 x 576	1 - 2 Mbit/s	Difusión SDTV DVD
HDTV	1920 x 1080 i 1280 x 720 p	5 - 10 Mbit/s	Difusión HDTV HD DVD

**Tabla 3.1.** Aplicaciones de H.264 AVC

- **Tipos de imágenes**

Podemos encontrar las mismas imágenes que en las normas precedentes (Imágenes I, P y B ) y dos nuevas, la SP (Switching P) y la SI (Switching I) que sirven para codificar la transición entre dos flujos de video. Permiten, sin enviar imágenes “intra” muy costosas en tiempos de procesamiento, pasar de un video a otro utilizando predicción temporal o espacial como antes, pero con la ventaja que permiten la reconstrucción de valores específicos exactos de la muestra aunque se utilicen imágenes de referencia diferentes o un número diferente de imágenes de referencia en el proceso de predicción.

- **Compensación de movimiento**

El proceso de compensación de movimiento es diferente de las normas precedentes puesto que propone una gran variedad de formas y de particiones de bloques. De cara a la compensación de movimiento, cada macrobloque, aparte del tamaño original (16x16 píxeles), puede ser descompuesto en sub-bloques de 16x8, 8x16 u 8x8 píxeles. En este último caso, es posible descomponer a su vez cada sub-bloque de 8x8 píxeles en particiones de 8x4, 4x8 o 4x4 píxeles.

Antes, el estándar más novedoso introducía particiones de 8x8. Esta variedad de particiones proporciona una mayor exactitud en la estimación, a lo que se suma una precisión que puede llegar hasta ¼ de píxel.

- **Transformada**

Es una aproximación a la DCT que viene utilizándose en video pero con las siguientes particularidades:

- Coeficientes enteros: lo que permite evitar los errores de redondeo habituales en la DCT clásica (coeficientes irracionales) y garantizar un ajuste perfecto entre la transformación directa y la inversa.



- Precisión finita: Otra consecuencia favorable de la característica anterior es que se puede calcular sin exceder los 16 bits de precisión.
- Eficiencia: Se puede implementar exclusivamente por medio de sumas y desplazamientos binarios.

- **Cuantificación**

Cada paso del parámetro de cuantificación (QP) incrementa un 12.5% el intervalo de cuantificación, lo que equivale a duplicarlo por cada 6 pasos. El rango dinámico del QP ha aumentado respecto a normas precedentes, puesto que los valores van de 0 a 51. Los macrobloques se cuantifican utilizando un parámetro de control que puede cambiar adaptándose al bloque en cuestión.

- **Filtro de "deblocking"**

La norma H.264 también integra un filtro antibloques que mejora la eficacia de compresión y la calidad visual de las secuencias de video eliminando efectos indeseables de la codificación como por ejemplo el efecto de bloques.

- **Exploración de los coeficientes**

Existen dos modos de exploración de los coeficientes transformados: "zig-zag" y "zig-zag inverso". El segundo modo de exploración permite, en particular, la lectura del macrobloque en sentido contrario para poder funcionar con la codificación entrópica adaptativa.

- **Codificación entrópica**

La codificación entrópica se puede realizar de tres formas diferentes. Un primer método utilizado es el conocido UVLC (*Universal Variable Length Coding*). Este tipo de codificación es utilizado para codificar la gran mayoría de los elementos de sincronización y cabeceras.

Los otros dos métodos son utilizados para codificar buena parte del resto de elementos sintácticos (coeficientes y vectores de movimiento). Las codificaciones utilizadas para esta tarea están basadas en VLC (*Variable Length Coding*).

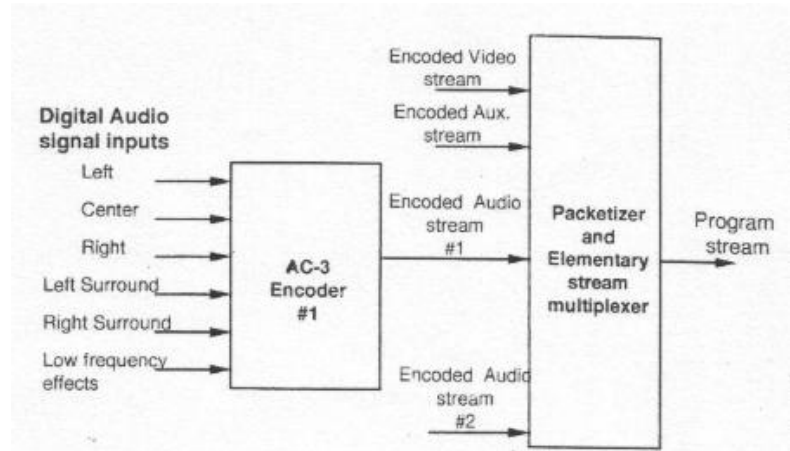


Fig. 3.4. Comparación de codificación

### 3.1.3. CODIFICACIÓN DE AUDIO DOLBY DIGITAL AC-3

El estándar ATSC utiliza la tecnología "Dolby Digital" AC-3. La misma está basada en el método que actualmente se utiliza en las salas de cine, el Dolby Surround Sound. Este procedimiento brinda 5.1 de canales de audio digital.

- Canal Izquierdo
- Canal Derecho
- Canal Central ( Middle Channel )
- Canal Surround Izquierdo
- Canal Surround Derecho
- 0.1 Canal para señal de Subwoofer



**Fig. 3.5.** Codificador AC-3, donde vemos que los 6 canales ya digitalizados entran al codificador AC-3. Luego, se multiplexan las secuencias de audio (AC-3), video y auxiliar para obtener una secuencia de programa.

Dolby Digital es el último y más innovador sistema de sonido desarrollado por los Laboratorios Dolby, cuya experiencia en este campo es muy amplia, ya a finales de los años 60 estos laboratorios revolucionaron la grabación de sonido en cinta magnética con el lanzamiento de los sistemas de reducción de ruido Dolby A (profesional) y Dolby B (doméstico). Durante la década de los 70 Dolby revolucionó la sonorización en el cine con la introducción del sistema analógico Dolby Stereo, que proporcionaba sonido envolvente con la utilización de tres canales frontales (izquierdo y derecho para música y efectos, además de un canal central para diálogos) y un cuarto canal dedicado a efectos y que trata de recrear la atmósfera sonora de la escena.

Dolby también revolucionó los sistemas de sonido domésticos con la introducción a finales de los 80's del Dolby Surround (analógico) y más tarde del Dolby Pro-Logic (digital), que básicamente aplicaban la tecnología Dolby Stereo a las cintas de video y Laser Discs.

Dolby AC-3 es el sucesor de otros dos sistemas de codificación perceptiva Dolby AC-1 y Dolby AC-2 y ha sido diseñado para aprovechar al máximo el enmascaramiento temporal y frecuencial que caracteriza a la audición humana, codificando las componentes frecuenciales del sonido en lugar de su característica temporal. Para ello cada canal es filtrado en pequeñas bandas de diferentes tamaños antes de ser codificado, tratando así de imitar el comportamiento del oído humano; con esto conseguimos que las componentes frecuenciales del sonido y su correspondiente ruido de cuantificación queden dentro de una misma banda, con lo que se consigue un mejor aprovechamiento de las características de enmascaramiento del oído humano, minimizando así la tasa de bits necesaria para una codificación libre de ruido.

Reduciendo o eliminando el ruido de cuantificación donde no haya señal que lo enmascare la calidad del sonido no se verá afectada.

El algoritmo Dolby AC-3 distribuye los bits con que se cuantificarán las componentes frecuenciales de las diferentes bandas teniendo en cuenta las características espectrales de la señal codificada. Un modelo interno que simula el enmascaramiento frecuencial y temporal del oído

permite al codificador variar su resolución espectral-temporal dependiendo de la naturaleza del sonido, de forma que se asegure un número mínimo de bits para describir la señal en cada banda garantizando que el ruido quede totalmente enmascarado. Este modelo de enmascaramiento frecuencial hace que aquellas componentes espectrales del sonido que vayan a quedar enmascaradas por otras no sean codificadas. AC-3 también distribuye los bits entre los diferentes canales de manera que se consiga una tasa de bits estable, asignando más bits a los canales con un mayor contenido frecuencial.

El algoritmo AC-3 considera los seis canales como una entidad única incluyéndolos en una única trama de bits, con lo que se consigue una tasa de bits menor que separando cada canal en una trama distinta.

Otra característica a destacar del sistema AC-3 es su gran versatilidad, permitiendo frecuencias de muestreo de 32, 44.1 y 48 KHz y velocidades de transmisión de entre 32 Kbps, para un único canal mono, hasta 640 Kbps, cuando el sistema trabaja a su máxima capacidad. La velocidad de transmisión en un sistema Dolby Digital doméstico de 5.1 canales es de 384 Kbps y de 192 Kbps para sistemas de dos canales.

El Dolby Digital es el formato mayoritario para las películas y está presente en más de 40,000 salas de cine de todo el mundo, aparte de ser un estándar en los reproductores de DVD domésticos, existiendo millones de unidades en todo el mundo.

El Dolby Digital es fácil de usar, ya que sólo se necesita una conexión digital entre el decodificador y el sistema multicanal. Los sistemas actuales son muy fáciles de instalar, tanto en las conexiones como en los menús de configuración de los equipos, llevándonos sólo algunos minutos la colocación de los altavoces tipo satélite.

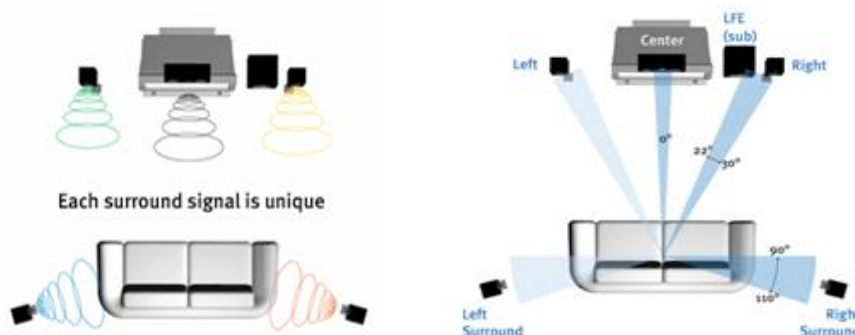


Fig. 3.6. Sistema de sonido envolvente

Los decodificadores poseen una salida analógica estéreo para los equipos que no dispongan de sonido multicanal. Esta salida ofrece la mezcla compatible con sonido estéreo o monofónico.

La información contenida en cada uno de los canales es distinta e independiente. Estos seis canales llamados “sistema 5.1” corresponden a 5 canales con todo el espectro de audio (izquierdo, derecho, central, posterior izquierdo y posterior derecho) y a un canal únicamente para sonidos de bajas frecuencias comprendidas entre 3 y 120 Hz que requiere de un altavoz especial llamado subwoofer.

## ➤ PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

El AC-3 es uno de los formatos denominados de compresión perceptual. Lo que hacen, básicamente, es eliminar todas las partes del video y sonido original, codificado analógicamente, que no pueda ser percibido por el ojo y oído humano. De ésta forma, se logra que la misma información sea de menor tamaño y por lo tanto ocupe mucho menos espacio físico.

Una vez lograda la compresión de la onda original, se puede añadir más información que antes no era posible:

- Más canales de audio que los típicos 2 del estéreo.
- Etiquetas de lengua del audio.
- Información para la corrección de errores.

Además, por cada canal se añade información que hace posible que suene de forma fiel a cómo fue creada por su autor.

### 3.1.4. ETAPAS DE CODIFICACIÓN

En la codificación con las correspondientes señales en H.264 (video) y AC-3 (audio), se pasa por unas etapas sucesivas. De todo el audio (onda original) cogemos un trozo definido. El proceso se va repitiendo hasta acabar con la onda, que se va transformando de forma secuencial.

Los datos de audio y video se pasan con la secuencia siguiente de procesos:

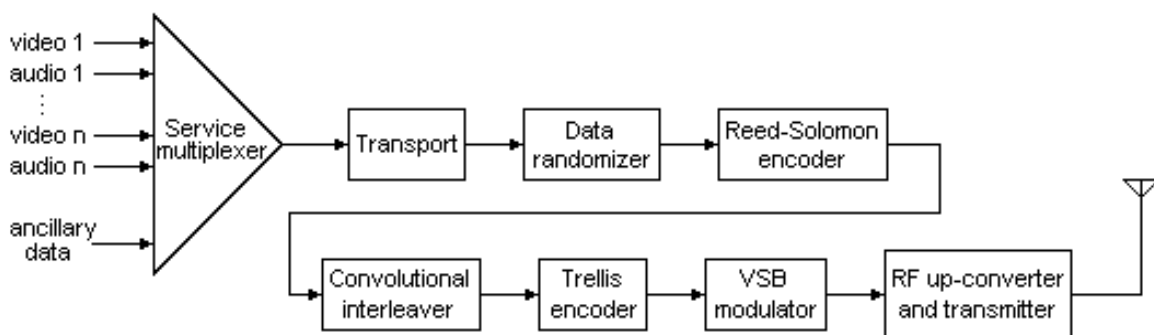


Fig. 3.7. Diagrama de un codificador ATSC

Todos estos pasos son reversibles. Para recuperar los datos originales el receptor debe invertirlos todos en orden inverso.

- **Multiplexor**

Esto produce una corriente de los paquetes de video que consisten en los datos de los paquetes de audio y de los paquetes auxiliares de los datos. Esta es una corriente del transporte MPEG 2 y es compatible con las corrientes producidas por DVD, el satélite y los sistemas de cable.

- **Transporte**

Los paquetes nulos se agregan a la secuencia de datos cuanto sea necesario para hacer la tarifa de datos a los 19.4 Mbps constantes. La secuencia de datos se divide en los segmentos de datos que tienen los 188 octetos largos. A esta salida se le llama carga útil.

- **Codificador de la Reed-Solomon**

Veinte octetos de la Reed-Solomon se agregan al final de cada segmento de datos, así que los segmentos ahora tienen 208 octetos. Estos octetos agregados están para la corrección de error de los datos corrompidos durante la transmisión. Esto también se llama la corrección de error Forward (FEC). El receptor puede corregir hasta 10 errores del octeto por el segmento de datos.

- **Entrelazado**

Los segmentos de datos se agrupan después en los grupos de 52 segmentos. Los octetos de cada segmento se mueven a diversos segmentos, distribuidos uniformemente entre el grupo de 52 segmentos.

- **Modulador de VSB**

Los 3 pedacitos de cada símbolo se convierten después en una señal de 8 niveles. Una sincronización de 4 símbolos se agrega a cada segmento.

## 3.2. FORMATOS DE IMAGEN PARA LA ALTA DEFINICIÓN

La alta definición ha tenido varios formatos durante mucho tiempo, y se han propuesto varios estándares. La industria del cine y la televisión está empezando a usar los formatos HDTV con el propósito de obtener altas resoluciones para mostrar las imágenes con la mejor calidad. Así, han consolidado el estándar de alta definición más común.

### 3.2.1. BARRIDO Y RESOLUCIÓN

La pantalla HDTV utiliza una proporción de aspecto 16:9. Los dos principales formatos de imágenes (1,920 píxeles x 1,080 líneas o 1,280 píxeles x 720 líneas) permite mostrar mucho más detalle en comparación con la televisión analógica o de definición estándar.

La resolución 1,920 x 1,080 suele estar en modo entrelazado, para reducir las demandas del ancho de banda. Las líneas son rastreadas alternativamente 60 veces por segundo, de forma similar al entrelazado a 60 Hz en NTSC. Este formato se denomina 1080i, o 1,080i60. En las áreas donde tradicionalmente se utiliza la norma NTSC a 60 Hz se utiliza 1,080i60.

También son utilizados los formatos de rastreo progresivo (*progressive scan*) con una velocidad de 60 cuadros por segundo. El formato 1,280x720 en la práctica siempre es progresivo (refrescando el cuadro completo cada vez) y es así denominado 720p. Varias televisoras americanas actualmente transmiten en 720p/60.

El ATSC tiene 18 diversos formatos. Todos los receptores de televisión deben poder recibir todos estos formatos y reproducirlos. La mayoría de los aparatos de televisión reproducirán solamente 1 o 2 de estos formatos, pero convertirán los otros. A continuación se mencionaran todos los formatos y después en el siguiente apartado, solo se explicarán a detalle los dos principales los cuales son:

1. Alta definición 1,920 x 1080 “Common Image Format” (HD-CIF)
2. Alta definición 1,280 x 720 “Progressive Image Sample Structure”

Los 18 formatos de resolución del sistema ATSC se demuestran en la tabla siguiente.

Formato	Horizontal (píxeles)	Vertical (píxeles)	Relación de Aspecto	Monitor interfaz	Formato nombre	Cuadros por segundo	Campos por segundo	Transmitido entrelazado	
ATSC	1,920	1,080	16:9	1,080i	1,080 60i	30	60	sí	
					1,080 30p	30	30	no	
					1,080 24p	24	24	no	
	1,280	720	16:9	720p	720 60p	60	60	no	
					720 30p	30	30	no	
					720 24p	24	24	no	
	704	480	16:9	480p	480 60p	60	60	no	
				480i	480 60i	30	60	sí	
					480 30p	30	30	no	
	704	480	4:3	480p	480 60p	60	60	no	
					480i	480 60i	30	60	sí
						480 30p	30	30	no
	640	480	4:3	480p	480 60p	60	60	no	
					480i	480 60i	30	60	sí
						480 30p	30	30	no
	NTSC	640	483	4:3	Nota	480 24p	24	24	no
						NTSC	30	60	sí

Tabla 3.2

Nota: Algunas personas se refieren a NTSC como 480i.

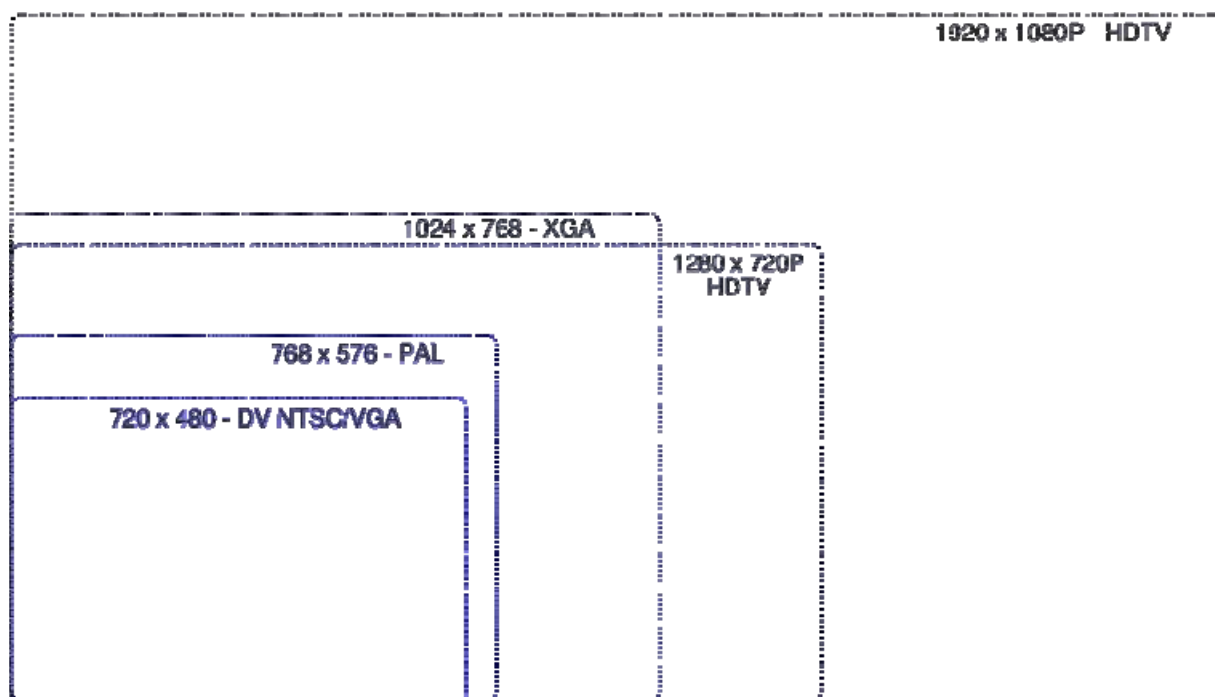
Los estándares HDTV han reconocido la convergencia entre la electrónica, la cinematografía y la industria informática, siendo una parte importante para la reproducción en modernas televisiones y producciones de cine.

Como se dijo anteriormente, existen dos formatos principales en alta definición (HDTV) que se distinguen por el número de píxeles y líneas. Una de las familias tiene 1,080 líneas activas de imagen mientras que la otra tiene 720 líneas. Cada familia define varias frecuencias de visualización o imágenes por segundo.

Una de las elecciones más importante de la alta definición, ha sido el escaneado entrelazado y progresivo. La HDTV admite ambos, reconociendo las ventajas de cada uno de ellos. La forma más común para referirse a un estándar de alta definición, es usar el número de líneas y la frecuencia de visualización. Por ejemplo, 1,080/50i y 720/60p se pueden usar para definir el estándar, donde el primer número indica siempre el número de líneas, el segundo número indica la frecuencia de visualización, y la “i” o la “p” indica si el escaneado es entrelazado (i) o progresivo (p).

Ya que existen múltiples formatos de diferentes sistemas de televisión y de la industria de la computación sería fácil distinguirlos con la fig.3.8.





**Fig. 3.8.** Gráfica que muestra las relaciones de pantalla y la resolución de los diferentes formatos para HDTV en comparación con NTSC.

### 3.2.2. PRINCIPALES FORMATOS DE HDTV

#### ➤ ALTA DEFINICIÓN 1,920 X 1,080 “COMMON IMAGE FORMAT” (HD-CIF)

Esta familia está definida internacionalmente por la SMPTE 274M y la subdivisión ITU-R BT.709-5. El estándar BT.709 define un formato de imagen y frecuencia de visualización, y todas sus variantes tienen 1,920 píxeles horizontales y 1,080 líneas activas de imagen.

Con una relación de aspecto 16:9 y siendo el píxel cuadrado, ( $1,080 \times 16/9 = 1,920$ ) encaja en el mundo informático. El formato HD-CIF de 1,920 x 1,080 contiene 2.07 millones de píxeles en una sola imagen de televisión (comparado con los cerca de 400,000 píxeles de una imagen PAL o NTSC). Así, el aumento potencial de resolución es de un factor de casi cinco veces.

Las variantes se refieren a las diferentes frecuencias de visualización, y la forma en que las imágenes son capturadas; de forma progresiva o entrelazada. La SMPTE define once formatos de escaneado de HDTV 1,920 x 1,080, ocho de ellos progresivos y tres entrelazados.

La ITU, ahora en su quinta revisión, define diez sistemas de escaneado, ocho progresivos y dos entrelazados. Estos incluyen 25 fps (frames per second) para Europa, 30 fps para Estados Unidos y Japón y 24 fps para la industria cinematográfica.

El formato común de imagen (CIF) facilita el intercambio de programas entre diferentes entornos y hace posible que cualquier equipamiento pueda trabajar en cualquier entorno. Como tal, este es un gran paso adelante comparado con los sistemas actuales totalmente incompatibles.

## ➤ RECOMENDACIÓN ITU-R BT 709-5

El punto principal está en la segunda parte del documento, ya que la primera parte, que definía los sistemas originales de alta definición, está descatalogado.

El formato común de imagen (CIF) está definido “para tener un parámetro de imagen común, independiente de la frecuencia de la imagen”. Los parámetros claves son el sistema de escaneado y la colorimetría. Las distintas frecuencias permitidas son las de la tabla 3.3.

Sistema	Captura	Escaneado
24p, 25p, 30p, 50p, 60p	1,920 x 1,080 progresivo	Progresivo
24psf, 25psf, 30psf	1,920 x 1,080 captura progresiva	Cuadro segmentado
50i, 60i	1,920 x 1,080 entrelazado	Entrelazado

**Tabla 3.3**

El sf (*Segmented Frame* o Cuadro Segmentado) es una forma de transportar una imagen progresiva en dos segmentos, así esa señal se ve igual a los dos campos de una imagen entrelazada.

En post-producción se necesitará trabajar en ambos formatos de señal, tanto en entrelazado como en progresivo, durante un cierto tiempo. Uno de los problemas para monitorizar los nuevos formatos de señal, como el 24p, es el parpadeo (flicker) inducido en los monitores de televisión TRC. El segundo es el procesamiento de las imágenes progresivas (la mayoría de los monitores de televisión TRC muestran las imágenes de forma entrelazada). El formato de cuadro segmentado permite usar los mismos sistemas electrónicos para imágenes progresivas y entrelazadas, y visualizarlas correctamente sobre monitores de TRC. No hay cambios en la característica de la imagen progresiva, y sólo se usa para frecuencias de hasta 30fps. Tampoco hay problemas para monitorizar la señal con los nuevos visualizadores planos, tanto de LCD o de plasma.

## ➤ ALTA DEFINICIÓN 1,280 X 720 PROGRESSIVE IMAGE SAMPLE STRUCTURE

Definido internacionalmente por la SMPTE 296M, aunque no por la ITU, es una familia que incluye ocho sistemas de escaneado (todos en formato progresivo) teniendo todos una resolución de 1,280 píxeles horizontales y 720 líneas activas. Proporciona 921,600 píxeles en una imagen, pero al estar definido como un formato de imagen sólo progresivo, acarrea algunas implicaciones.

Las frecuencias de visualización son 23.98p, 24p, 25p, 29.97p, 30p, 48p, 50p, 59.95p y 60p.

Sistema	Captura	Escaneado
24p, 25p, 30p, 50p, 60p	1,280 x 720 progresivo	Progresivo
23.98p, 29.97p, 59.94p	1,280 x 720 progresivo	Progresivo compatible NTSC

**Tabla 3.4**



## ➤ ESTÁNDAR DE ESCANEEO (PROS Y CONTRAS)

### • Formatos entrelazados

- No son concordantes con los dispositivos de visualización modernos. Todos los monitores de pantalla plana están orientados a ser progresivos
- Han sido desarrollados específicamente para monitores CRT a fin de incrementar la resolución subjetiva
- Los aparatos de pantalla plana que utilizan señales entrelazadas requieren de un convertidor progresivo, el cual generalmente se traduce en una resolución pobre.
- No comprime tan bien con los nuevos y eficientes sistemas de compresión.

### • Formatos Progresivos

- Guían a conversiones simples
- Una codificación más eficiente
- Requieren una menor velocidad de transmisión de datos sin mermar su performance

## 3.2.3. FORMATO DE CONVERSIÓN DE IMAGEN

### ➤ CONVERSIÓN DE FORMATO

Las conversiones de formato de imagen pueden darse en la planta de producción y en el receptor ATSC. El material del programa que se origina en formato 4:3 se convierte a 16:9 para la distribución de programas. Igualmente, los programas que se originen en el formato 16:9 serán convertidos a 4:3 para la transmisión NTSC durante el período de desfase. El receptor ATSC debe convertir varias imágenes y formatos de escaneo a formatos de origen.

Los dos formatos de escaneo HDTV (1,920x1,080 y 1,280x720) se relacionan a una razón de 3:2 y un simple factor de interpolación se usa para convertir uno en otro. Una relación de 2:1 existe entre píxel y las especificaciones de línea de 1,280 x 720 y el formato de escaneo VGA 640 x 480, siendo el primero de 16:9 y el segundo de 4:3.

El formato de escaneo 1,920 x 1,080 puede realizarse duplicando la resolución espacial de CCIR-601 y adaptándola a la relación 16:9, lo que lleva a 1,920 muestras por línea horizontal. Debido a que el formato CCIR-601 no tiene píxeles cuadrados ( $4/3 \times 480/720 = 0.88$ ), el número de líneas se calcula como sigue así  $480 \times 2/0.88 = 1,080$  líneas.

Otro formato de video posible que se utiliza en la generación de imágenes en las computadoras es el formato 1,440 x 1,080 (4:3). Ambos tienen píxeles cuadrados, pero la diferencia está en la relación de barrido. El formato 1,440 x 1,080 es parte del estándar MPEG 2 y puede ser Up Convert a 1,920 x 1,080. La Down Convert a 720 x 480 se efectúa dividiendo los píxeles horizontales por 2 y haciendo lo mismo con líneas verticales como sigue  $(1,080/2)(4/3)(480/720)=480$ .

Los programas digitales HDTV basados en el estándar SMPTE 260M tienen un formato activo de imagen de 1,920 x 1,035 píxeles. Un interpolador puede usarse para convertir este formato al formato ATSC 1,920 x 1,080.

## ➤ CONVERSIÓN DE RELACIÓN DE IMAGEN

La conversión de relación de aspecto de 4:3 a 16:9 se realiza con dos métodos que resultan en dos diferentes imágenes desplegadas. La imagen original en 4:3 se ensancha por un factor de 1.33 ( $16:9/4:3$ ) en las direcciones horizontal y vertical. El mosaico de 16:9 se logra extrayendo 362 líneas ( $483 \times \frac{3}{4}$ ) de la imagen original 4:3 y desplegándolas en el barrido de 16:9 como 483 líneas. Una conversión electrónica realiza la expansión de 362 líneas a 483 líneas usando el proceso de interpolación vertical. Esto resulta en una pérdida de resolución vertical de imagen de aproximadamente 25%.

La interpolación vertical se puede efectuar procesando cada campo de la señal entrelazada, pero degradaciones en los contornos diagonales reducen la calidad de la señal interpolada. Esta interpolación vertical entre campos es fácil de implementar. Una más precisa y compleja interpolación vertical comprende varios pasos, como la conversión de escaneo entrelazado a progresivo, una interpolación vertical en cada mosaico y un sub muestreo de la señal interpolada progresivamente para guardar la estructura entrelazada.

El segundo método de conversión es insertar la imagen original 4:3 dentro del barrido de 16:9. Esto resulta en dos laterales negros. Los 720 píxeles horizontales de una imagen 4:3 se deciman para que quepan en los 540 píxeles del barrido de 16:9. Este método no requiere una memoria de mosaico y es fácil de implementar, aunque investigaciones sobre preferencias de opinión indican poco interés en este método.

Dos soluciones se pueden usar para resolver el aspecto de conversión. En la primera solución, la imagen original 16:9 se corta en ambos lados para extraer la ventana principal que cabe en el barrido 4:3. Una interpolación de píxel horizontal se efectúa para expandir de 540 a 720 píxeles. Dos memorias de línea se necesitan para ejecutar esta conversión. Sin embargo, esta solución de la ventana principal puede no ser lo suficiente ancha para reproducir dos áreas interesantes localizadas a ambos lados de la imagen original en 16:9. Esta información puede ser brindada campo por campo en la transmisión de datos de video codificados para ser usados por el receptor de televisión.

La segunda solución es la "caja de letras", ya que la imagen original de 16:9 se comprime verticalmente a 362 líneas y resulta en dos barras negras en la parte superior e inferior del barrido 4:3.

### 3.3. TRANSMISIÓN DE HDTV

La tecnología digital revitaliza la vieja aspiración de subir la calidad del estándar. Permite, gracias a la compresión, bajar el ancho de banda necesario para la emisión. Hoy en día se hace sobre todo por satélite pero el cable y la TDT (Televisión Digital Terrestre) son una opción asequible para el futuro. En Estados Unidos cien cadenas emiten ya en Alta Definición, especialmente eventos deportivos en Pay Per View (Pago por Visión). En Europa hace dos años que empezó la emisión de Euro 1,080, un nuevo canal de HD. Es el primero que aparece con 1,920 por 1,080 píxeles, cumpliendo la normativa europea de compresión estándar. Éste se emite por el satélite europeo ASTRA y tiene un canal convencional y otro de eventos para Pay Per View.

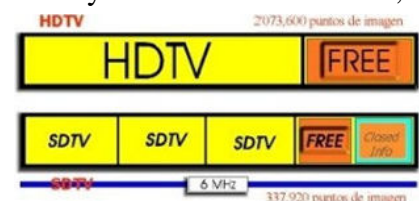


Fig. 3.9. Canal de 6 MHz

Actualmente, los canales de 6 MHz pueden transmitir a 19.4 Mbps de velocidad de transmisión de datos. Dada la flexibilidad de los estándares existentes, un broadcaster podría incluso mezclar programas de alta y baja densidad de datos y transmitirlos simultáneamente como subcanales de SDTV.

En consecuencia, la televisión digital posibilita a los broadcasters expandir su oferta de programación y servicios, brindándoles nuevas fuentes de ingresos y la posibilidad de competir con operadores de televisión por pago en la provisión de dichos servicios. Para los efectos de ofrecer pay-broadcast se requerirán sistemas de acceso condicional similares a los de la televisión por cable y los sistemas satelitales.

En la actualidad los tres medios por donde se transmite la televisión digital, y por consiguiente HDTV, de manera comercial son el satelital, vía cable y la TDT. También hay un cuarto medio que se está probando en diferentes países: el ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line* o Línea de Abonado Digital Asimétrica). Sus características se muestran, individualmente, en la tabla 3.5.

	Satélite	Cable	TDT	ADSL
<b>Implantación</b>	Fácil / Rápida	Difícil / Costosa	Fácil / Rápida	Fácil / Rápida
<b>Cobertura</b>	Continental	Local	Local	Local
<b>Ancho de banda</b>	Gran capacidad	Gran capacidad	Limitado	Limitado
<b>Contenidos</b>	No permite información local	Información local	Información local	Información local
<b>Canal de retorno</b>	Limitado(Teléfono, 56 Kbps)	Ilimitado 50 MHz a +300 Mbps)	Limitado(teléfono, 56 Kbps)	Amplio, (hasta 2Mbps)

Tabla 3.5

### 3.3.1. TRASMISIÓN DE HDTV EN MÉXICO

La compañía de televisión mexicana Televisa empezó a hacer emisiones experimentales en HDTV a principio de los años 90 en colaboración con la compañía japonesa NHK. Al día de hoy ya hay algunos programas en HDTV, pero su uso es realmente limitado.

Durante la primera mitad de 2005, al menos un proveedor de cable en la Ciudad de México, Cablevisión, empezó a ofrecer cinco canales en HDTV a los suscriptores que compraran un DVR (*Digital Video Recorder* o Grabador Digital de Video).

Televisión Azteca transmite desde el 2005 los canales 24 y 25 de televisión abierta con señal HDTV.

En Monterrey las cadenas Televisa, Multimedia y TV Azteca emiten en señal abierta sus señales en HDTV. En Ciudad Juárez y en la ciudad de México, se emite señal abierta de las cadenas TV Azteca y Televisa. Como se menciona al principio de este capítulo el estándar seleccionado para la transmisión de estas señales fue el americano ATSC.

## ➤ CANALES DE HDTV EN MÉXICO

- XHDF-TV Canal 13 y 25 de UHF en HDTV Cd. de México, D.F.
- XHIMT-TV Canal 7 y 24 de UHF en HDTV Cd. de México, D.F.
- XEQ-TV Canal 9 y 44 de UHF en HDTV Cd. de México, D.F.
- XEW-TV Canal 2 y 48 de UHF en HDTV Cd. de México, D.F.
- XHGC-TV Canal 5 y 50 de UHF en HDTV Cd. de México, D.F.
- XHTV-TV Canal 4 y 49 de UHF en HDTV Cd. de México, D.F.

### 3.4. DISPOSITIVOS DE RECEPCIÓN DE HDTV

La transición de DTV es un reto grande, pero no es el primer cambio a la señal de la televisión. En 1946, el Comité del Sistema estándar de Televisión Nacional (NTSC) comenzó a fijar los estándares para la difusión americana. En 1953, los estándares de NTSC cambiaron para permitir la televisión a color y, en 1984, cambiaron para permitir el sonido estereofónico.

Esos cambios eran diferentes del salto a DTV porque eran compatibles con los aparatos existentes ya que se podría ver la nueva señal en una vieja televisión. Con DTV, se necesitó de un equipo nuevo y el equipo que se elija afectará en la recepción y visualización de video en alta definición.

Ahora, con HDTV, cuando se planea comprar un receptor de alta definición se debe tener presente que HDTV requiere tres componentes:

- Una fuente como una emisora local, por cable o un servicio satelital de HDTV.
- Una manera de recibir la señal, como una antena, un cable o un servicio satelital que incluya HDTV.
- Un sistema de HDTV

Un HDTV integrado, que tiene un sintonizador digital, también conocido como sintonizador de ATSC integrado. Si una estación cerca del hogar está difundiendo en HDTV, puedes conectar una antena a un sistema integrado y mirar la estación en “alta definición”.

Un sistema HDTV listo, o sea un monitor de HDTV, el cual no tiene un sintonizador de HDTV, tiene a menudo sintonizadores de NTSC, así que se puede seguir viendo la señal análoga con ellos. Ésta es la opción para quien desea tener capacidad de ver HDTV posteriormente, pero no se ajusta ahora para la situación financiera de algunas personas. La calidad de imagen todavía será mejor que en la vieja TV, pero no será de alta definición hasta que se implante el sistema transmisor de HDTV en la zona.

Diseñar y construir un sistema HDTV que pudiera exhibir todos los formatos de ATSC sería virtualmente imposible. Por esta razón, los aparatos HDTV tienen una o dos resoluciones nativas. Cuando la TV recibe una señal, escalará la señal a modo de emparejar su resolución nativa y de desentrelazar la señal en caso de necesidad. Una buena regla es elegir un sistema que tenga una resolución nativa igual a las señales que planeas utilizar.

Si se recibe una señal que tenga una resolución perceptiblemente más baja que la pantalla puede exhibir todos los pixeles adicionales en tu equipo, pero no ayudarán para que se vea mejor. Esta es la razón por la cual algunas personas se han consternado ya que han comprado HDTV de alta calidad de imagen y la señal análoga existente no tiene suficiente detalle para verse bien en un sistema de alta definición. Cuando las emisoras cambien a una señal digital de alta definición, este problema mejorará substancialmente.

Muchos receptores HDTV tiene conexiones digitales HDMI (*High Definition Multimedia Interface* o Interfase Multimedia de Alta Definición), que pueden transmitir señales audiovisuales a la televisión sin compresión. En algunos casos, se puede utilizar los adaptadores para hacer el equipo compatible con el sistema.

Una vez que se ha comprado el sistema y se haya instalado en el hogar, se necesitará conseguir una señal. Para conseguir una señal, se puede utilizar lo siguiente:

**Una antena.** Dependiendo de la localización concerniente a las estaciones que se desea sintonizar, puede ser que se necesite una antena de tejado o de ático. Se puede comprar una antena que se haga especialmente para las señales digitales, pero cualquier antena confiable de VHF/UHF funcionará.

**Cable.** Hay que tener presente que el cable digital no es igual que HDTV. Se necesitará comprobar con tu proveedor para determinar qué paquetes incluyen estaciones de HDTV. También una caja de cable o un CableCARD™ para permitir que tu televisión reciba y descifre la señal del cable.

**Servicio satelital.** Como con el cable, se consultará con el proveedor para determinar qué planes incluyen señales de HDTV. Se puede necesitar una antena satelital diferente, dependiendo de los satélites y el sintonizador de señales de HDTV vía satélite.

### 3.4.1. LEYENDAS DE LOS RECEPTORES DE HD COMERCIALES

A la hora de comprar un receptor de televisión de HD hay que tener en cuenta sus características de operación. Entre las cuales se destacan las siguientes.

#### ➤ TELEVISORES CON ETIQUETA HD READY

La “*European Information & Communications Technology Industry Association*” ha anunciado una etiqueta estándar para todos los dispositivos de visualización que sean compatibles con la Alta Definición (HD Ready) tales como televisores, pantallas de plasma, LCD, proyectores, retroproyectores y monitores.



Fig.3.10. Etiqueta estándar HD Ready

La etiqueta “HD ready” está soportada por todos los miembros de la EBU (*European Broadcasting Union*) y proporciona al consumidor la garantía que el dispositivo visualizador que compro a determinado fabricante, sea compatible con las emisiones actuales y las futuras emisiones en HDTV.

- **Recepción y visualización HD.**

La fig.3.11 ilustra la cadena de recepción y visualización en HD. Consiste en un sintonizador HD (satelital, vía cable o terrestre) llamado STB (Set Top Box), y un visualizador HD, o de una televisión integrada HDTV, que combina alguna o todas las partes del dispositivo. La etiqueta “HD ready” sólo se refiere al visualizador HD.

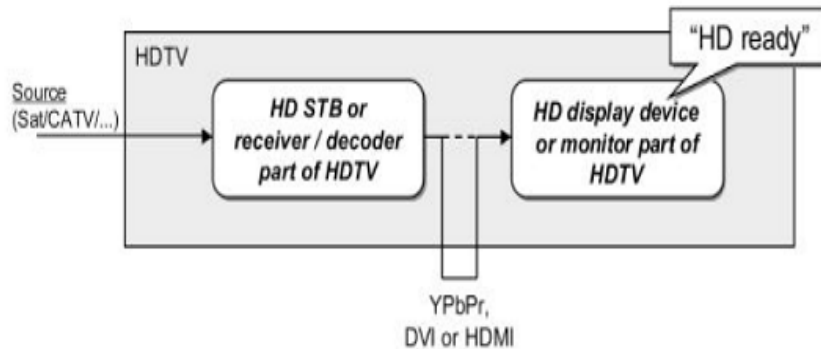


Fig.3.11. Diagrama de un receptor con HD Ready

- **Requerimientos para la etiqueta “HD ready”**

**Visualizador.** La resolución nativa mínima del dispositivo visualizador (LCD, plasma, etc.) será de 720 líneas físicas en formato 16:9.

**Interfaces de Video.** Conexión analógica por componentes Y, Pb, Pr, y conexión digital por DVI (*Digital Video Interface* o Interfase de Video Digital) o HDMI (*High Definition Multimedia Interface*). La entrada DVI o HDMI ha de soportar la protección de contenidos HDCP (*High Bandwidth Digital Content Protection* o Protección de Contenidos Digitales de Banda Ancha). Las entradas HD aceptarán los siguientes formatos de video HD:

- 1,280x720 a 50 y 60Hz con exploración progresiva (720p)
- 1,920x1,080 a 50 y 60Hz con exploración entrelazada (1,080i)

➤ **TELEVISORES CON ETIQUETA HDTV**

La “European Information & Communications Technology Industry Association”, ha anunciado oficialmente el logo "HDTV". El logo de la fig.3.12 indicará que un dispositivo podrá recibir y procesar señales de televisión en alta definición.



Fig.3.12. Logo HDTV

El logo se mostrará en un amplio abanico de dispositivos digitales capaces de recibir y procesar señales de televisión en alta definición procedentes de cadenas de emisión de televisión terrestre, por cable, por satélite o de señales grabadas. Esto incluirá los receptores de sobremesa, reproductores y/o grabadores de DVD y televisiones o monitores con receptores digitales integrados, ya sean de cable, TDT o satélite.



### 3.4.2. SINTONIZADOR DE ATSC

Un sintonizador de ATSC es un dispositivo que se utiliza en la recepción de las señales DTV, incluyendo señales de HDTV. En la fig.3.13 se observan los bloques del sintonizador de ATSC los cuales se describen a continuación.

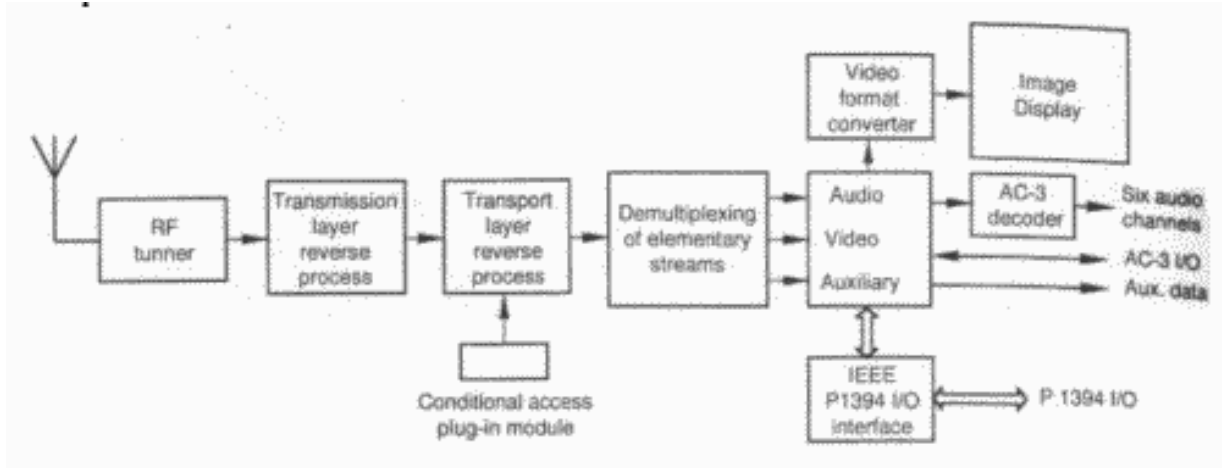


Fig.3.13. Diagrama a bloques de un sintonizador de HDTV

- **Demodulación**

El bloque de demodulación cumple la función de captar la señal de las vías aéreas la cual es transformada en una señal usable que el aparato de televisión pueda utilizar para exhibir imágenes y sonidos de calidad.

- **Demultiplexado de la corriente de transporte**

En la transmisión las señales numéricas múltiples se combinan y después se transmiten. El receptor de ATSC debe ser capaz de demultiplexar la corriente de transporte y exhibirla en el aparato de televisión.

- **Descompresión**

Puesto que también se comprime la señal numérica que se difunden sobre el aire una vez que sean recibidos por el sintonizador de ATSC, estos paquetes comprimidos de datos digitales se desempaquetan a su tamaño original.

- **Corrección de error**

La corrección de error es una tecnología que es utilizada por el sintonizador de ATSC para cerciorarse de que cualquier dato que falte puede ser corregido. Por ejemplo, cuando hay interferencia en una señal se provoca pérdida de información, la cual el sintonizador de ATSC recibe; con la corrección de error, el sintonizador tiene la capacidad de realizar un número de chequeos y reparar la información perdida para poder verla en el televisor.

- **Conversión A/D**

En el contexto de un sintonizador de ATSC decimos que señal análoga que se propaga sobre el aire es recibida por este y la convierte a una señal numérica que se pueda ver en el aparato de televisión digital.

- **Sistema de pesos americano de sincronización**

Consiste en la coordinación de señales audio y video que son exhibidas en el televisor digital en tiempo apropiado. El sistema de pesos americano de sincronización se cerciora de que el sonido no se retrase con el video o viceversa.

### 3.5. EL SISTEMA ATSC

En cuanto a transmisión terrestre se refiere, el estándar ATSC define el contenido de la secuencia de bits, su transporte y transmisión digital RF en un ancho de banda de 6 MHz. El sistema ATSC usa múltiples formatos de transmisión como en la compresión de audio y video digital, empaquetamiento de datos y nuevas técnicas de modulación de señales RF. El empaquetamiento permite al video, al audio y datos auxiliares separarse en unidades de tamaño determinado para correcciones de errores lineales, multiplexación del programa, sincronización de tiempo y flexibilidad. En los siguientes renglones se darán a conocer detalladamente sus características pero mientras tanto se mencionan a manera de resumen en la tabla 3.6.

Parámetros	Características
Video	Escaneo múltiple. Compresión MPEG-2, de MP@ML a MP@HL
Datos Complementarios	Servicios adicionales (guía de programa, información del sistema, V-chip, transferencia de data al computador, etc.)
Transporte	Empaquetamiento de datos. Programas Múltiples Protocolo de transporte MPEG-2
Transmisión RF	Modulación 8-VSB para transmisión terrestre

Tabla 3.6

El sistema de transmisión ATSC se ha implementado en base a 5 subsistemas:

1. Codificación y compresión de video y audio
2. Canal de datos complementarios
3. Multiplexación y transporte del programa
4. Transmisión RF
5. Receptor



### 3.5.1. ANTECEDENTES DEL SISTEMA

En 1935, cuando el sistema de televisión prevaleciente era el de 30 líneas y 12 cuadros por segundo, de alta definición fueron las 343 líneas y 30 cuadros por segundo propuestos por David Sarnoff, de la RCA. En la Inglaterra de la preguerra, fueron las 405 líneas, y luego las 525 líneas anunciadas en la Feria Mundial de Nueva York en 1939. Al aparecer la tecnología del color en NTSC, ésta se anunció como "el sistema de televisión de color de alta definición" y posteriormente en Europa, la televisión de alta definición fue la de 625 líneas. De lo anterior se deduce que el término televisión de alta definición, siempre ha sido sinónimo de "la mejor calidad alcanzable en función del estado del arte de la tecnología presente".

Después de años de investigación, la NHK (*Nihon Hikikomori Kyodai*) única corporación de radiodifusión pública en Japón, desarrolló el primer sistema moderno de televisión de alta definición, de pantalla ancha de 1,125 líneas con barrido de imagen de 60Hz, logrando igualar la calidad cinematográfica de la película de 35mm. Conforme aumentaba el interés por la alta definición, en 1987 la FCC (*Federal Communications Commission* o Comisión Federal de Comunicación) de los Estados Unidos, propició la formación de la ACATS (*Advisory Committee on Advanced Television Services* o Comisión Asesora sobre el Servicio de la Televisión Avanzada), encargada de seleccionar un sólo estándar para un sistema de alta definición capaz de ser transmitido en forma simultánea con la señal NTSC vigente, y por tanto restringida al esquema de utilización de canales de 6 MHz de ancho de banda.

El sistema de televisión de alta definición HDTV propuesto tendría dos modalidades principales las 1,080 líneas activas con 1,920 píxeles cuadrados por línea, con barridos entrelazados de 59.94 y 60 cuadros por segundo y 720 líneas activas, con 1,280 píxeles por línea, con barridos progresivos de 59.94 y 60 cuadros por segundo. Ambos formatos operarían igualmente con barridos progresivos de 30 y 24 cuadros por segundo, para la transmisión de programas filmados.

El sistema de la Gran Alianza emplea compresión de video y sistemas de transporte MPEG-2, audio Dolby Digital (AC-3) y modulación 8-VSB en banda lateral vestigial. Con ello se desarrolló un sistema de pantalla ancha, con relación de aspecto de 16:9, con cinco veces más calidad de imagen que la televisión de definición estándar de 480 líneas activas y relación de aspecto de 4:3, todo ello comprimido en un canal estrecho de televisión de 6 MHz de ancho de banda. A pesar de haberse logrado esta proeza de la ingeniería electrónica, la FCC cedió ante los intereses de la industria de la computación, y solicitó en 1995 que se incluyeran en el estándar digital varios formatos menores de televisión de definición estándar.

Finalmente, el 24 de Diciembre de 1996, el gobierno norteamericano aprobó como norma obligatoria para la transmisión terrestre digital y de alta definición, la norma para SDTV y HDTV de la ACATS, documentada por el ATSC (*Advanced Television System Committee* o Comité de Sistemas de Televisión Avanzada). Esta norma, conocida como la norma ATSC, dejó fuera lo referente a la imposición del tipo de barrido (sólo progresivo o sólo entrelazado), en aras de lograr una vez más el consenso con el grupo de interés de la industria de la computación.

A partir de la adopción de la norma ATSC, el organismo gubernamental encargado de la asignación del espectro en los Estados Unidos, acordó iniciar la asignación gratuita de canales digitales a todos los concesionarios de canales de televisión analógica, con el fin de estimular la transmisión digital simultánea de programación.

Con la Norma ATSC, será necesario tomar decisiones acerca de la calidad de la imagen que será transmitida al usuario, esto es, si se le enviará un determinado programa en definición estándar SDTV, aprovechando el canal digital para el envío de varios programas simultáneos en modo "SDTV múltiplex", o si se le enviará con la máxima calidad disponible de alta definición



**Fig.3.14.** Logotipo de ATSC

### 3.5.2. LA CONFUSIÓN

Al igual que una videocasetera, un decodificador de cable o de televisión vía satélite (Direct to Home), convierte las señales digitales al dominio analógico y a una frecuencia VHF; también puede emitir la señal que recibe del cable coaxial o del satélite a través de cables separados para audio y video, conocidos como RCA, que tiene mucha calidad; lo anterior se da siempre y cuando esta última tenga la capacidad de recibir directamente audio y video compuesto, funcionalidad que es fácil de detectar si la televisión tiene el sintonizador de canales y un selector de TV/VIDEO.

Sin embargo, esto no es televisión 100% digital; en efecto, la antena recibe señales digitales. Puede ser que el proceso de producción desde estudios sea digital, desde la captura de la imagen por las cámaras, la masterización, grabación y emisión hacia el satélite, pero de nuevo vuelve a ser analógica al momento que sale de un decodificador de una casa y se modula en el canal, por consiguiente sale de cables de audio y video compuesto.

El sistema ATSC ofrece varias ventajas con respecto a la de los estándares europeo y japonés, de forma resumida las características de ATSC, de forma ilustrativa, se citan en la fig.3.15.

### 3.5.3. ATSC vs DVB

- **Recepción fija al hogar en entornos reales**

El sistema DVB es el menos eficiente de recepción fija al hogar ya que su aparente flexibilidad, desplegada en entornos reales, no le permite manejar cargas útiles iguales a las de ATSC. Todos los despliegues informados en su página Web acreditan que la aparente flexibilidad les sirvió para ajustar todos los parámetros por debajo de ATSC. Por ejemplo, para manejar ruidos impulsivos urbanos y señales de múltiples trayectos en España, DVB-T han debido ajustar su carga a 19.9 Mbps en 8 MHz que equivale a 14.9 Mbps en 6 MHz, perdiendo un 23% de carga útil con respecto al ATSC, además de su menor cobertura con transmisores de igual potencia.

Otra deficiencia del sistema DVB es que no soportan alta definición con su modelo de negocio actual y no se podría soportar en la canalización de 6 MHz por limitaciones técnicas, al tener mucha menos capacidad de transportar las mismas cargas que ATSC, por lo que esperan la disponibilidad del formato de compresión MPEG-4 que, una vez probado y maduro en su funcionamiento, les provea casi las mismas prestaciones que hoy ya tiene ATSC.

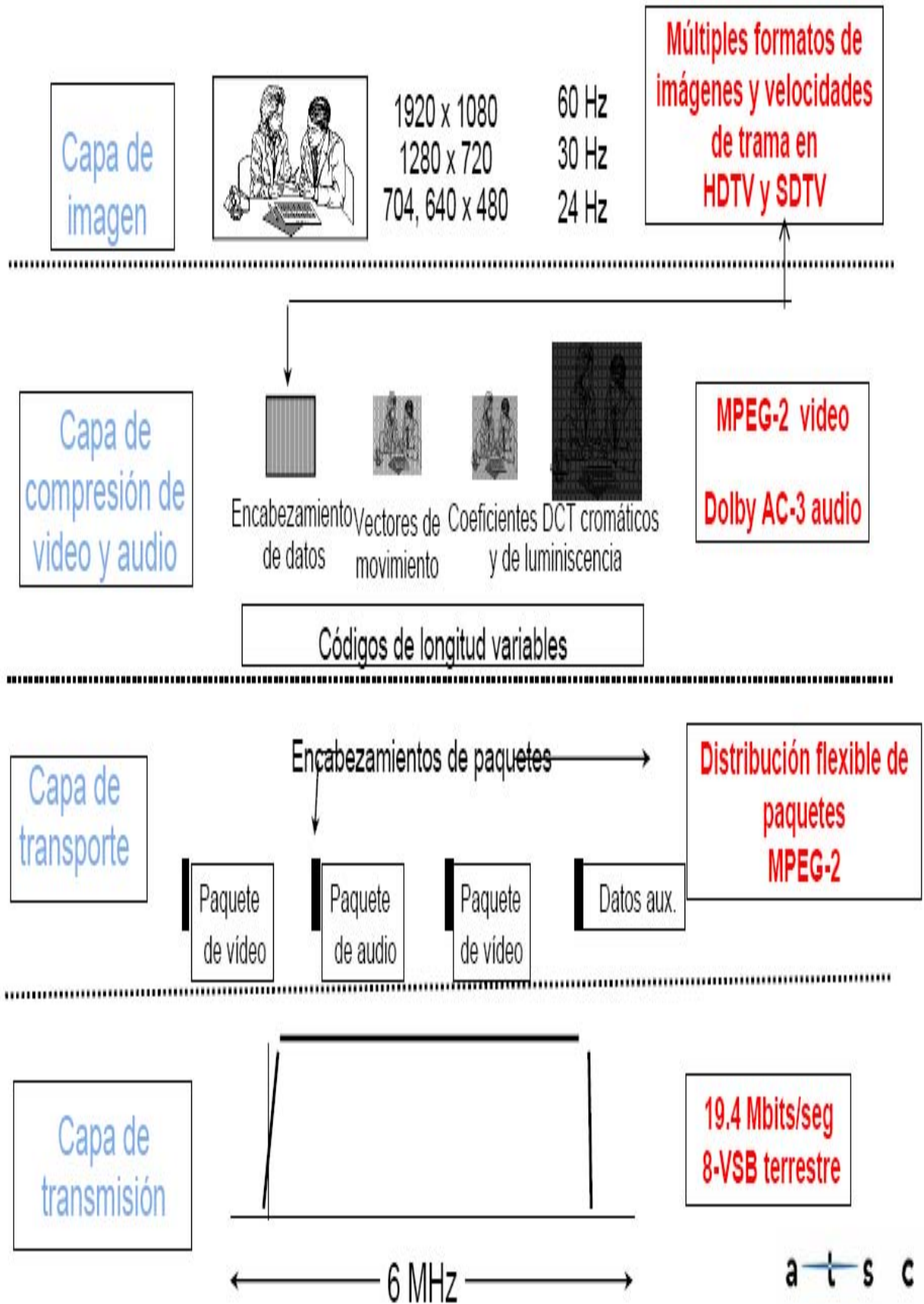


Fig. 3.15. Especificaciones del ATSC según el modelo OSI

Hoy un receptor externo con HD MPEG-2 en ATSC tiene un precio promedio de \$130 dls y un receptor en HD MPEG-4 para plataformas Premium cuesta \$450 dls. Seguramente, cuando un receptor HD MPEG-4 cueste \$100 dls el HD MPEG-2 costará \$20 dls.

El sistema DVB propone darle a la gente solo SDTV para poder vender los receptores a \$50 dls y esperar que baje el precio de los receptores en alta definición en MPEG-4, argumentando que esta es la compresión del futuro, tratando así de ocultar los errores del pasado, verificados en la fuerte limitación de su forma de transmisión enmascarada en su aparente flexibilidad.

El ATSC en 6 MHz tiene una carga útil de 19.4 Mbps en MPEG-2 MP @ HL en receptores con un costo de \$130 dls, más receptores de bajo precio de \$50 dls con salida en analógico con mucha mayor cobertura y no penaliza al radiodifusor privándolo de emitir en alta definición ya que le permite solventar con anunciantes su pantalla y mantener el servicio de televisión libre gratuita a toda la población en su área de cobertura.

En DVB-T con 6 MHz tiene una carga variable, pero en condiciones reales aproximadamente es de 14.9 Mbps, existente solo en definición estándar, deben esperar la disponibilidad industrial masiva de receptores en HDTV en MPEG-4 HP @ L4 cuyos precios actuales, para servicios Premium de plataformas de pago, son de \$450 dls, debiendo ampliar su cobertura con repetidoras, y penalizando al radiodifusor privándolo de una herramienta de competencia como lo es la alta definición.

Esto significa que, por la fuerte limitación en su cobertura e inmunidad al ruido en múltiples trayectos, en un futuro con MPEG-4, DVB-T se parecerá en algo a la solución actual de ATSC.

- **Televisión por aire y cable como servicio complementario**

La respuesta industrial bajo la norma ATSC, para mantener el principio de antena comunitaria de cable, contempla que los receptores integrados (con pantalla incluida) de venta libre, como también los receptores externos, tengan los sintonizadores digitales de aire ATSC y de cable SCTE (*Society of Cable Telecommunications Engineers*). Esto es posible porque ambas formas de transmisión son muy parecidas, incluso la misma norma ATSC de aire puede ser distribuida por el cable aún si este no se digitalizó o usa una norma de cable digital distinta al SCTE.

Esto a diferencia de la norma DVB-T que no puede complementarse con el cable por su forma de transmisión, incluso si el cable usara DVB-C, ya que ambas transmisiones son muy distintas. Tampoco hay respuesta industrial masiva a la integración de receptores de aire y cable por ser tecnologías creadas para plataformas que compiten.

La falta de complementación bajo la norma DVB –T con otras plataformas, tal como es el modelo complementario de aire y cable de nuestra región, condicionará el servicio de la televisión de acceso libre y gratuita en los hogares ya que los operadores de cable tendrán que poner un receptor propio para que la gente pueda ver los canales digitales de aire.

Al tener que poner un dispositivo extra entre la conexión del cable y el televisor, que en la recepción de televisión libre y gratuita analógica no existe, se pierde el principio de antena comunitaria, a la vez que mejora la posición del operador de cable al facilitársele el ingreso de un nuevo dispositivo en el hogar para ofrecer otros servicios y mejorar su ecuación de negocio.

- **Redes de frecuencia única en ATSC**

Hoy DVB acepta que ATSC maneja redes de SFN (*Single Frequency Network* o Redes de Frecuencia Única). Costó convencerlos y llevó varias presentaciones conjuntas para que al final sea aceptado.

- **Interactividad en ATSC**

ATSC y Cable Lab han armonizado una única plataforma interactiva para los televisores de venta libre, de forma tal que ambas plataformas mandan en forma separada información que es interpretada por el mismo televisor.

Datacasting es otro servicio de envío de datos a PC's a través del canal de televisión que sirve para descargar información educativa en colegios, escuelas, universidades, como también a servicios públicos, áreas de gobierno, alertas comunitarias, sin tener que contar con conexiones de banda ancha de precios y accesos no siempre disponibles.

- **Recepción fija y móvil en el mismo canal**

Para recepción fija y móvil, DVB ofrece el sistema menos eficiente, ya que obliga al radiodifusor a reducir su carga útil total a 12 Mbps para dar un servicio de este tipo, a diferencia de ATSC, donde miembros de empresas han trabajado técnicamente en esta solución para que el radiodifusor pueda dar un servicio móvil sin tener que reducir tan drásticamente su carga útil

### 3.6. VENTAJAS Y APLICACIONES DE LA HDTV

Son múltiples las ventajas que existen al tener un sistema de televisión digital y más aun, de alta definición, algunos de estos los contemplaremos en los siguientes temas así como algunas de las aplicaciones donde se podrían implementar estas tecnologías.

#### 3.6.1. VENTAJAS DE LA DTV Y HDTV DEL SISTEMA ATSC

➤ **TELEVISIÓN AUTOFINANCIADA (TV GRATUITA PARA LOS TELEVIDENTES)**

- Calidad de la imagen en alta definición por su nitidez y su relación de pantalla.

- **Monitor Ratio** = 16:9
- **H. Line** = 1080Lineas x 1920 puntos
- **Distance** = 3H

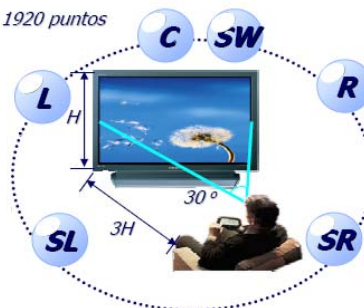


Fig. 3.16

- Los anunciantes, los clientes reales de la televisión abierta, instalan marcas y productos en función al rating.



- Múltiples programas en un canal digital de 6 MHz aumenta la cantidad de servicios al televidente ampliando la oferta de información y entretenimiento, tanto para la televisión comercial, como la pública y la comunitaria.

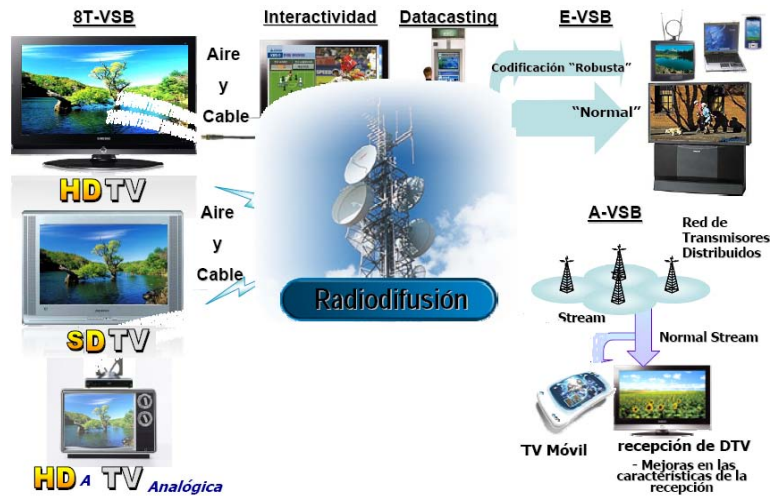


Fig. 3.17

- La alta definición es una herramienta estratégica que no se consideró como un lujo, sino como un piso tecnológico ambicioso pero novedoso para que la televisión abierta pudiera mantener su autofinanciamiento a través de los anunciantes.
- El cable y el satélite usarán la alta definición como valor agregado frente a otras plataformas que los videojuegos y DVD's actualmente soportan.
- Receptores externos e integrados para aire y cable nativos en 6 MHz, a precios accesibles con salida para alta definición y salida analógica, permiten acceder a los televidentes a los nuevos servicios de la DTV.



Fig. 3.18

- Como en las otras dos normas, ATSC puede soportar receptores para recepción fija de HDTV en MPEG4 AVC, hoy con limitaciones para codificación en tiempo real, pero al no ser masivos tendrán precios y plazos de fabricación fijados por la industria.

## ➤ INCLUSIÓN SOCIAL (TV PARA TODAS LAS CLASES SOCIOECONÓMICAS)

- ATSC logra la misma cobertura que la señal analógica (aproximadamente 90 Km), o superior, con un solo transmisor de menor potencia que el analógico y con la mayor velocidad de transferencia de datos posible (aproximadamente 19.4 Mbps), superior a las logradas por las otras dos normas para un ancho de banda de 6 MHz (utilizado en todo el Continente Americano), bajo condiciones ambientales reales.

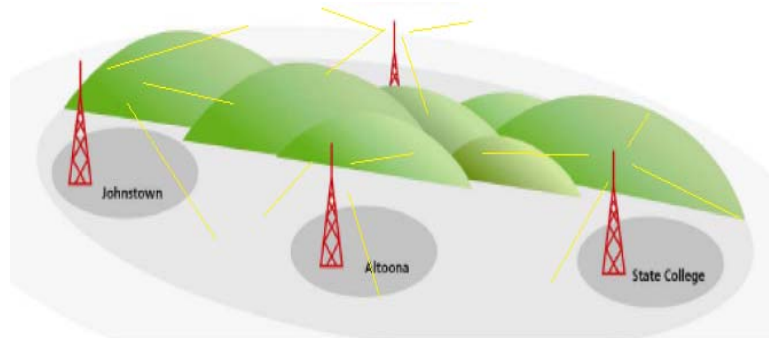


Fig. 3.19

- ATSC plantea todas sus evoluciones sin modificar su modulación 8-VSB de forma tal que no se queden sin servicio los receptores existentes en el mercado y en los hogares.
- ATSC requiere menos de la mitad de señal digital en los receptores para una misma carga útil y de 3 a 5 veces menos potencia pico analógica en el transmisor, para cubrir una misma área en comparación con las otras dos normas de TDT.
- A una misma potencia pico analógica, ATSC transporta hasta un 60% más de carga útil que las otras dos normas, reduciendo al mínimo el costo por bit transmitido.
- ATSC puede ser usada tanto en la banda de UHF como en VHF permitiéndole al radiodifusor, en esta última banda, usar transmisores de menor potencia mejorando el rehuso del espectro radioeléctrico. Las otras dos normas priorizan el uso de la banda de UHF por la menor interferencia relacionada con el nivel de ruido impulsivo urbano.
- Soporta velocidades de transferencia de datos útiles de un 30% más que lo usado en Europa para los 6 MHz de canalización, permitiendo varias señales de alta definición o mas señales de definición estándar (SDTV), textos para personas con problemas de audición, audio con relatos para no videntes y datos para servicios interactivos.



Fig. 3.20

- Las televisoras podrán elegir si transmiten un programa con calidad de alta definición o varios con definición estándar dentro del mismo ancho de banda de 6 MHz

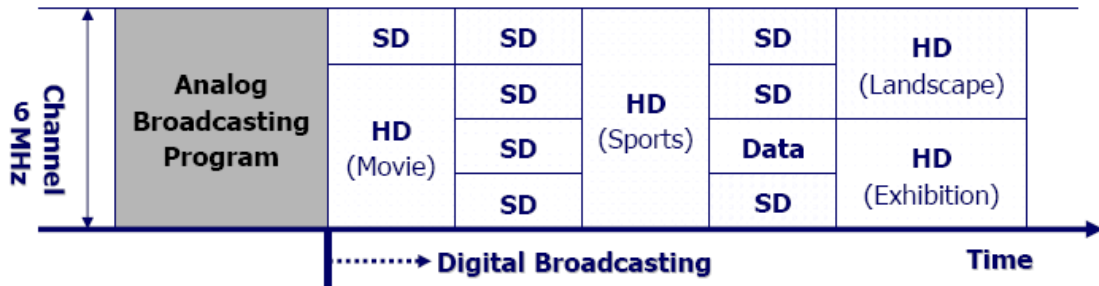


Fig. 3.21

### ➤ COMPLEMENTARIEDAD DE LA TELEVISIÓN POR AIRE O CABLE

- Disponibilidad de receptores externos y televisores de variadas marcas y de venta libre, que procesan en un solo chip la recepción ATSC / VSB de aire y SCTE / QAM de cable por ser modulaciones muy similares.
- Estos receptores permiten mantener el principio de antena comunitaria o colectiva a través del cable para la recepción de los canales de televisión digital libre y gratuita sin la necesidad de un dispositivo externo extra provisto por este, tal cual lo es hoy con la recepción de la televisión analógica abierta.
- Si el televidente usara solamente receptores de cable, la televisión libre y gratuita estaría perdiendo posicionamiento estratégico, ya que el televidente no podría ver televisión por antena, ya sea por corte o desafiliación al cable, al no tener un receptor apto también para aire.
- Este escenario también potenciará al cable ya que entrará en los hogares con su receptor apoyándose en la atracción que tendrán los televidentes por ver los canales digitales de aire.



- También dejaría de ser libre ya que el operador del cable podría acceder a las preferencias de los televidentes de los canales libres de aire a través del canal de retorno de su receptor.

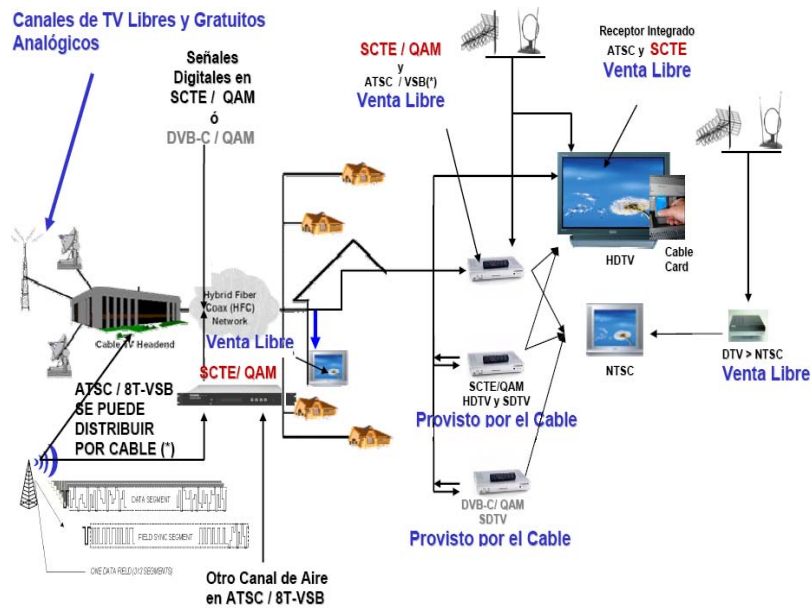


Fig. 3.22

### ➤ INTERACTIVIDAD (ACCESO A LA INFORMACIÓN POR TV O PC)

- La DTV, como cualquier otra transmisión de esta naturaleza, transmite datos, que para el caso del video y del audio, están ordenados y empaquetados de forma tal que el receptor sabe que debe utilizarlos para recrear imágenes y sonidos, pero también puede transmitir datos que se podrán interpretar utilizando distintas aplicaciones específicas en el mismo televisor, o ser cargadas y ejecutadas en una computadora.
- La ACAP (*Advance Common Application Platform*) es una plataforma interactiva común para el aire y el cable, disponible para los televisores de venta libre, que permite a los canales de televisión y al operador de cable enviar información por separado que será interpretada por el mismo televisor digital.

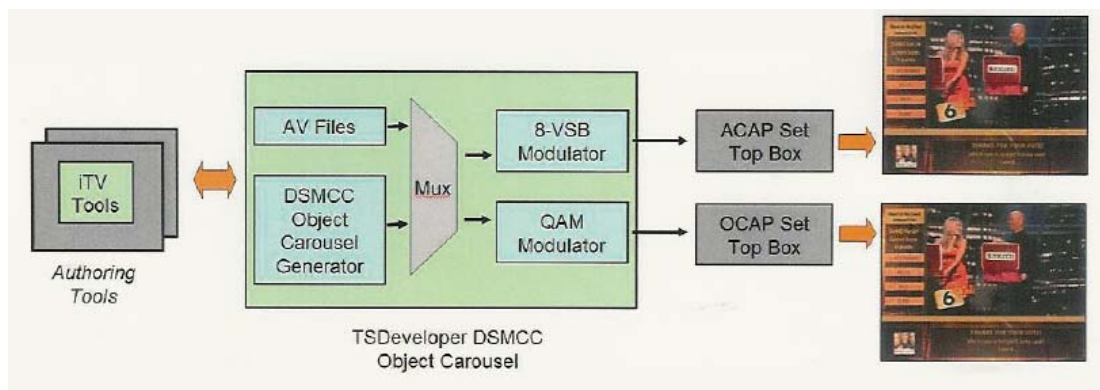


Fig. 3.23

- La transmisión de información en forma de Carrusel al televisor permite interactividad local, como la guía de programación, utilizando el número de canal virtual PSIP (*Program and System Information Protocol*), más otras aplicaciones interactivas usando la plataforma ACAP (*Automated Content Access Protocol*), como datos estadísticos de deportes, preguntas y sus respuestas para programas educativos o de entretenimiento, información sobre programas y películas, etc.
- El retorno por cualquier vínculo IP (*Internet Protocol*) usando la norma de Interconexión de Canal permite interactividad remota para compras en línea, encuestas, votaciones, etc.



Fig. 3.24

➤ **MOVILIDAD (NUEVOS SERVICIOS SIN PENALIZAR EL SERVICIO FIJO DE TV LIBRE Y GRATUITA)**

- **TELEVISIÓN MÓVIL PÚBLICA**
  - Red separada de la del radiodifusor de televisión fija al hogar.
  - Contenidos de video y audio específicos.
  - Necesidad de convenios con las empresas de transporte.



Fig. 3.25

- **TELEVISIÓN MÓVIL PRIVADA GRATUITA O DE PAGA**

- Señales de paga con contenidos atractivos y de corta duración.
- Inversión fabulosa en una plataforma para una sola señal de pago.
- Posibilidad de usar plataformas de telecomunicaciones celulares que integran múltiples servicios
- La videoconferencia en HD ofrece una calidad de imagen nítida y audio sincronizado con una latencia mínima que ayuda a mantener el enfoque y proporciona una experiencia de videoconferencia efectiva y de alta calidad.

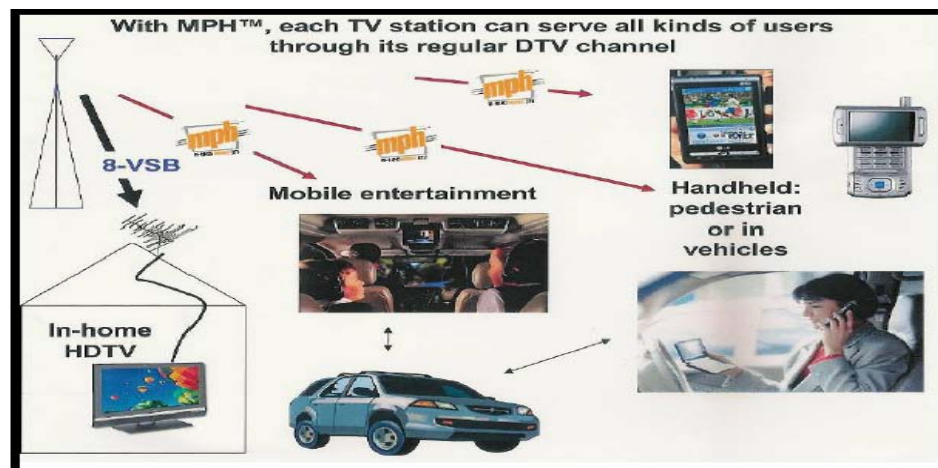


Fig. 3.26

- **TRANSMISIÓN DE DATOS “DATACASTING” A LA PC A TRAVÉS DEL CANAL DTV**

- Servicios públicos: bomberos, policías, entidades gubernamentales y alertas.
- Institutos Educativos: Educating, utilizando la TV Pública como pilar del sistema de distribución de contenidos, para reducir la brecha digital y ampliar el acceso a la sociedad de la información.

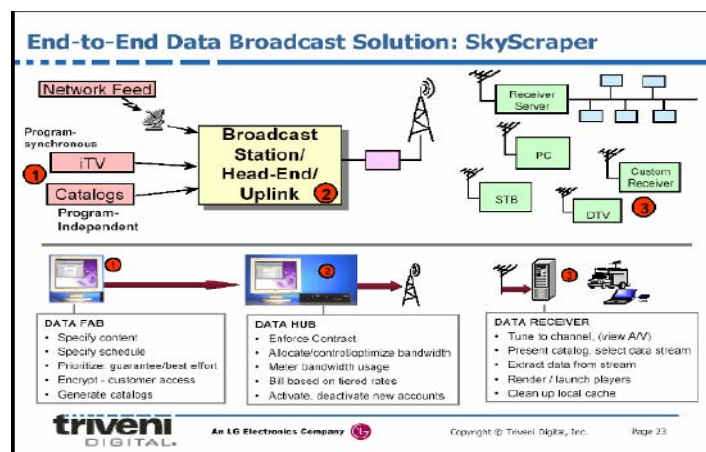


Fig. 3.27



- Empresas: Actualización de versiones de software para los receptores, bajada de datos a Kioscos electrónicos, Renta de Videos en el hogar, etc.
- Complemento de programas de la TV: Más información de notas informativas, deportivas, de programas, etc.



Fig. 3.28

### 3.6.2. APLICACIONES DE LA HDTV

Algunos campos donde se puede hacer uso de la tecnología de la alta definición son los siguientes:

**Diversión en el hogar.** Proporciona al telespectador gran calidad de imagen y sonido, ya que la señal de alta definición se recibe y proyecta en pantallas con características mejores al televisor convencional y proporciona un audio envolvente (soundround). También otra de las maravillas será la interactividad del televidente ya que podrá gozar de servicios con juegos, noticias sobre cualquier tema, compras y películas a la carta.



Fig. 3.29



Fig. 3.30

**En los hospitales.** En este ámbito se requiere de imágenes precisas de calidad, y se usarán técnicas de grabación en alta definición para grabar procedimientos quirúrgicos como una endoscopia o una operación abierta para capacitación de personal médico y en las universidades.

**Negocios.** Los negociantes de varias empresas promoverán sus productos en muestras comerciales y convenciones con presentaciones en grandes pantallas. Además, en la oficina, las estrategias para los fabricantes y los aspectos de mercadotecnia se pueden mostrar a los diversos departamentos responsables.



Fig. 3.31



Fig. 3.32

**Sistemas de seguridad.** Se podrán instalar cámaras de HD de vigilancia para poder señalar con exactitud la posición de una persona ya sea en edificios, residencias, centros comerciales, etc.

**Museos y exposiciones.** Estos podrán archivar y exhibir su información de arte, artículos históricos productos y documentos al grabar todo en algún dispositivo de almacenamiento con la descripción detallada de cada cosa. Aparte que las instituciones podrán desarrollar programas de sus colecciones para mostrarlas en conferencias y exhibiciones.



Fig. 3.33



Fig. 3.34

**Astronomía.** Con la tecnología de la alta definición implementada a los sofisticados telescopios, se podrán tomar mejores fotografías más claras y nítidas para el estudio de la exploración espacial.

### 3.7. NORMAS DEL SISTEMA ATSC

El sistema ATSC dicta las siguientes normas para el procesamiento y la transmisión de señales de televisión digital:

A/52 Audio digital.

A/53 Normas de televisión digital.

A/57 Identificación y etiquetado de contenidos para transporte de ATSC.

A/63 Norma de codificación de video de 25/50 Hz.

A/64 Transmisión y conformidad.

A/65 Protocolo de información de sistemas y programas (PSIP).

A/70 Acceso condicional.

A/76 Protocolo de programación de transmisión de meta datos (PMCP).

A/80 Satélite (contribución y distribución).

A/81 Norma de difusión satelital directa al hogar.

A/90 Difusión de datos.

A/92 Difusión de información IP del tipo multicast.

A/93 Activación síncrona/asíncrona.

A/94 Modelo de referencia de aplicación.

A/95 Sistema de archivos de flujo de transporte.

A/96 Protocolos de canales de interacción ATSC.

A/97 Servicio de datos descarga de software.

A/100-x DASE.

A/110 Norma de sincronización para transmisión distribuida.

A/101 Plataforma de aplicación común avanzada (ACAP).

A/54 Guía para el uso del estándar de televisión digital.

A/69 Guía de uso del PSIP para los radiodifusores.

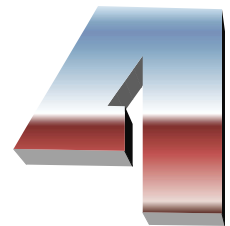
A/75 Guía para las mediciones en campo de la televisión digital.

A/78 Prácticas recomendadas para la verificación del Transport Stream.

A/91 Guía para el estándar de radiodifusión de datos.

A/111 Diseño de sincronización para redes de múltiples transmisores.

A/112 Guía para la implementación del E-VSB.



# LA DIRECCIÓN GENERAL DE TELEVISIÓN EDUCATIVA (DGTVE)

## HISTORIA DE LA TELEVISIÓN EDUCATIVA

La primera demostración de televisión en blanco y negro con fines educativos se da a propósito de la VII Asamblea de Cirujanos, en el quirófano principal del hospital Juárez en 1948, y dos años después dan inicio de manera formal las primeras transmisiones de carácter comercial a través de XHTV, canal 4 de Televisión de México, S.A. propiedad de Rómulo O'Farril. Desde entonces la televisión se bifurca en dos sentidos: televisión pública o gubernamental y televisión privada.

El gobierno federal, a través de diferentes instancias, ha sido el principal promotor de la educación con apoyo de tecnología. Aún antes de la llegada de la televisión, la Secretaría de Educación Pública ya trabajaba al respecto. Por tanto no es raro que sea el gobierno quién cuente con mayor experiencia en el uso educacional de la televisión.

A finales de los años 70 la televisión educativa de producción estatal adquiere mayor fuerza y a la sombra de distintos organismos públicos como la Unidad de Telesecundaria, la Unidad de Televisión Educativa y Cultural, Canal 11, el Instituto Nacional para la Educación de Adultos, Televisión de la República Mexicana y Canal 22, apoyan la educación de manera formal e informal.

La experiencia más importante al respecto fue en aquel entonces Telesecundaria, dirigida a sectores marginados de la población y con base en el plan de estudios de la SEP para el nivel secundaria. La Unidad de Telesecundaria es responsable de la planificación y elaboración del diseño y la evaluación de los programas, y la DGTVE encargada de la realización técnica y transmisión de señales.

## OBJETIVO DEL CAPÍTULO

En este capítulo presentamos la estructura del sistema de procesamiento y transmisión de las señales de televisión generadas en la DGTVE y el papel que juega esta dentro de la Red Edusat. También explicaremos detalladamente las funciones en “Estudios” que es donde se generan las señales; la “Central de Procesamiento y Conmutación de Señales” que es el área de esta institución donde se recibe, procesa y envía los canales de la Red Edusat y el “Telepuerto” que se dedica a la transmisión y monitoreo de dichos canales.

### 4.1. LA RED EDUSAT

La Red Satelital de Televisión Educativa (Edusat) es un sistema de telecomunicaciones con señal de compresión digital que transmite por vía satélite programas de índole educativo, cultural y de divulgación, cuyo propósito es atender las necesidades y requerimientos de los distintos niveles y modalidades del Sistema Educativo Nacional (SEN).

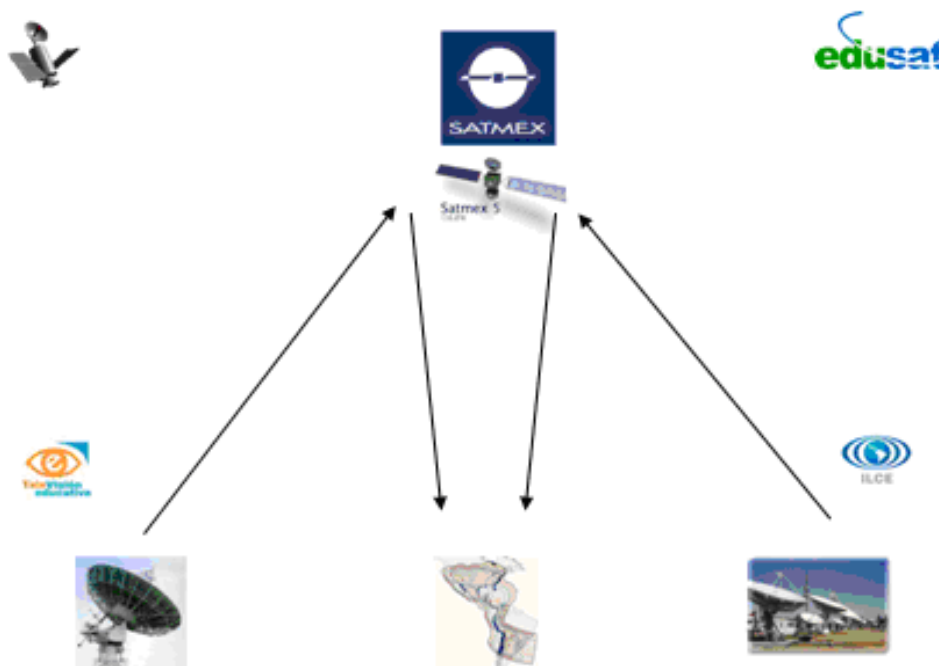
El sistema de transmisión opera con apoyo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Edusat cuenta con más de 35,000 equipos receptores en el sistema educativo mexicano y aproximadamente con 1,000 distribuidos en diversos países del continente.



El objetivo principal de la Red Edusat es lograr un esquema de equidad en materia educativa como difusor del conocimiento a partir de medios electrónicos y con esto contribuir al abatimiento del rezago educativo en México. Este sistema cuenta con 30 mil puntos receptores en casi todo el Continente Americano, los cuales se encuentran instalados en Escuelas Telesecundarias, Secundarias Técnicas y Generales, Centros de Maestros, Institutos Tecnológicos, Universidades, Escuelas Normales para Maestros y Centros de Educación Tecnológica. Con trece canales de programación propia, cuatro de retransmisión y cuatro de radio.

En diciembre de 1995, al inaugurarse la Red Edusat, se estableció por primera vez un sistema nacional de televisión educativa con un potencial extraordinario en términos de cobertura y volumen de oferta. Edusat, en su etapa inicial, de finales de 1994 a 1995, pasó de ser una plataforma analógica en el satélite Morelos II, a una plenamente digital con el Satélite Solidaridad I. Su segunda etapa, entre 1995 y 1998, logra un proceso de consolidación para dar inicio a la migración hacia Satmex 5 con la que Edusat logró un desarrollo cuantitativo y cualitativo excepcional. Actualmente, Edusat tiene una potencia diez veces superior a la que tenía con el satélite Morelos II y tres veces superior a la que tuvo en Solidaridad I.

La señal de los canales de Edusat es generada por la DGTVE y el ILCE (Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa), como se muestra en la fig. 4.1. Desde el Telepuerto de la DGTVE se comprime y se envía al Satélite Satmex 5, Tp 1 (Transponder 1), en forma digital empleando la tecnología DVB (*Digital Video Broadcasting*), el cual cubre en su totalidad la República Mexicana.; mientras que desde el Telepuerto del ILCE se comprime y de manera similar envían al satélite Satmex 5, Transponder 24 C, el cual tiene una cobertura continental, la señal también es digital pero emplea la tecnología DC II (*DigiCipher II*). Los satélites la distribuyen a todas las instituciones receptoras, en las que se cuenta con decodificadores DVB y DC II.



**Fig. 4.1** Diagrama de transmisión de la Red Edusat

La red Edusat transmite diariamente 16 canales de televisión de los cuales ocho de ellos son producidos por la DGTVE y se mencionan a continuación: “Telesecundaria” 11, “Media TV” 12, “Capacitación” 14, “Educación Superior” 17, “Sigamos aprendiendo... en el hospital” 21, “Aprende TV” 24, canal 26 con logo Edusat y “Canal Educativo de las Américas” 27.

Otros cuatro por el Instituto Latinoamericano de Comunicación Educativa (ILCE) los cuales son: “Educación Superior, Media Superior y Formación Continua” 13, “Actualización Profesional y Capacitación Laboral para el Servicio Público” 18, “Educación Básica, Educación Normal y Educación para la sociedad” 15 y canal 16.



Los últimos cuatro con retransmisión de señal mediante convenios con: CONACULTA (Consejo Nacional para la Cultura y las Artes) “Educación Superior” 22 Internacional, CENART (Centro Nacional de las Artes) 23, “Canal del Congreso” 25 y TV UNAM “Canal Cultural de los Universitarios” 28.

Entre los canales de Radio que se transmiten por la Red Edusat están: Radio Educación (XEEP), que se transmite por el Canal 12, el Instituto Mexicano de la Radio (IMER) que transmite por el Canal 15, el Canal 25 Edusat Radio y Radio UNAM que transmite por el Canal 28 todos ofrecen opciones radiofónicas que favorecen la difusión del conocimiento, la ciencia y la cultura.



Fig. 4.2 Barra de transmisión de la red Edusat

Las tareas de Edusat son:

- La operación de la Red Edusat abarca los ámbitos de programación y transmisión de programas educativos, para la televisión y radio, así como la operación y el mantenimiento preventivo y correctivo de Red Edusat.
- Producción audiovisual, entendida como la concepción y la realización de series y programas educativos, acordes a las necesidades de diferentes públicos.
- Servicio Nacional de Imagen Educativa, que comprende conservación y sistematización de acervos.
- Formación, capacitación y actualización para profesionales vinculados con los medios audiovisuales educativos.
- Investigación, desarrollo audiovisual y evaluación.

## 4.2. ¿QUÉ ES LA DGTVE?

A través de diferentes instancias, la SEP (Secretaría de Educación Pública), ha estado presente durante casi cinco décadas en la televisión con fines educativos. Actualmente la Dirección General de Televisión Educativa (DGTVE) es la encargada de generar dichos trabajos.



La DGTVE es un órgano centralizado de la SEP dependiente de la Unidad de Planeación y Evaluación de Políticas Educativas y es el organismo más importante en cuanto a televisión educativa se refiere ya que tiene a su cargo el sistema Edusat, el más importante en su naturaleza en Latinoamérica.

Algunas de las tareas de la DGTVE son:

- Nuevas producciones curriculares, de arte y cultura.
- Apoyo a la certificación en diferentes cursos de carácter técnico emitidos por la DGTVE y nuevos programas sobre orientación vocacional.
- Más capacitación y apoyo didáctico para maestros.
- Ampliar vínculos desde Canadá hasta América Latina.
- Ampliar vínculos con instituciones gubernamentales y no gubernamentales a nivel nacional.
- Ampliar las zonas de recepción de la DGTVE en la República Mexicana.
- Nuevos vínculos para la programación de Edusat Radio.
- Apoyo en proyectos que fomenten la certificación en educación básica y competencias laborales en grupos sociales de alta vulnerabilidad.

## 4.3. ESTRUCTURA DE LA DGTVE

Las tareas a cargo del personal que integra la DGTVE son producir, programar y transmitir contenidos educativos a través de medios electrónicos, principalmente la televisión, mediante la **Red Edusat**.

Sin embargo, el trabajo no concluye con la transmisión, ya que también son esenciales las labores de mantenimiento y operación técnica de la Red Edusat, la sistematización y la conservación de los acervos audiovisuales, la formación y la capacitación de profesionales en materia de audiovisual educativo y la realización de actividades de investigación, desarrollo y evaluación.

Todas estas tareas integran un ciclo el cual se muestra en la fig. 4.4 así como una breve explicación de cada módulo por el que es conformado.

## ➤ INVESTIGACIÓN, DESARROLLO AUDIOVISUAL Y EVALUACIÓN

Con el objeto de retroalimentar y enriquecer los procesos de producción, transmisión y capacitación, se realizan de manera permanente proyectos de investigación, desarrollo audiovisual y evaluación.

## ➤ FORMACIÓN Y CAPACITACIÓN

Entre los programas sustantivos de la Red Edusat se cuenta la formación y actualización de recursos humanos, tarea que se lleva a cabo a través del CETE (Centro de Entrenamiento de Televisión Educativa), único en su género en América Latina, creado en 1991 mediante un convenio entre la SEP y la JICA (*Japan International Cooperation Agency* ó Agencia de Cooperación Internacional de Japón).

## ➤ CONSERVACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN

La DGTVE cuenta con el más importante acervo audiovisual en materia educativa en América Latina, sistematizado y conservado a través del Centro de Documentación Videográfica creado en 1997.

A siete años del inicio de sus actividades, ha generado cerca de 70 mil registros para la consulta y uso didáctico de los materiales.

## ➤ PRODUCCIÓN

La concepción y realización de series y programas educativos que se transmiten a través de la Red Edusat está a cargo de la Dirección de Producción dependiente de la DGTVE.

## ➤ PROGRAMACIÓN Y TRANSMISIÓN

La Red Edusat transmite más de 100 horas diarias de programación diferenciada a través de 16 canales de televisión con distintos perfiles, orientados a satisfacer necesidades de todo tipo de públicos.

## ➤ OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Para una adecuada operación de la Red Edusat, se requiere:

- Servicio de mantenimiento a todos los puntos receptores del sistema.
- Capacitación en el uso y operación de la Red Edusat.
- Asistencia preventiva y correctiva.
- Exploración y desarrollo de soluciones tecnológicas.

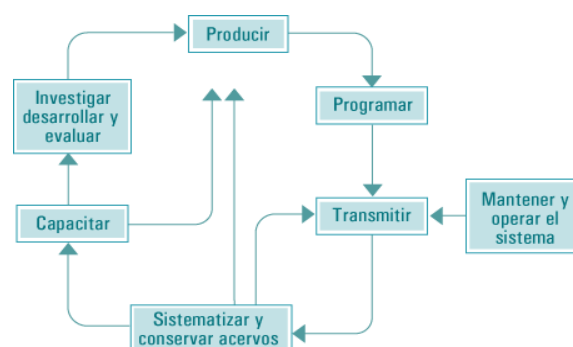


Fig. 4.3 Ciclo para la producción de

El objetivo primordial de estas acciones es lograr una óptima operación del sistema, y a mediano y largo plazo, el desarrollo y expansión de proyectos regionales o locales. Asimismo, se busca promover una cultura entre los usuarios últimos de la infraestructura, para que convivan y asimilen con mayor facilidad estas tecnologías, obteniendo de ellas beneficios educativos.

## 4.4 ÁREAS

La DGTVE cuenta con una Dirección de Ingeniería que se divide en dos partes la primera es la Subdirección de Operación Técnica y la segunda la Subdirección de Mantenimiento Eléctrico y Electrónico. La Subdirección de Operación Técnica se divide en diversos departamentos, de los cuales nos enfocaremos en Estudios, Control Maestro y Telepuerto.

A su vez, el ciclo de actividades que se realizan en la DGTVE y que se describen en la fig. 4.3, se divide en diferentes departamentos cada una. En este capítulo desglosaremos y explicaremos la relación entre cada una de estas áreas donde se realizan las funciones de producir, transmitir, mantener y operar el sistema, principalmente, sin olvidar que las demás áreas son importantes.

De la Subdirección de Operación Técnica se desglosan los departamentos de **Estudios y Unidades Móviles** donde se lleva a cabo la realización de programas siendo aquí donde se genera y se graba la señal de video en algún formato, dependiendo de la infraestructura tecnológica con que cuente este departamento. Podemos tener dos opciones destinadas para la señal, la primera es de almacenarla mediante un formato de grabación y la segunda es enviarla al siguiente departamento, que es **Control Maestro**, para su transmisión.

El departamento de Control Maestro se encarga de la transmisión y se ramifica en dos sub áreas: las Mesas de Control y la Central de Conmutación y Procesamiento de Señales. En la **Mesas de Control** se reciben los canales de los servidores donde previamente fueron ingestados los programas en diversos formatos, para después enlutarlos a la **Central de Conmutación** para su procesamiento donde también llegan las señales de Estudios y distintos puntos remotos ya sea por vía enlace de microondas o satelital.

Sea cual sea la fuente, el punto siguiente de la señal será el área de **Telepuerto**, aquí ya están listas estas señales para ser transmitidas al satélite y captarlas en el punto receptor.

El **Punto Receptor** se conforma de una antena parabólica y un receptor instalados por personal de la Red Edusat.

### 4.4.1. ESTUDIOS Y UNIDADES MÓVILES

El diseño y producción de las imágenes en televisión corresponde hoy día a un esquema estandarizado y aceptado convencionalmente en todos los países. La operación de los instrumentos necesarios para poner en funcionamiento una estación transmisora, exige la colaboración continua y sincronizada de un numeroso equipo humano, entre profesionales, técnicos y personal administrativo. Todos con un objetivo común: lanzar al aire una señal electromagnética que contiene información codificada, la cual al ser captada por un receptor dará como resultado un programa de imagen y sonido, cuya duración puede abarcar las 24 horas del día.

Todo comienza en un espacio especialmente construido y acondicionado para evitar interferencias por el ruido de la calle y por las condiciones variables de la luz natural. Un estudio de televisión es un espacio cerrado que dispone de un sistema de iluminación artificial compuesto de reflectores de alta potencia, capaces de iluminar un área de varias docenas de metros cuadrados y, en algunos casos, espacios tan grandes como el de un auditorio con cupo para cientos de personas.

## ➤ ILUMINACIÓN

La iluminación se basa en lámparas fluorescentes de distintas potencias que se usan según el tipo de programa a realizarse. Cada lámpara está montada bajo una estructura metálica llamada tramoya y es regulada por un sistema de control de energía al cual se le llama *dimer*, este sistema es controlado por la consola de iluminación la cual tiene capacidad para controlar hasta 141 lámparas y se pueden grabar diferentes efectos de iluminación.



**Fig. 4.4** Controlador de iluminación.

## ➤ LA CÁMARA DE VIDEO

Una cámara de video es un elemento fundamental en los estudios de televisión, pues es un equipo que permite transformar la luz reflejada sobre un objeto real en señales de video. Su importancia se debe a que el televidente podrá ver (virtualmente) lo mismo que la cámara de video esté captando en ese momento. Las cámaras estándar que se utilizan en estudios de televisión se componen de dos unidades:

### A. Cabeza de cámara.

- a. Objetivo zoom con controles de zoom y foco.
- b. Prisma espectral de tres colores
- c. Foto transductores. Tubos de cámara, CCD's, Súper CCD's o CMOS que son dispositivos que convierten la luz en pulsos eléctricos
- d. Sistemas de procesamiento. Los pulsos eléctricos que generan los foto transductores llevan la información de la imagen (luminancia y crominancia). Al procesar esta información, se le insertan los pulsos de sincronía y borrado, obteniendo una señal de video compuesta.

### B. Unidad de control

- a. Sistema de monitoreo (monitor de imagen, monitor de forma de onda y vectorscopio).
- b. Circuitos electrónicos (compensador de cable, y de contorno, procesador amplificador y otros circuitos electrónicos).
- c. Panel de operación de la cámara.
- d. Fuente de alimentación.

La unidad de control de cámara es donde se manipulan los controles electrónicos que ajustan el nivel y la calidad de la señal de video requerida.

## ➤ EL GENERADOR DE CARACTERES

Este equipo es considerado como básico en el estudio de televisión, ya que por medio de éste es posible escribir, en forma electrónica, créditos o textos que identifiquen o refuercen un material de video, a demás de generar un reloj para dar referencia cronológica a un programa de televisión en particular. El equipo está provisto por una unidad interna de almacenamiento donde existen diferentes formatos de tipografía, suministradas por el fabricante mediante un programa (software). También es posible seleccionar efectos para que los créditos corran sobre la imagen de video, ya sea en forma vertical u horizontal, hacer que se compriman o expandan, que roten, que aparezcan desde infinito o que desaparezcan en él. El equipo cuenta con la posibilidad de colorear la tipografía y generarle bordes y sombreados. El operador puede manipular los mandos de selección de funciones del panel de control o teclado de acuerdo a la opción de menús que el equipo te ofrece los cuales se visualizan en el monitor o display.

El proceso de la señal que se genera en este equipo también es en forma digital; por lo tanto, cuenta con convertidores de señal digital analógica para entregar una salida de señal analógica. Estos equipos cuentan con unidades de almacenamiento de disco, dependiendo del fabricante, y más comúnmente con unidades de almacenamiento masivo (USB).

### Elementos básicos

1. Electrónica principal
2. Panel de control o teclado.
3. Unidad de almacenamiento



Fig. 4.5 *Electrónica del generador de caracteres.*

La ejecución de funciones y de escritura de texto al frame principal se realiza por medio el teclado, el cual, por su función, es muy parecido al teclado de una máquina de escribir. No es necesario contar con un monitor extra, ya que el frame principal proporciona una señal compuesta de video que contiene la información del menú.

Los formatos creados por el operador pueden ser almacenados en la unidad de disco; de aquí también se pueden descargar datos para trabajar una nueva tipografía, además de grabar los textos en forma de páginas.

## ➤ EL ALMACENADOR DE IMÁGENES (STILL STORE)

Este equipo es muy útil para guardar cuadros de imágenes, razón por la que también se le conoce como Still Store. Dependiendo del fabricante, está provisto con diferentes dispositivos para almacenar esta información, variando también en su capacidad de almacenamiento según el formato de los discos usados en este equipo. En el estudio “A” de la DGTVE, el mezclador de video, que veremos a continuación, ya incluye este equipo.

El proceso de señal se hace en forma digital, por lo que se cuenta con entradas de video analógico que se transforma a un formato digital para facilitar el almacenamiento de los datos de información contenidos en el cuadro de imagen. Esto se logra al congelar una imagen en movimiento, la información es almacenada temporalmente en tablillas con memorias y se tiene la opción de guardarla en cualquier dispositivo de almacenamiento para un uso posterior según se requiera.



## ➤ MEZCLADOR DE VIDEO

El mezclador de video o switcher es un equipo de suma importancia en el estudio de televisión ya que por medio de éste se selecciona, en forma mezclada y de acuerdo a las necesidades del programa, una o algunas de las varias señales que pueden ser alimentadas a la entrada del equipo denominada “videos primarios”, las cuales se generan dentro del estudio o fuera de éste, para conformar la denominada “señal de salida principal (program)”. Las señales que se generan dentro del estudio provienen de equipos auxiliares como son el generador de efectos de video, las cámaras de televisión y el generador de caracteres o titulador electrónico.



Fig. 4.6 Mezclador de video Kahuna

Las señales que se generan externamente se denominan líneas de entrada y pueden provenir de diversas partes como el área de video tape o de un sitio remoto, siendo recibidas vía microondas o satelital, con previa sincronización.

### Características típicas.

Dependiendo del fabricante se encuentran equipos que van de los más sencillos a lo más sofisticado; dentro de sus principales características, enumeramos las siguientes:

1. Cantidad de videos primarios de entrada.
2. Número de bancos de efectos.
3. Cantidad de efectos generados (wipers).
4. Capacidad para grabar secuencias de efectos.
5. Tipo de formato que aceptan y formato de salida (analógico, digital o HD).
6. Número de salidas auxiliares para alimentar otros equipos.
7. Forma en que se procesa la señal.
8. Posibilidad de operar con un editor, delegando el control de operación.

### Descripción física funcionamiento.

Un switcher de video esta constituido básicamente por tres secciones que son:

1. Electrónica principal (frame principal).
2. Panel de control o teclado.
3. Fuente de alimentación.

El frame principal esta constituido básicamente por una serie de tablillas electrónicas en las cuales se procesan las señales que se seleccionan en el panel de control. Aquí se generan también las señales de control necesarias para su correcto funcionamiento, las cuales son codificadas de acuerdo a las funciones características y decodificadas para su proceso.

Para que la señal siga el proceso correcto, el switcher puede operar con sincronía interna o sincronizarse externamente; en este último caso, se requiere de ciertos pulsos, generados por otro equipo, como puede ser una señal de subcarrier, sincronía o blanking, por mencionar algunos. En el frame principal se proporcionan los voltajes necesarios para alimentar los indicadores de las cámaras según la seleccionada en el panel de control, así como los requeridos para los diversos potenciómetros y controles que, al manipularlos, producen incrustaciones de señales, disolvencias, wipers (forma del borde al cambiar de una señal a otra), variaciones en los niveles de croma, fase de color (hue) y luminancia, y generar limitaciones de la señal en forma vertical y horizontal, crean bordes de color, mascarillas de protección, sombras (shadows) y, a demás, permiten efectuar variaciones en los niveles de saturación, luminancia y fase de color (hue) de señales background que se generan en el frame principal.



**Fig. 4.7** *Electrónica del Mezclador*

Por último, es posible contar con la interfase necesaria para operar el switcher por medio de un editor dependiendo del fabricante.

En el panel de control se encuentran los bancos de selección de señales (M/E), palancas de disolvencia (faders) y potenciómetros. Estos generan mandos que son codificados también por tablillas electrónicas que se alojan internamente, los cuales envían al frame principal para su proceso de acuerdo a lo que deseamos ver o ejecutar en el switcher.

## ➤ EL PROCESADOR DE VIDEO

### **Función del procesador de video.**

Toda señal de video que ha sufrido una serie de procesos por los cuales ha experimentado cambios o alteraciones en sus elementos básicos necesita ser procesada para que tanto sus componentes de sincronía como la información de luminancia y croma recuperen sus normas de calidad establecida en la norma NTSC, y esta es precisamente la función del procesador de video en el estudio de televisión.

### **Elementos básicos.**

Un procesador de video consta básicamente de cinco secciones:

- Modulo de entrada (input).
- Modulo de amarre de color (color lock).
- Modulo de generación de sincronía bajo la norma NTSC.
- Modulo de salida (output).
- Fuente de alimentación (power supply).



**Fig. 4.8** *Procesador de señales marca Leitch.*



## ➤ MEZCLADOR DE AUDIO

Sabemos que para conformar una señal de televisión es de suma importancia que tanto la señal de video como la de audio estén sincronizadas. Aunque esto sea así la señal de audio sigue diferentes caminos los cuales analizaremos en el siguiente párrafo.

Empecemos hablando de la cadena electroacústica que inicia desde la fuente del sonido que puede ser la voz, un instrumento musical, algún efecto de sonido, etc., el segundo punto es el medio de transmisión que en el caso de algunos micrófonos inalámbricos de marca cuentan con un sistema de transmisión que convierte las ondas sonoras en señales eléctricas, las modula y transmite. Otro ejemplo similar son los micrófonos Lavalier, con la diferencia que tienen mayor sensibilidad y son poco visibles por el espectador.

Una vez que el equipo receptor capta las señales RF son demoduladas y transmitidas por medio de cable hacia la consola de audio que es capaz de recibir hasta 48 entradas análogas y 4 canales estéreo y entregar audio en Dolby Digital AC-3 y en Sonido Estéreo.

### 4.4.2. CONTROL MAESTRO

Dentro de las actividades realizadas en las Mesas de Control de la DGTVE se encuentra el monitoreo de los canales 11, 12, 14, 17, 21, 22, 24; esto se hace por medio de equipo específicamente diseñado para medir el comportamiento de la señal tanto de video como de audio.



**Fig. 4.9** Sala de las mesas de control, donde se puede apreciar los elementos que la componen

El monitoreo de la señal que se observa en un master sigue una secuencia de pasos la cual, en forma general, se menciona a continuación.

Primero se obtiene el material de la videoteca, situada dentro de las mismas instalaciones de la DGTVE y única en su tipo en América Latina, para ser reproducido en máquinas formato Betacam SP y Betacam SX, la salida es ingesta en los discos duros de los servidores por medio de sus tarjetas de video.

El software para manipular las señales contenidas en los discos se llama “VSN-Matic” el fue diseñado para automatizar una sala de continuidad en formato DV o MPEG-2. Es una solución, compuesta de varios módulos, diseñados para seguir el flujo lógico de trabajo de una emisora de televisión.



Con esta solución completa, una televisora sería capaz de gestionar su escaleta de continuidad de una forma automática, con control total de líneas de exterior y entradas de satélite con grabación automática, CG (*Characters Generator* o Generador de Caracteres), grabación legal, gestión de publicidad, VTR's, gestión de contenidos e interconectividad entre varios servidores con VSN Matic o VSN Air News (usado específicamente para noticias).

Cada mesa se compone de dos monitores de imagen (el cual uno es para monitorear la señal de protección), ya que es un sistema redundante, un forma de onda, un vertoroscopio (ambos para observar que la señal este dentro de los parámetros requeridos), una consola de audio para mantener los niveles adecuados monitoreados desde la central de conmutación y un routing para seleccionar la señal de salida de la mesa de control (master.)



**Fig. 4.10** Mesa de control destinada a la programación del Canal 11 (Telesecundaria)

Saliendo la señal de “Control Maestro” pasa a la “Central de Conmutación” donde se adjuntan con los canales que complementan a la Red Edusat obtenidas de otras fuentes.

#### 4.4.3. CENTRAL DE CONMUTACIÓN Y PROCESAMIENTO DE SEÑALES

La Central de Conmutación es el nodo donde convergen las señales de televisión de toda la DGTVE, esta se divide en dos partes que son la analógica y la digital; ya que en México existen televisoras en ambos formatos. Como se menciono anteriormente dichas señales provienen de distintas fuentes como se ilustra en la fig. 4.12.



**Fig. 4.11.** Parte del equipo con el que cuenta la central de conmutación

En este departamento podemos obtener señal de diversas fuentes como Control Maestro, Estudios y enlaces de microondas o satelitales. En el sub capítulo de estudios y unidades móviles hablamos de como se genera una señal de televisión. Ahora, en esta sección haremos mención de la forma de procesar la señal recibida desde las mesas de control. Esta es la área donde se manipulan la señal de los canales que produce la DGTVE para la Red Edusat.

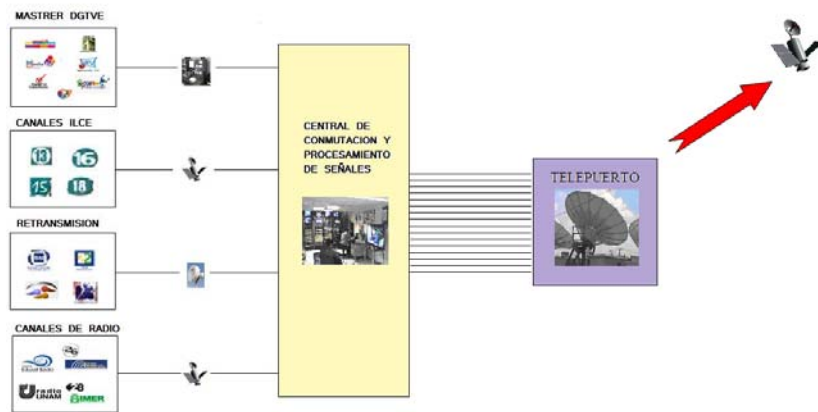


Fig. 4.12. Esquema básico de la central de conmutación donde se muestran las señales que llegan de diversas fuentes

El equipo empleado en esta sub área se describe a continuación:

- **Distribuidores.** Este es el primer componente donde llegan las señales de televisión, su función es la de proporcionar varias señales de salida iguales a la de la entrada, sin distorsión ni pérdida de calidad, para distribuirla a diversos destinos. Existen distribuidores de audio y distribuidores de video.



Fig.4.13. Distribuidores



Fig.4.14. Routing

- **Routing.** Este equipo cumple la función de direccionar o enrutar la señal, se complementa con una botonera la cual, en la parte izquierda de esta se encuentran los destinos y en la derecha las fuentes. Funciona para audio y video simultáneamente.

- **Tiras de parcheo.** Esta se compone de dos filas con un total de 24 bahías cada una, la fila superior son las fuentes y la parte inferior los destinos. Al conectar una señal en la fila superior esta pasara directamente a la bahía inferior correspondiente, se puede interrumpir esta señal colocándole un parche en alguna de las fuentes para enviarla a otro destino.

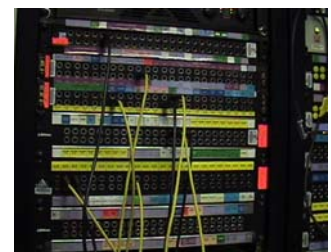


Fig.4.15. Tiras de parcheo

- **DPS (Digital Processing Synchronizer o Sincronizador y Procesador Digital).** Este equipo tiene la función de procesar la señal, ya que cuando esta viaja por el medio de transmisión se degrada, por lo tanto es necesario normalizar estos parámetros. Otra función es convertir la señal de A/D o D/A.



Fig.4.16. DPS's

- **Generador de sincronía.** La mayoría de los equipos necesitan una señal de referencia para sincronizar sus señales de entrada, dicha señal es generada por este equipo la cual puede ser barras, negros, pulso, tono. La señal de referencia sirve para que al conmutar de una señal a otra no exista un brinco. Existen digitales y análogos.



Fig.4.17. Generador de sincronía

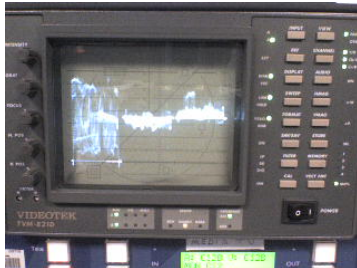


Fig.4.18. Vectorforma

- **Equipos de medición.** La central con los equipos fundaménteles como el forma de onda, vertorscopio, monitores de imagen, vumetros. En la parte digital se cuenta con el patrón de ojo que se usa para representar las transiciones que se producen en un periodo de tiempo con las señales en fase y cuadratura.

- **Equipos de grabación y reproducción.** Se cuentan con VTR's almacenando en cintas, Doremi que almacena en un disco duro es capaz de grabar y reproducir simultáneamente y por último un servidor que almacena el video en forma de archivos con una interfaz amigable entre el equipo y el usuario grabando dos entradas diferentes y reproduciendo otra.



Fig.4.19. Doremi



Fig.4.20. Receptores satelitales

- **Receptores Satelitales.** Se usan para recibir, sintonizar y en su caso descriptar señales provenientes de un satélite, en donde la entrada viene de una antena hacia el receptor y la salida de esta se envía hacia en distribuidor.

- **Master analógicos.** Sirven de protección en caso de que falle alguna mesa de control en donde las posibles fallas podrían ser: la caída del sistema, algún virus de programa o que no funcione adecuadamente el software. Al ser remplazada esta en el master analógico las señales de reproducirán con una betacam o un Doremi.



Fig.4.21. Master analógico

Ya que la señal esta preparada para ser transmitida se envía al siguiente modulo que es el de transmisión llamado Telepuerto.



#### 4.4.4. TELEPUERTO

De forma general puede ser constituido por una antena tipo Cassegrain, de primer foco o prime focus y antenas off-set (fuera de foco). Como se ve en la fig. 4.22 la tarea esencial del telepuerto es la de llevar a cabo el control de la red, lo cual incluye: intercomunicación entre nodos, conectividad con otras tecnologías, comportamiento del tráfico de señales, de comunicación constante con el proveedor del servicio satelital para evitar interferencia de usuarios intrusos, accesibilidad y facilidades a nuevos usuarios. Esta estación es totalmente trans-receptora y el tamaño de la antena, depende en gran medida de la capacidad de canales, relación entre estación y tierra; así como de la banda de frecuencias designada. Un ejemplo de esta estación, esta en la coordinación de las redes con acceso múltiple. A continuación se mostrara el diagrama del telepuerto de la DGTVE, y se explicara cada uno de los bloques.

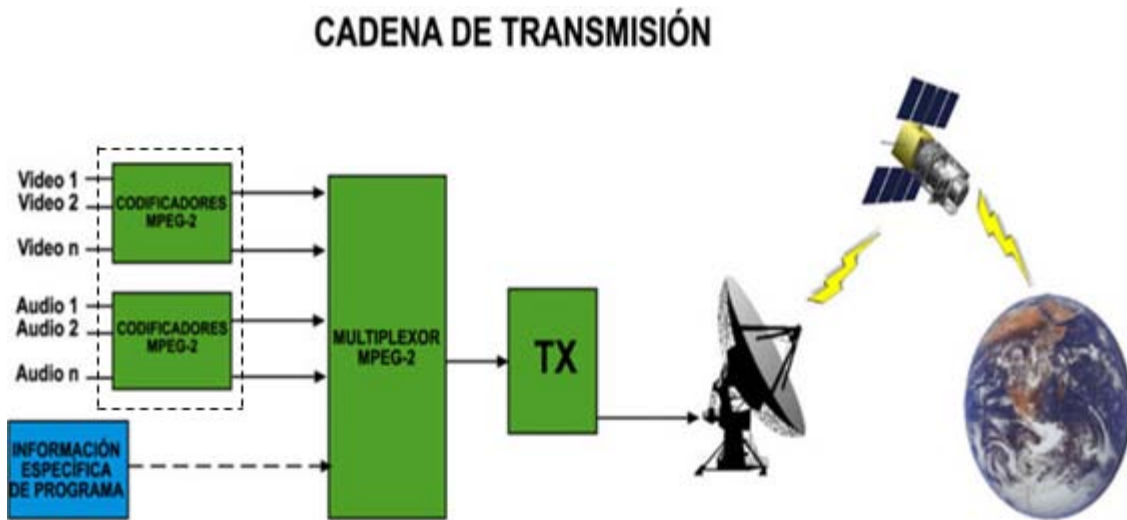


Fig. 4.22. Diagrama simplificado de la transmisión en una estación terrena (Telepuerto).

- **Encoders.** Reciben las señales (audio y video) de la central en forma digital para codificarlas bajo las normas del sistema DVB-S y métodos de compresión MPEG 2 cuyas características se muestran en la tabla 4.1.

Digital Video Broadcast es una organización europea que ha desarrollado normas, especificaciones y estándares para la transmisión de señales digitales vía satélite y por cable.

Cabe aclarar que bajo la tecnología DVB la señal se digitaliza, comprime, empaqueta, encripta y multiplexa la señal, también envía correcciones de error y modula señales en formatos NTSC y PAL para transmisiones vía satélite, además cuenta con un sistema de audio digital Dolby Stereo.

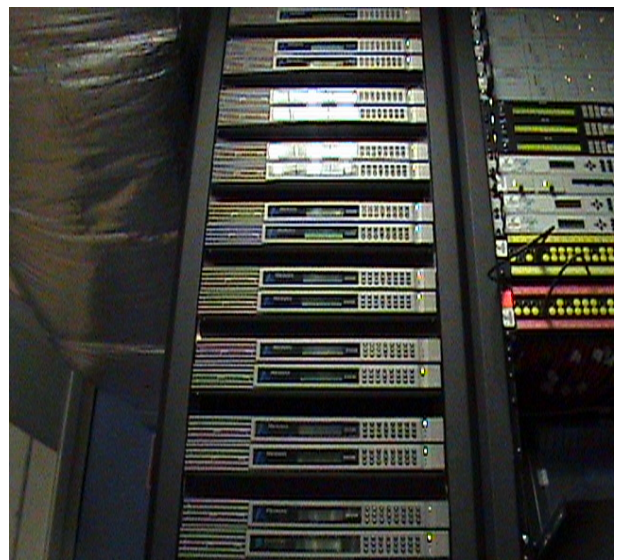


Fig.4.23. Encoders

## SISTEMA DVB

### a) Inversión de los bits de sincronismo en uno de cada ocho paquetes de la trama de transporte.

Cada paquete de la trama de transporte es de 188 bytes, lo que significa que la inversión de signo en los bits de sincronismo se repite cada 1,504 bytes.

### b) Inserción de un código aleatorio a la trama resultante.

La adición de éste código pretende garantizar que las características estadísticas de los datos sean prácticamente aleatorias. La aleatorización se obtiene realizando una suma OR exclusiva entre la secuencia de datos y una secuencia obtenida mediante un generador por registros de desplazamiento. La secuencia aleatoria se reinicializa cada 8 paquetes de la trama de transporte.

### c) Adición de un código de detección y corrección de errores de Reed-Solomon.

Este código se denomina código externo y es común en todos los estándares del DVB. Introduce 8 bytes de redundancia para cada paquete de 188 bytes.

### d) Aplicación de un entrelazado convolucional (Fournery)

Tiene como objetivo es dispersar las ráfagas de errores de canal. De este modo, si se produce una ráfaga de errores, debida a un desvanecimiento del canal, los errores afectarán a paquetes distintos y, probablemente, podrán eliminarse usando las propiedades correctoras de los códigos interno y externo.

### e) Inserción de un segundo código protector de errores.

Este código recibe el nombre de código interno y es de naturaleza convolucional. El grado de redundancia que introduce éste código no está fijado de antemano y puede configurarlo el proveedor del servicio para adaptarse a las características del sistema que desee utilizar (potencia de transmisión, tamaño de las antenas transmisoras y receptoras, tasa de datos disponible, etc.).

### f) Modulación de la portadora mediante QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)

Tabla 4.1

En total se tienen dieciocho encoders de los cuales dos se dejan libres en caso de que algún otro falle, en su caso el cambio se hace tanto física como lógicamente, de los dieciséis restantes se envían a la entrada de los multiplexores.



Fig.4.24. Multiplexores

- **Multiplexores.** Es un equipo que tiene la capacidad de recibir hasta 20 canales de entrada, los cuales provienen de los encoders, por uno de salida. El tipo de multiplexaje que emplea es el TDMA (*Time Division Multiple Access* o Acceso Múltiple por División de Tiempo) el cual esta caracterizado por el uso de ranuras de tiempo asignadas a cada portadora. Existen otras variantes a este método, el más conocido es DAMA (*Demand Assigned Multiple Access* o Acceso Múltiple por Asignación por Demanda), el cual asigna ranuras de tiempo de acuerdo a la demanda del canal.

Las características de esta técnica de multiplexaje se mencionan a continuación.

MÉTODO	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
TDMA	Asignación de ranuras de tiempo. Cada portadora ocupa diferentes ranuras. Se recomienda para muchos nodos con tráfico moderado. DAMA se recomienda para muchos nodos con poco tráfico. TDMA tiene una capacidad del 60% al 80%.	-Optimización del ancho de banda  -La potencia y ancho de banda del transponder es totalmente utilizado.	-Tiempos de guarda y encabezados reducen el caudal eficaz.  -Requiere de sincronización centralizada.  -Terminales de alto costo

Tabla 4.2

En todo sistema de comunicación se tiene que trabajar con redundancia, esto quiere decir que debemos tener una protección en caso de alguna falla en el equipo. Por tal motivo, a partir de este punto se cuenta con un sistema redundante en los siguientes equipos hasta antes de la antena.

- **Sistema de encriptamiento.** Para transmitir programación restringida se hace uso de la encriptación (encapsulamiento de tramas). Para desencriptarlo se hace uso de tarjetas con códigos, las cuales se les proporcionan a los usuarios de la red.
- **Modulador.** Este equipo utiliza la modulación QPSK la cual se explico en el Capítulo II. En la salida entregan una señal modulada con una IF (*Intermediate Frequency* o Frecuencia Intermedia) de 70 MHz



Fig.4.25. Moduladores



Fig.4.26. Up Converters

- **Up Converter (Convertidor Ascendente).** Toma la señal modulada de 70MHz y la transfiere a una frecuencia más alta para poder radiarla efectivamente a la atmosfera, esta es la frecuencia de radio enlace ascendente en un valor prescrito en la banda de transmisión para servicio satelital (C o Ku). Sin embargo, aún con esta señal, el nivel de potencia es muy bajo para poder atravesar la atmosfera, por lo que es necesario amplificarla.

- **HPA (*High Power Amplifiers* o Amplificador de Alta Potencia).** El nivel de potencia requerido para la transmisión por canal es de hasta 750W o menor, como por ejemplo en la DGTVE es de 100 a 150W. Los dos principales tipos de amplificadores de alta potencia son el TWT (*Traveling Wave Tube* o Tubo de Onda Progresiva o Viajera) y el Klystron. Adicionalmente, los SSPA (*Solid State Power Amplifier* o Amplificador de Potencia de Estado Sólido), son utilizados en estaciones pequeñas. Dependiendo del número de portadoras a transmitir por la estación terrena, se elige el tipo de amplificador de alta



potencia. En ocasiones la potencia puede ser de bajo nivel como consecuencia de transmitir solo una portadora de radiofrecuencia, para tal circunstancia se utilizan amplificadores de baja potencia hechos de tecnología de estado sólido.

El TWT y el Klystron son amplificadores utilizados en estaciones para múltiples cadenas ascendentes y se utilizan de acuerdo a los servicios de transmisión y dependen de la distancia de la estación terrena con respecto al satélite, el tamaño de la antena y las condiciones atmosféricas.



Fig.4.27. HPA

- **Reflectores Parabólicos.** Las antenas parabólicas tipo Cassegrain situadas en la azotea de la DGTVE se caracterizan por llevar un segundo reflector cerca de su foco, el cual refleja la onda radiada desde el dispositivo radiante hacia el reflector en las antenas transmisoras o refleja la onda recibida desde el reflector hacia el dispositivo detector en las antenas receptoras.



Fig.4.28 Antenas tipo Cassegrain de 7.6 metros de diámetro

El reflector principal es un paraboloide que refleja la radiación incidente hacia el foco primario. El reflector secundario hiperbólico, llamado también subreflector, posee un foco en común con el reflector parabólico, y el sistema de alimentación está situado en el foco secundario, de manera que el centro de fases del alimentador coincide con el foco secundario del hiperboloide. El paraboloide convierte una onda plana incidente en una esférica dirigida hacia el foco primario, que es entonces reflejada por el subreflector para formar una onda esférica incidente en el alimentador, como se muestra en la fig. 4.28.

El diseño de la antena Cassegrain se lleva a cabo asumiendo normalmente que el alimentador se comporta como transmisor, y aplicando entonces el teorema de reciprocidad para conocer cómo la antena se comporta en recepción. Así, es necesario un alimentador con un diagrama de radiación tal que el subreflector intercepte la mayor parte de la potencia transmitida.

- **Monitoreo de regreso satelital.** Se refiere a la supervisión del regreso satelital de las señales donde se tiene como finalidad observar que no haya interferencias midiendo los parámetros de la señal portadora ya que esta se debe mantener con buena relación señal a ruido (S/N). En esta parte del telepuerto se cuentan con instrumentos de medición como analizadores de espectro como el de la fig. 4.29; sistemas de demodulación, decodificación, descryptamiento y monitores de imagen con el fin de visualizar el regreso satelital de los canales.



Fig.4.29 Espectroscopio mostrando el BW de la portadora de los 16 canales de la Red Edusat

El diagrama general de la estructura del telepuerto de la DGTVE se muestra a continuación:

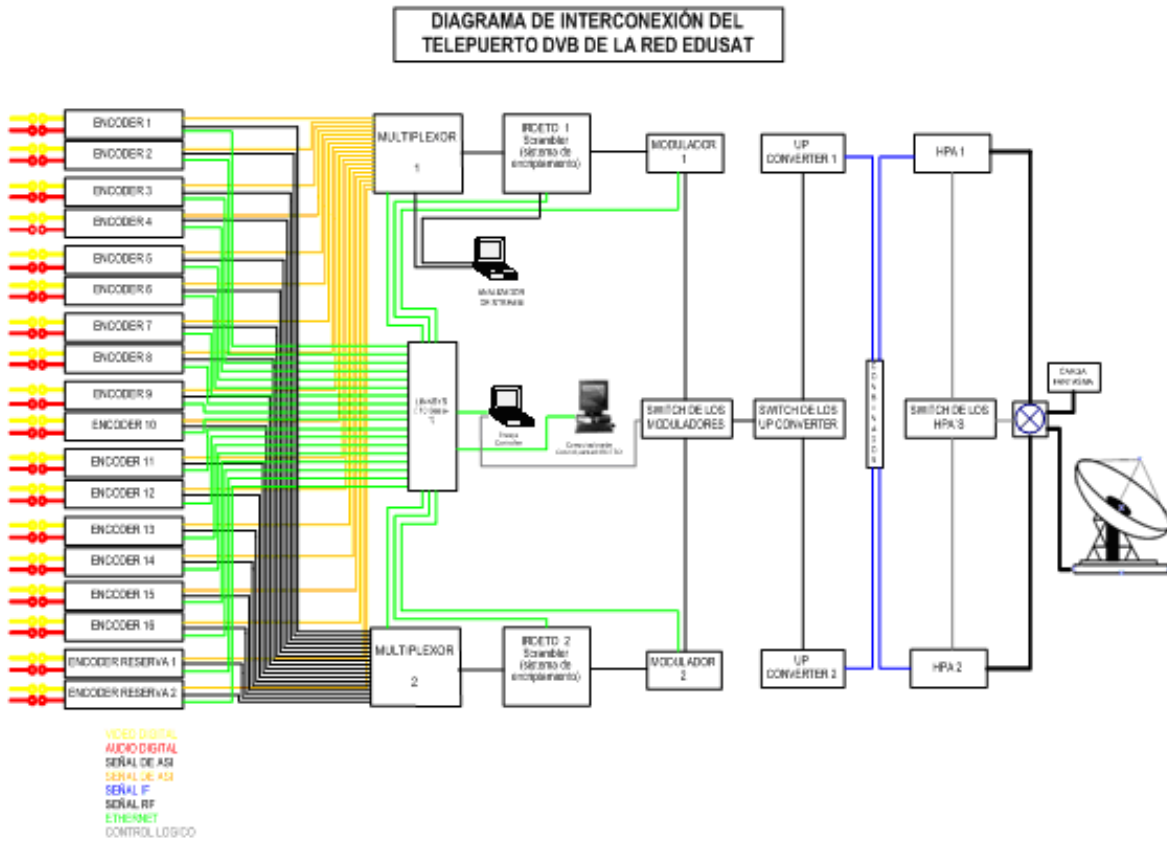


Fig. 4.30. Diagrama general del Telepuerto de la DGTVE

## 4.5. SATÉLITE

La comunicación vía satélite se refiere a todo tipo de comunicación cuyo soporte de enlace es un satélite espacial en órbita terrestre, que en virtud de su posición es capaz de cubrir grandes áreas terrenales o continentales mediante la reflexión ó repetición de señales de radiofrecuencia.

Un satélite artificial se puede precisar como un objeto no tripulado puesto en órbita alrededor de la tierra, que sirve como repetidor de una señal para su transmisión y difusión.

Los satélites han revolucionado el universo de las comunicaciones al proporcionar enlaces por todo el mundo y retransmisiones en directo. El satélite inicia su operación a partir de una señal que recibe procedente de una estación en tierra (*enlace ascendente*), la cual es captada, amplificada y procesada para ser cambiada en frecuencia y retransmitirla hacia una estación receptora en tierra (*enlace descendente*).

Como se dijo al principio del capítulo, la difusión de las señales de los canales de la Red Edusat se realiza con el satélite Satmex V utilizando dos transpondedores de 36 MHz (uno para el ILCE y otro para la DGTVE) teniendo mejores cualidades que sus antecesores, el Morelos y el Solidaridad II. Algunas de sus especificaciones como son los parámetros de potencia, características técnicas y servicios que ofrece, se presentan a continuación.

- **Huellas de cobertura del satélite Satmex 5.** Son básicamente las zonas de cobertura de la señal que están en función de la potencia. La huella de potencia viene definida de acuerdo a la anchura del haz de la antena transmisora del satélite. La banda que se utiliza para transmisión en la Red Edusat es la banda Ku 2. Cada área está definida por los Spots del satélite divididos en las zonas de la fig. 4.31.



Fig. 4.31. Huellas de cobertura del Satmex 5 según la banda que se utilice

- **Especificaciones del Satélite Satmex 5**

	36 MHz Banda C	36 MHz Banda Ku
PIRE (dBW) en la orilla de la cobertura	39	Ku 1: 49.0; Ku 2: 46.0
G/T (dB/°K) en la orilla de la cobertura	-2	Ku 1: 0; Ku 2: -1.5
Densidad de flujo de saturación (dBW/m <sup>2</sup> )	-93	Ku 1: -93; Ku 2: -95
No. de transpondedores	24	24
Redundancia	30 TWTA's para 24 canales	32 TWTA's para 24 canales
Rango de atenuación de entrada	0 a 15 dB en pasos de 1dB	0 a 20 dB en pasos de 1dB
Inicio de operación	Enero de 1999	
Vida estimada	Más de 15 años	

Tabla 4.3

El transpondedor de 36 MHz que utiliza la DGTVE es el tp 24 en banda Ku como se dijo anteriormente, y cuyo segmento cubre todo en continente americano proporciona buenos niveles de potencia y así brindando excelentes servicios como transmisión de señales de televisión.

- Beneficios del Satmex 5

Satmex 5 es un exitoso satélite que proporciona servicios de comunicación ideales para potenciar todo tipo de negocios:

- Aplicaciones de banda ancha
- Telefonía rural y de larga distancia
- Distribución de video
- Transmisión de datos
- Distribución de contenido multimedia

Pertenece a la familia B-601HP de alta potencia y de estabilización triaxial. Su diseño lo dota con más de 7,000 watts de potencia para la operación de la carga útil. Este satélite cuenta con cobertura en las siguientes regiones:

- Banda C: Continental
- Banda Ku: NAFTA y continental

**Beneficios adicionales:**

- Cobertura continental en las bandas C y Ku
- Reducción en el tamaño de antenas
- Flexibilidad en la configuración de redes de usuarios
- Huella en banda Ku dedicada a Norteamérica con excelente ángulo de elevación

**4.6. PUNTO RECEPTOR**

La Red Edusat cuenta con mas de 30,000 puntos receptores en todo el continente americano los cuales perteneces a diferentes instituciones tanto publicas como privadas, por este motivo la programación de de cada uno de los canales es muy variada ya que esta depende de la petición de cada institución u organismo.



**Fig. 4.32.** La programación de la Red Edusat esta dirigido a diversos sectores sociales e institucionales

➤ **CARACTERÍSTICAS DE LA PROGRAMACIÓN DE LOS CANALES DE LA RED EDUSAT**

Parte sustancial de la programación de la Red Edusat está integrada con producciones y eventos académicos de instituciones educativas y culturales de México, mostradas en la lista de abajo, así como de otros países y organismos internacionales.

ANUIES		CUAED		INBA
ATEI		DGETI		INEA
Barra temas de maestros		DGSCA		TV UNAM
Canal 117 Radio Edusat		DGEAD		IPN
CECATI		Edusat en el aula		Oficialia Mayor
CECTE		El mundo en diez respuestas	PROCAD	PROCAD
CETE		IFE	PROFECO	PROFECO
CONADE		EMSAD	Red Escolar (ILCE)	Red Escolar (ILCE)
CONAFE		Fiscal.com	SEPA INGLÉS	SEPA INGLÉS
CONALEP		IFE	Telesecundaria	Telesecundaria
		IMSS-SOLIDARIDAD		

Básicamente cada canal de la Red Edusat está dirigido a determinados grupos de personas o instituciones como se menciona a continuación.



### **TELESECUNDARIA. (DGTVE)**

Transmite básicamente Telesecundaria, modalidad escolarizada de educación básica del Sistema Educativo Nacional en un horario de lunes a viernes de 8:00 a 14:00 hrs., con retransmisión de 14:00 a 20:00 hrs. Los sábados de 8:00 a 15:00 hrs. se programa EMSAD, opción que permite concluir el Bachillerato o sus niveles equivalentes. Este canal también cuenta con una barra de interés general con temas de Telesecundaria, educación para la sociedad, así como programas sobre tradiciones y costumbres de los diferentes estados de la República



### **MODELOS CURRICULARES A DISTANCIA. (DGTVE)**

Este canal dedica su programación a los cursos de EMSAD (Educación Media Superior a Distancia), modelo educativo que integra recursos tecnológicos de punta en los procesos de enseñanza aprendizaje en Educación Media Superior. El propósito general de este proyecto educativo es el asegurar la incorporación de todos aquellos alumnos rezagados, total o parcialmente que deseen continuar estudios en instituciones de educación superior. Este canal cuenta con la barra SEA (Secundaria a Distancia para Adultos), opción educativa dirigida a las personas adultas que no han cursado o no concluyeron sus estudios de secundaria y por múltiples razones no pueden incorporarse al sistema educativo tradicional que demanda la asistencia diaria a la escuela.



### **EDUCACIÓN SUPERIOR, MEDIA SUPERIOR Y FORMACIÓN CONTINUA.**

Sus contenidos se relacionan con diseños curriculares de educación a distancia, semipresencial y escolarizada de diversas instituciones del sector educativo nacional, fundamentalmente de los niveles medio superior y superior. Incluye, asimismo, emisiones de apoyo a la maestría y otros cursos impartidos por el CECTE (Centro de Estudios en Comunicación y Tecnología Educativa) del ILCE, así como para programas de formación continua y capacitación para el trabajo de organismos del sector público de México.



### **FORMACIÓN DOCENTE Y CAPACITACIÓN. (DGTVE)**

La programación de este canal la integran la Oficialía Mayor que presenta cursos con características operativas y teóricas sobre paquetería básica, intermedia y avanzada en informática, Internet y correo electrónico. Propuesta de educación a distancia para los trabajadores de la Secretaría de Educación Pública que pretendan capacitarse o consolidar sus conocimientos y habilidades en programas de computación.



### **EDUCACIÓN BÁSICA, EDUCACIÓN NORMAL Y EDUCACIÓN PARA LA SOCIEDAD.**

Se transmiten barras de programación que apoyan la formación, capacitación y actualización de maestros de educación básica, así como la secundaria a distancia para adultos y los cursos de SEPA Inglés. También se emiten barras temáticas de interés para maestros y alumnos de educación primaria y secundaria, Cine Club para maestros de todos los niveles educativos y materiales que auxilian programas de atención a comunidades rurales e indígenas como el de IMSS-SOLIDARIDAD.



16



### ESPACIO EDUSAT.

Una parte de sus transmisiones apoya cursos y programas de educación a distancia dirigidos a diversos grupos de población, así como la actualización docente y la formación continua. Adicionalmente, con el fin de estimular nuevos hábitos de exposición al medio televisivo, incluye una variada programación para gente de todas las edades, con los acervos de mayor calidad de la Red Edusat y con contenidos educativos no formales sobre temas de permanente atención por parte de la Secretaría de Educación Pública, incluyendo las diversas manifestaciones del arte y la cultura universales.



### EDUCACIÓN SUPERIOR Y EDUCACIÓN CONTINUA. (DGTVE)

Este canal transmite maestrías en Pedagogía y Desarrollo Educativo, además de teleconferencias y cursos dirigidos al personal docente de la Universidad Pedagógica Nacional (UPN).

18

### ACTUALIZACIÓN PROFESIONAL Y CAPACITACIÓN LABORAL PARA EL SERVICIO PÚBLICO.

Su programación se establece a partir de diversas modalidades de cooperación en la transmisión, producción y coproducción con dependencias del sector educativo nacional o del servicio público federal y estatal. Las transmisiones apoyan directamente funciones sustantivas de cada institución participante, como son sus proyectos internos de capacitación y actualización, de coordinación sectorial, eventos especiales y otros.



### CANAL 23: CANAL DE LAS ARTES (CNA)

Amplia el acceso a la oferta académica y artística del CNA (Centro Nacional de las Artes), además de que difunde los productos generados por diversas entidades del CONACULTA, así como de las instituciones culturales de los estados, en relación con la educación y la difusión de las artes.



### CANAL 24 APRENDE TV

Con el canal Aprende TV aprender será entretenido para toda la familia, porque la oferta educativa y cultural de Aprende TV abarca opciones para todos los gustos, intereses y necesidades, desde el nivel preescolar, hasta los temas más especializados de carácter universitario.



### CANAL EDUCATIVO DE LAS AMÉRICAS

Los objetivos del canal son estrechar los lazos de hermandad entre los pueblos de América, lograr una visión alternativa para los distintos grupos de su población Latinoamericana, fortalecer vínculos internacionales y ampliar en forma cuantitativa y cualitativa la cobertura de nuestros servicios, utilizando como herramienta fundamental la televisión vía satélite a través de la Red Edusat.



## CANAL 28 TV UNAM

TV UNAM es el medio de expresión de la diversidad y riqueza cultural, artística, científica y de pensamiento universitarios a través de la producción y transmisión televisivas para fomentar la vinculación entre los universitarios y la de la Universidad con la sociedad. Representa una alternativa televisiva de calidad con una amplia penetración pública que divulga el pensamiento y la creación y que fomenta el desarrollo de los universitarios y de la sociedad.



## RADIO EDUCACIÓN.

Canal radiofónico de la Secretaría de Educación Pública, con programación de índole cultural, un marcado perfil de servicio social y de exploración de la producción radiofónica. Sus emisiones pueden ser sintonizadas en todos los centros educativos que cuentan con el sistema receptor



## INSTITUTO MEXICANO DE LA RADIO.

Programación radiofónica que difunde el quehacer cultural y musical de México y otros países. Conjunta la oferta de las emisoras Opus '94, Radio México Internacional y Horizonte 108 del IMER, e incluye una barra con producciones del ILCE. Sus emisiones pueden ser sintonizadas en todos los centros educativos que cuentan con el sistema receptor Edusat, y tienen posibilidad de ser retransmitidas por estaciones de radio en las diversas entidades y comunidades del país.



## RADIO EDUSAT.

Transmite contenidos de interés para la educación indígena. También se incluye la barra de la ONU que abordan temas del acontecer mundial discutidos en mesas redondas por los expertos y el espacio INBA que difunde lo más relevante del arte y la cultura en México.

### ➤ ESTRUCTURA DEL PUNTO RECEPTOR

Cualquier punto receptor en donde se quiera captar y sintonizar las señales de los canales de la Red Edusat esta compuesto por los componentes que se muestran en la siguiente figura.



**Fig. 4.33.** Diagrama básico de un punto receptor



En el receptor deben realizarse las operaciones inversas para tener acceso a la trama de transporte que soporta la información de los programas de televisión en formato MPEG-2. El estándar DVB-S proporciona suficiente flexibilidad como para que el operador del servicio pueda decidir el contenido de los programas de televisión que proporciona.

En función de las características del enlace puede seleccionarse el código de protección de errores interno. En transmisiones con un ancho de banda de 36MHz es habitual utilizar códigos internos 3/4 (3 bytes de datos, 1 de redundancia), con lo que se consiguen tasas de datos de unos 39Mbps. A continuación se muestra el diagrama a bloque del receptor satelital.

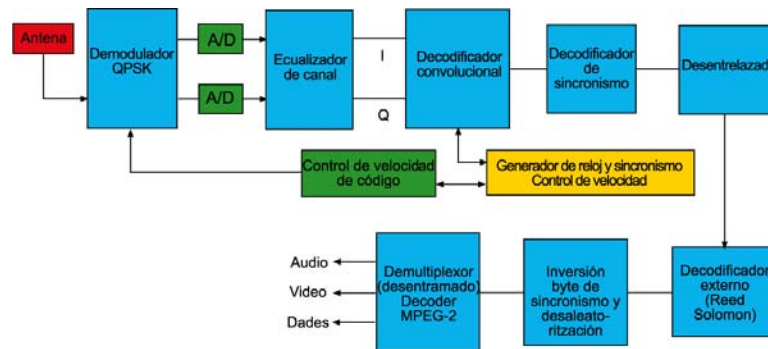


Fig. 4.34. Decodificación de los paquetes de datos DVB

En el mercado de las telecomunicaciones hay una amplia variedad de decodificadores (receptores) disponibles. Cada marca y modelo tiene una apariencia distinta y presenta características diferentes en la calidad de la imagen y del sonido.

Los decodificadores que se utilizan en la Red Edusat son Marca Zinwell, modelos ZDX-7100CI y ZDX-7100IRCI que reciben y procesan las señales del satélite con la más avanzada tecnología para la descompresión digital; ofrecen una excelente calidad en la imagen y sonido a través de la recepción digital; además de ser equipos estéticos con una impresionante simplicidad para su manejo. Todos estos equipos están contruidos bajo normas estrictas y diversas pruebas de laboratorio.

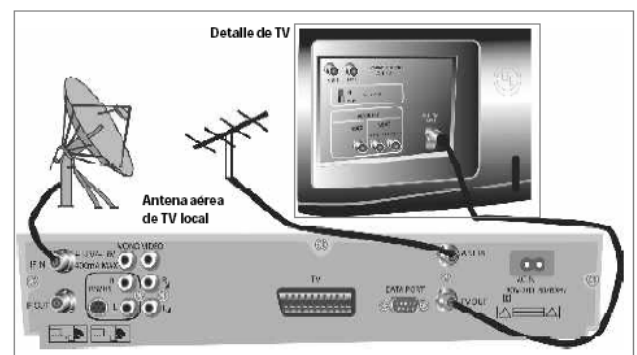


Fig. 4.35. Decodificador Zinwell y diagrama de conexión



# MIGRACIÓN HACIA LA ALTA DEFINICIÓN EN LA DGTVE

## 5.1. INTRODUCCIÓN

Sin duda alguna, la tecnología en las empresas de telecomunicaciones va desarrollándose a grandes pasos, y en la Dirección General de Televisión Educativa (DGTVE) no es una excepción ya que también esta en constante cambio tecnológico, haciendo todo lo posible para estar siempre a la vanguardia y a la altura de las grandes televisoras de América latina; todo esto con el objetivo de brindar el mejor servicio (calidad en imagen y sonido) a los televidentes que sintonizan la programación de los canales de la Red Edusat con el menor costo en equipo de producción, transmisión y renta del servicio satelital.

Desde sus inicios, la Red Edusat ha tenido varias etapas de cambios. Como se menciona en el Capítulo 4, en un principio se estableció un sistema de televisión nacional con una plataforma analógica en la que se utilizaba el satélite Morelos II, siendo el primer cambio, la migración hacia un sistema basado en tecnología satelital digitalizada la cual tuvo solución con la concesión para transmitir usando el satélite Solidaridad II y mas tarde, en 1998, se cambio hacia el Satmex 5 ya que este tiene una potencia de diez veces mayor a la que tenía el Morelos II, y tres veces superior a la de Solidaridad I, lo que nos brinda mejoras en términos de cobertura y volumen de oferta.

En lo que se refiere a las normas de televisión internacionales, la utilizada por la DGTVE es la DVB para transmisión satelital, o bien, DVB-S que se caracteriza por brindar programación multicanal en poco ancho de banda (básicamente 36MHz de un transpondedor) y despreciar las pérdidas por interferencias gracias a los métodos de modulación digital que utiliza.



Logo 5.1

Tomando en cuenta lo anterior, pensaríamos que la DGTVE opera con la mas alta tecnología en cuanto a producción y transmisión de programas vía satélite, sin embargo estaríamos en un grave error, ya que existe algo mejor que la simple SDTV (*Standard Definition Television* o *Television Digital con Definición Estándar*) o solo SD, parecida a la programación de televisión abierta que sintonizamos en nuestros hogares; por supuesto que hablamos de la **Televisión de Alta Definición**, que como ya se dijo en los capítulos anteriores, nos brinda mucha mejor calidad en imagen y sonido.



Logo 5.2

El objetivo de este capítulo es proponer la migración de todos los sistemas que intervienen en una televisora hacia la alta definición; desde su origen en los estudios hasta su visualización en los puntos receptores los cuales serian las instituciones educativas, gubernamentales y/o privadas. Todo esto con el compromiso de brindar una mejor calidad en la educación del pueblo mexicano y gran parte de Latinoamérica.

Esta propuesta pretende dos cosas: cambiar el sistema empleado para la transmisión de material audiovisual; y la segunda, cambiar el equipo utilizado tanto en producción, como en la transmisión y recepción de programas, para poder trabajar con HD. Dicho objetivo se pretende alcanzar analizando cada norma o sistema que permite la difusión o transmisión de televisión digital y en este caso televisión en alta definición para optar por la mejor opción en cuanto a calidad, costo de equipo y eficacia en lo que se refiere a interoperabilidad con otros sistemas.

Se necesitara de investigar todos y cada uno de los equipos que componen el proceso de la señal en cada área de la televisora para identificar las mejores marcas y también se hará un estudio de la infraestructura de dichas áreas (Estudio, Telepuerto, etc.) para conocer si están aptas para la interconexión entre los equipos.

Hay que tomar en cuenta que en la DGTVE se cuenta con una videoteca, la cual tiene material audiovisual (contenidos en cintas de carácter analógico) con características de televisión en formato SD, el cual todavía será utilizado para su transmisión, por lo que hay que evitar el desuso de este, no obstante que poco a poco serán reemplazados por los nuevos formatos de almacenamiento para HD.



**Fig.5.1** Transferencia de cintas en formato SP y SX a los nuevos dispositivos de HD

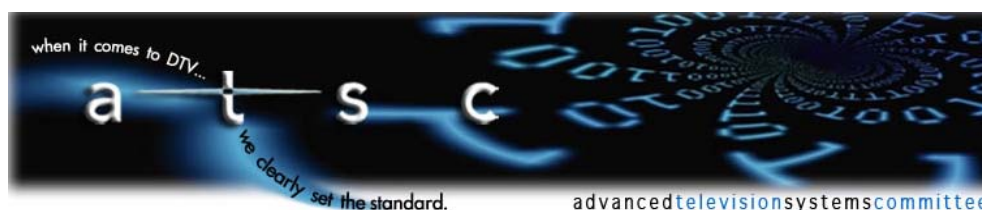
En primera instancia se citaran los estándares que rigen la HDTV en donde se plantean las dos posibles alternativas que se tienen para empezar la migración. Una vez que se eligió algún estándar, se mencionan las características y las consideraciones que debemos tomar en cuenta para la sustitución del equipo.

Durante el desarrollo de este trabajo se tendrán que hacer las memorias técnicas para tener un panorama de cómo quedaría posiblemente la instalación del equipo y su interconexión para cada área.

Por ultimo se desarrollará el calculo de enlace satelital el cual tiene como objetivo definir los parámetros con los que trabajara nuestro nuevo sistema de transmisión, y así darnos cuenta si tendrá una buena operatividad.

## 5.2. FUNDAMENTOS Y CONSIDERACIONES

En el Capitulo 3 hablamos de las características de dos de los sistemas de televisión digital que existen detallando y comparando las ventajas que nos ofrece cada uno. Por una parte tenemos el sistema norteamericano ATSC el cual ha sido adoptado aquí en México para la difusión de televisión terrestre ya que como se dijo anteriormente, ofrece tanto programación multicanal en formato SD como programación en alta definición en los 6MHz de ancho de banda que se tienen asignados para la televisión analógica. En cuanto a la difusión vía satélite utilizando este sistema ya se tienen las normas y especificaciones que este establece (apartados A-79 y A-80) y que deben tomarse en cuenta para la transmisión de televisión digital. El inconveniente es que aún no se ha puesto en práctica el uso de este método, y esto se debe a la aceptación y el buen rendimiento que esta ofreciendo DVB-S actualmente.



**Logo 5.3**

La segunda opción que se tendría es la de seguir usando DVB, que como se dijo, es un sistema europeo de gran eficacia ya que este se subdivide según la manera en que se va a utilizar: DVB-T para TDT (Televisión Digital Terrestre), DVB-C para CATV (*Community Antenna Television* o Televisión de Antena Comunitaria o por Cable), DVB-S para televisión por satélite y DVB-H para televisión móvil.



Logo 5.4

Cabe mencionar que en México no se usará DVB-T ya que se estima que el sistema ATSC es mejor en cuanto a funcionalidad e interoperabilidad con otros sistemas como en CATV, característica que DVB-T no lo tiene.

Con lo que respecta a transmitir empleando el sistema DVB-S, su gran eficacia ha permitido su aceptación en grandes empresas en México como son Televisa y TV Azteca. En la DGTVE, la norma DVB-S fue adoptada suplantando al sistema DC II (*Digi Cipher II*). El sistema DC II es la norma usada anteriormente y se minimiza con respecto a la amplia aceptación de DVB basado en la compresión en TDT (aunque no por CATV o por DVB-S), tanto DVB como DC II son incompatibles.

La principal diferencia entre DC II y DVB radica en la manera en que cada norma se ocupa del Sistema de Información. DC II se basa en el hecho de que sus señales deben entenderse en términos de un número de canal virtual mientras que las señales DVB no tienen número de canal virtual.

Como se dijo anteriormente, nuestra tarea es que parte de la programación de la Red Edusat, básicamente los ocho canales que son producidos en la DGTVE se transmitan con calidad HD, desinteresándonos por los otros ocho restantes (cuatro del ILCE y cuatro de retransmisión), ya que estas instituciones emplean otro tipo de sistema como en el caso del ILCE que transmite con DC II y además no tenemos conocimiento del equipo que utilice ni del modo en que este interconectado su sistema.

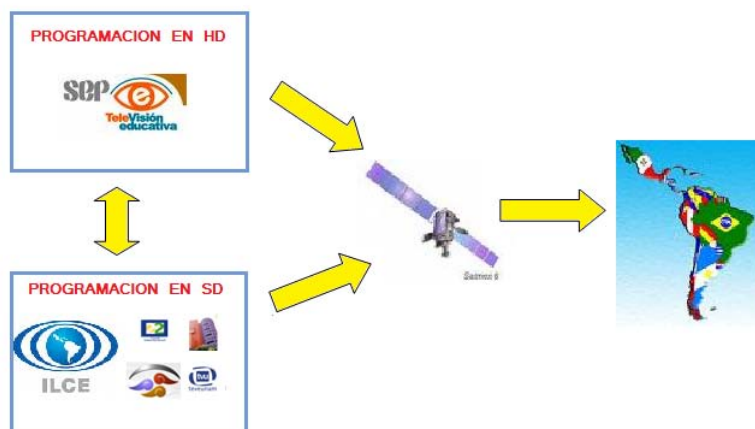


Fig.5.2 Canales que se transmitirán en HD y en SD al satélite Satmex 5 para Latinoamérica

Ahora bien, tenemos por enterado que DVB ha creado una nueva plataforma de transmisión satelital, se trata del DVB-S2 con mejores características que su antecesor. Transmitir con DVB-S2 permite un mejor ahorro en el ancho de banda que se va a ocupar, esto lo hace usando la modulación PSK en 8 y 16 niveles (8PSK y 16PSK), y teniendo como opción codificar con MPEG-4. Otra ventaja que se tiene es que la potencia de transmisión será menor a la que se utiliza con DVB-S.



Logo 5.5

Haciendo un estudio sobre el equipo con que aún se cuenta en las áreas de Control Maestro y Telepuerto nos damos cuenta que parte de este mantiene compatibilidad con DVB-S2, por lo que no se cambiará en su totalidad, si nos inclinamos a utilizar este sistema.

Teniendo en cuenta lo anterior, los costos en la adquisición de equipo bajarían notablemente, por lo cual hemos decidido que nuestro sistema siga siendo DVB utilizando su versión mejorada para transmisión vía satélite y descartando a ATSC ya que aún esta a prueba y nos daría cierto grado de desconfianza.

Con el punto anterior ya resuelto, ahora ya podemos empezar a trabajar solo con DVB-S2 que será la norma que emplearemos para transmitir nuestra programación en HD.

#### ➤ DVB-S CONTRA DVB-S2

Veamos ahora las características de DVB-S2, que es similar con DVB-S pero esta aporta nuevas mejoras.

La mejora de las capacidades de transmisión del estándar DVB-S2 sobre el estándar DVB-S se cifra alrededor de un 30%. Para lograr esta mejora, el DVB-S2 se ha beneficiado de los últimos avances en codificación de canal y modulación.

Las principales aplicaciones con las que el sistema DVB-S2 ha sido diseñado son:

1. Difusión para PBS (*Public Broadcasting Services* o Servicios Públicos de Punto-Multipunto) para distribución de SDTV y HDTV
2. Utilización de los servicios de datos interactivos IS (*Interactive Services* o Servicios Interactivos) que incluyen por supuesto el acceso a Internet. DVB-S2 ha sido diseñado para proveer servicios interactivos al IRD (*Integrated Receiver Decoder* o Receptor Decodificador Integrado) y al ordenador personal de los usuarios.
3. La DTV y el DSNG (*Digital Satellite News Gathering* o Seguimiento de Noticias Digitales por Satélite) con aplicaciones DTVC (*DeskTop Video Conferencing* o Video Conferencia de Escritorio) por satélite son transmisiones punto a punto o punto a multipunto, que conectan unidades “*up link*” fijas o móviles a estaciones de recepción. Son aplicaciones profesionales.
4. Distribución e intercambios de datos para aplicaciones profesionales. Estos servicios se realizan punto a punto o punto a multipunto.



Tabla comparativa				
PIRE del satélite (dBW)	51		53.7	
Sistema	DVB-S	DVB-S2	DVB-S	DVB-S2
Modulación y codificación	QPSK 2/3	QPSK 3/4	QPSK 7/8	8PSK 2/3
Velocidad por símbolo	27.5 (a = 0.35)	30.9 (a = 0.0)	27.5 (a = 0.35)	29.7 (a = 0.25)
C/N (27.5MHz) (Db)	5.1	5.1	7.8	7.8
Bitrate útil (Mbps)	33.8	46 (+36 %)	44.4	58.8 (+32 %)
Nº de programas SDTV	7 MPEG-2 15 AVC	10 MPEG-2 21 AVC	10 MPEG-2 20 AVC	13 MPEG-2 27 AVC
Nº de programas HDTV	1-2 MPEG-2 3-4 AVC	2 MPEG-2 5 AVC	2 MPEG-2 5 AVC	3 MPEG-2 6 AVC

**Tabla 5.1** Comparación entre DVB-S y DVB-S2 para un PIRE de 51 y 53.7 dBW

Otras ventajas que ofrece son:

- Radiodifusión vía satélite DVB-S2 basada en el uso de modulaciones de alta eficiencia espectral PSK (*Phase Shift Keying* o Desplazamiento de Fase) y APSK. (*Amplitude and Phase Shift Keying or Asymmetric Phase Shift Keying* o Desplazamiento de Amplitud y Fase o Desplazamiento de Fase Asimétrico), que es el conjunto de ASK (*Amplitude Shift Keying* o Desplazamiento de Amplitud) y PSK, permitiendo el uso de 16APSK y 32APSK.
- Eficiencia en términos de capacidad de canal (régimen binario) 30 % superior a DVB-S para un mismo PIRE y ancho de banda.
- Perfil interactivo que permite un modo adaptativo del FEC (*Forward Error Correction*) y la modulación trama a trama según las condiciones de propagación del canal para trabajar con relaciones C/N (*Carrier to Noise* o Portadora a Ruido) muy bajas.
- Los nuevos códigos de protección frente a errores deben ser muy potentes ya que la detección de portadora y sincronismo se convierte en un serio problema debido a:
  - El alto nivel de ruido térmico de las antenas actualmente instaladas.
  - El alto nivel de ruido de fase en un LNB de consumo.
- Codificación (compresión) H264/AVC o VC-1 y pretende reducir el régimen binario necesario para una calidad MPEG-2 equivalente en un factor de 2 a 3.
- La alta definición empieza a ser algo factible.
- Se abren las puertas al mundo del webcasting que es similar a un programa de televisión' pero diseñado para ser transmitido por Internet. Las aplicaciones clientes de Webcast permiten que un usuario conecte con un servidor, que está distribuyendo (webcasting) el webcast. Inicialmente, los webcasts no eran interactivos, por lo cual el cliente sólo miraba la acción ya grabada, sin poder alterar nada de la historia o los personajes. Si hay un



presentador, se usa el webcast como un material de apoyo, junto con la video conferencia para así luego poder distribuir las notas de la presentación junto con el webcast.

- Los servicios a terminales personales pueden pasar a ser un área de expansión de la radiodifusión clásica.
- Su utilización conjuntamente con los descriptores “*metadata*” (información acerca de los datos utilizados) y los dispositivos locales de almacenaje permiten:
  - Servicios virtuales de VoD (*Video on Demand* o Demanda sobre Video)
  - Emisiones dirigidas a usuarios de perfil específico
  - Sistemas censales de medición de audiencias
  - Mecanismos de privacidad y seguridad
- Estándares definitivos y disponibilidad de dispositivos en mercado. Pantallas 1,080p, 1,080i y 720p
- Canal de retorno para televisión interactiva

La principal desventaja del DVB-S2 es que ya hay muchos millones de receptores-decodificadores DVB-S desplegados por todo el mundo.

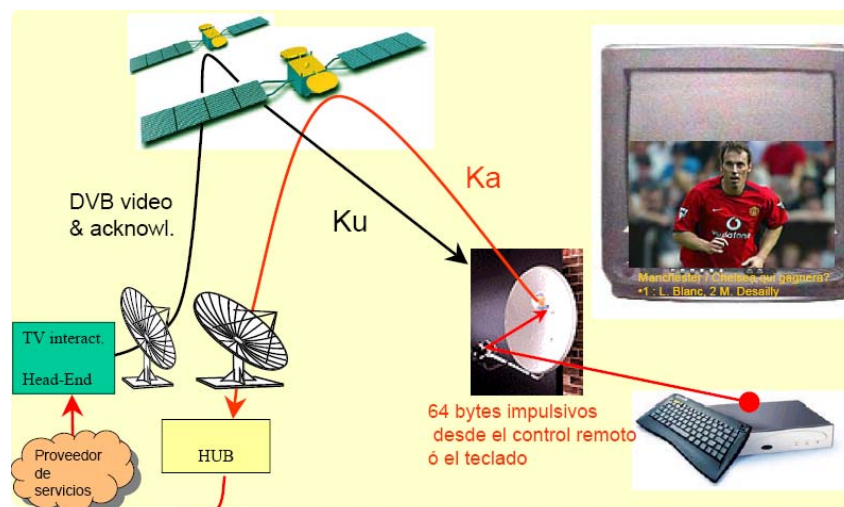


Fig.5.3

### 5.3. CARACTERÍSTICAS DEL NUEVO SISTEMA

En este punto señalaremos cada una de las características esenciales del sistema de transmisión y todos los parámetros que hay que considerar, ya que con base en estos podemos elegir el equipo para implementar nuestra red.

- La velocidad de transmisión considerando que serán ocho canales en HD cada uno con sus 5.1 canales de audio y ocho en formato SD con audio monoaural, más los cuatro canales de radio nos da una velocidad de transmisión de 85.0688 Mbps, cantidad cuyo calculo se efectuara mas adelante.

- La norma que utilizaremos en nuestro sistema de transmisión será DVB-S2 con las características de modular en 16PSK y compresión MPEG-4 (H-264 AVC).
- Codificación de audio Dolby Digital para hasta 5.1 canales.
- Ancho de banda en el transpondedor de al menos 36MHz ya que el nuestro es de 35.7303MHz, usando el satélite Satmex 5, para transmisión en banda Ku (frecuencias entre 10.7 y 12.75GHz).

Los parámetros que se muestran a continuación son derivados de los resultados obtenidos en la parte de arriba ya que si estos cambiarán obtendríamos diferentes valores.

- Factor de modulación: 0.25
- Roll off: 1.14
- Factor Reed-Solomon: 1
- FEC: 4/5

Habiendo establecido todas las características que tendrá el sistema de transmisión es importante detallar las condiciones que debe poseer el equipo que se va a instalar ya que este debe ser totalmente compatible con formatos HD y SD porque no hay que olvidar que no solo queremos transmitir la programación en alta definición de la DGTVE sino también canales en definición estándar procedentes de otras instituciones.

**Estudios de producción.** Tanto cámaras como consolas de audio y video así como los dispositivos de almacenamiento, tendrán que ser compatibles para HD y SD.

**Central de Conmutación y el Master.** Se dispondrán de equipos de medición como vectorscopio y forma de onda para HD y SD; equipos de visualización de imagen los cuales pueden ser pantallas LCD o plasma; procesador de señales de audio y video para alta definición.

**Telepuerto.** En esta área las condiciones del equipo tienen otro tipo de condiciones por ejemplo los encoders para MPEG-4, audio Dolby, norma DVB-S2; los multiplexores para transmisión TDMA (*Time Division Multiple Access* o Acceso Múltiple por División de Tiempo) de 18 entradas (16 canales y otros 2 de reserva o protección); los moduladores para 16PSK que operen con velocidad mínima de 100Mbps y una FI de 70MHz y las antenas para banda Ku con capacidad de ser transreceptoras.

**Puntos Receptores.** Las antenas deben recibir en Banda Ku y podrán ser solo receptoras o bien transreceptoras, esto por si en algún futuro nuestro sistema pudiera ser interactivo y cuyo canal de retorno sería precisamente por medio del satélite; el receptor debe tener como principal característica decodificar señales con la norma DVB-S2 y sistema de descryptación IRDETO, aparte de poseer conectores especiales de salida para HD y audio Dolby; las pantallas deberán reproducir varios formatos de resolución de video.

## 5.4. CAMBIOS Y NUEVO DISEÑO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN Y TRANSMISIÓN

### 5.4.1. CAMBIOS EN LA INFRAESTRUCTURA DE LA TELEVISORA (DGTVE)

En este punto se analizarán cada una de las áreas para conocer los equipos que tienen que ser cambiados, pero también saber que equipos son compatibles a la alta definición según los avances de la investigación realizados en este proyecto.

#### ➤ ESTUDIOS

En esta área la televisora cuenta con el equipo fundamental para poder producir programas en alta definición.

La **iluminación** empleada en el estudio es de luz fluorescente la cual es óptima para que las cámaras trabajen de manera eficaz.

Las **cámaras** que se utilizan en el estudio son marca Panasonic Modelo AK-HC930P las cuales trabajan con tecnología CCD, dispositivo con alta sensibilidad a la luz con dimensiones de 2/3 de pulgada y permiten captar escenas en alta definición. Por medio de un cable triaxial manda la señal de video al control de cámaras para hacer los ajustes necesarios en la imagen.

El **mezclador de video** Kahuna de la marca Snell & Wilcox, es el más moderno del mundo. Puede procesar en forma simultánea, sin tarjetas especiales, señales de video digitales de televisión estándar y en cualquier formato autorizado de HD, como 1,080i, 1,080p y 720p. Es el único switcher del mercado que tiene esta capacidad al día de hoy.

Estas son algunas de las características del switcher Kahuna:

- El usuario tiene la posibilidad de operar el Kahuna sólo en televisión Estándar. Cuando requiera hacerlo en Alta Definición, únicamente deberá pagar una licencia para que de inmediato le abran la opción de Alta Definición sin necesidad de colocar ningún tipo de tarjeta en el hardware del Kahuna. Esto significa que el Kahuna original ya viene con todo el equipamiento necesario para operar tanto en Televisión Estándar como en Alta Definición.
- Como el Kahuna viene ya con todo el sistema integrado, el usuario ahorra en tiempo y dinero al evitarse, al momento de hacer la actualización hacia alta definición, cambios físicos de electrónica o de tarjetas en el hardware.
- El Kahuna puede procesar hasta 80 señales en forma simultánea (el modelo básico inicia en 32 y crece hasta 80 canales) para SD o HD indistintamente, a gusto del usuario. Por ejemplo, el usuario puede estar ocupando el canal uno del Kahuna para Televisión Estándar, y al momento siguiente puede cambiar la conexión para recibir una señal de Alta Definición. Para hacer el cambio, sólo requiere apretar un botón para que el Kahuna de inmediato se dé por enterado y procese la señal tal y como se le pide.

El switcher Kahuna cuenta con 4 M/E (bancos de efectos) en SD tiene un precio de \$270,000 dls. La licencia para que opere también en forma simultánea en HD es de \$20,000 dls. extras.

Otra ventaja del switcher Kahuna es que tiene la capacidad de dar salida a las señales en SD o HD, según lo quiera el usuario, sin alterar la relación de aspecto de imagen de cada señal. Si se decide sacar la señal en SD, el aspecto de imagen será de 4:3, sin importar que haya sido originada en HD o en SD. Y si la señal sale en HD, el aspecto de imagen será de 16:9, sin que se perciba deformación alguna si la señal fue originada en SD.

La **consola de audio** con la que se cuenta en el estudio es de total compatibilidad para el nuevo sistema por lo tanto no se tendrá que cambiar.

El **generador de caracteres** situado en el estudio es apto para trabajar en formato SD y formato HD por lo tanto no necesitamos cambiar este equipo.

Los **procesadores** de la señal de televisión no tienen los recursos necesarios para trabajar en HD, investigando sobre la marca de los procesadores que ya se tienen (LEITCH), encontramos que también los distribuye en formato HD y tienen un precio de \$22,064 dls.



Fig.5.4 Procesador de señal HD

Los **formatos de grabación** empleados actualmente son en cinta con los formatos Betacam SP y Betacam SX y en disco duro con Doremi en formato MPEG 2, los cuales no son compatibles para almacenar video en HD. Por tal motivo se necesitarán adquirir formatos como HDCAM que es una versión de HD de la familia Betacam, la cual mantiene la misma cinta de 1/2plg. Utiliza una frecuencia de muestreo 4:2:2 y 8 bits de profundidad de color en video por componentes. Este formato, al tratarse de HD, permite grabar en resoluciones superiores, a 720 y 1,080 líneas. También puede realizar exploración progresiva, además de la exploración entrelazada tradicional de video. Su bit rate (velocidad de información) de video es 144Mbps. En cuanto a audio graba 4 canales de audio AES/EBU a 48KHz y 20 bits. Otra alternativa puede ser la Sony DVW-2000 con características similares a la anterior con un precio de \$48,000 pesos.



Fig.5.5 Betacam formato HDCAM

La HDCAM SR es una variación de la anterior creada en 2003. Utiliza una cinta con alta densidad de partículas que permite grabar una señal RGB con muestreo 4:4:4 a un bitrate de 440 Mbps. Esto permite capturar una resolución máxima de 1,920 x 1,080 y hasta 12 canales de audio. La HDCAM SR usa una compresión MPEG-4 de alta calidad que no utiliza grupos de imágenes (GoP), por lo que no da los típicos problemas de MPEG a la hora de editar y usa compresión intraframe en progresivo y compresión intracampo en entrelazado.



Fig.5.6 Cintas formato HDCAM

Algunos magnetoscopios HDCAM SR tienen un segundo modo que alcanza los 880Mbps, lo que permite un único flujo de video con menor compresión o dos flujos simultáneamente.



Fig.5.7 Doremi para HD

Las características del Doremi formato de video HD-SDI son: entrada y salida de 720p, 1,080i y 1,080 24p; tres niveles de entrada de sincronización; dos canales de audio análogo y ocho canales AES/EBU y selección de 8 a 10 bits de compresión.

Para medir los parámetros de crominancia y luminancia se utilizaran los **monitores forma de onda** marca Veescop Live a lanzado al mercado y operan con señales HD mediante SDI.

- Apertura de crominancia
- Vectorscopio
- Monitor forma de onda HD/SD
- Corrección de relación de aspecto
- Monitor multiple video



Fig.5.8 Forma de onda y vectorscopio

Los **enrutadores o routers** que se consideraron fueron los de la marca Panacea cuyas características son óptimas para trabajar con el tipo de señales que se van a procesar las cuales son:



Fig.5.9 Router marca Panacea

- HD/SD-SDI para aplicaciones HDTV
- Router para señales de 3.072Mbps a 3Gbps.
- SD-SDI de 8x8 a 32x32 para señales de video digital de 3.072Mbps a 540Mbps.
- Trabaja con sistemas NTSC, PAL, SECAM y señales de video analógico por componentes y RF/IF hasta 200MHz.
- Opera con audio AES/EBU balanceado y no balanceado

- 32x32 Digital Video Router
- Velocidades binarias de 143 a 540Mbps
- Impedancia de 75Ω
- Conector de video BNC



Fig.5.10 Router marca Vikinx



Abajo se muestra el diagrama básico de video y más abajo el de audio del Estudio "A" de la DTGVE donde se pueden observar la interconexión de algunos equipos que se describieron arriba.

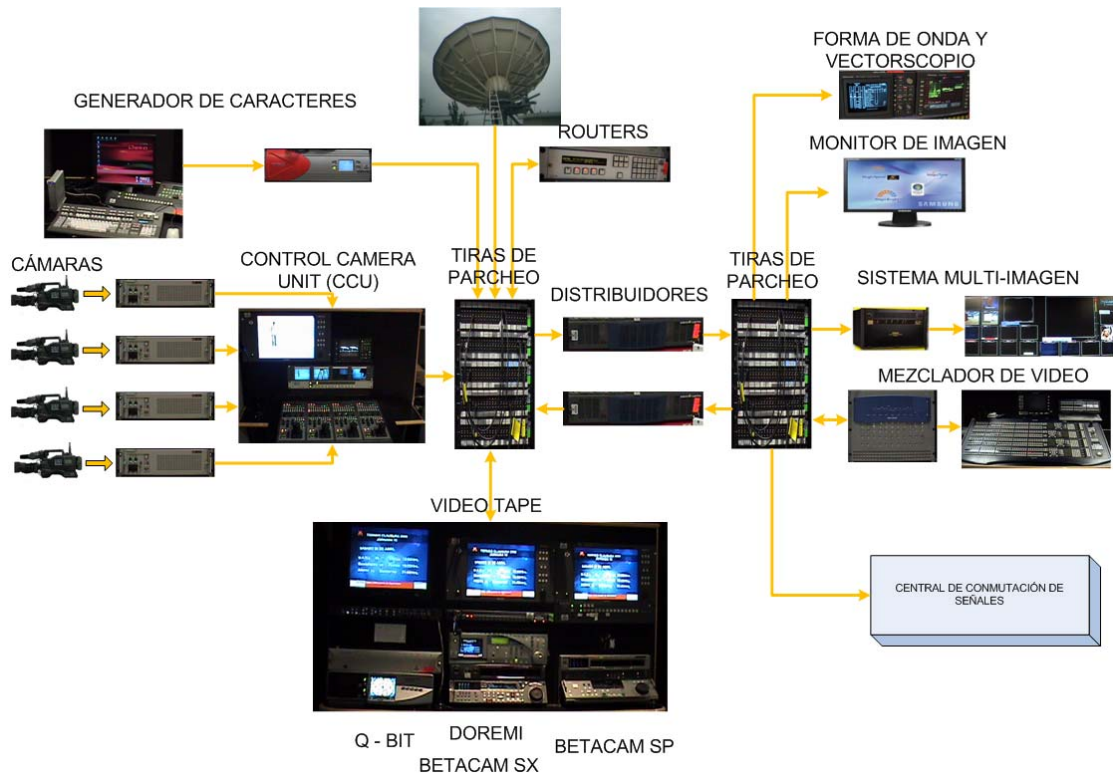


Fig.5.11 Diagrama básico de video del Estudio "A" de la DTGVE

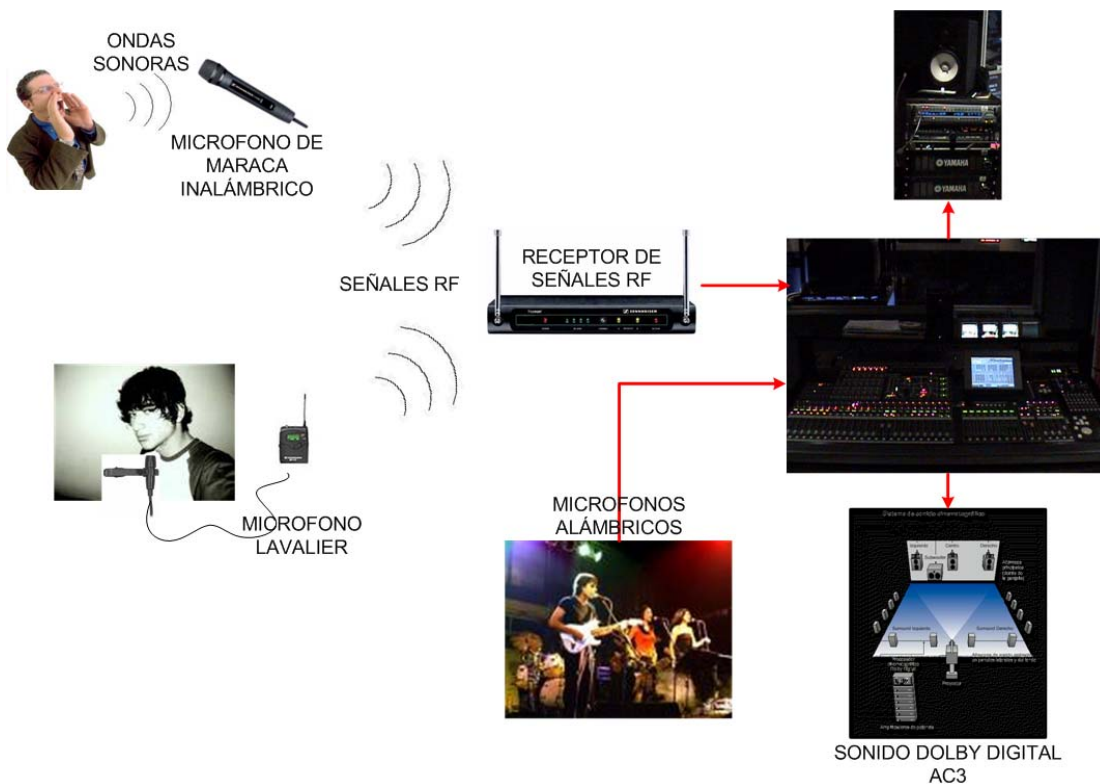


Fig.5.12 Diagrama básico de audio del Estudio "A" de la DTGVE

## ➤ CENTRAL DE CONMUTACIÓN Y MASTER

En estas áreas tendremos que cambiar equipo de procesamiento y medición de las señales de audio y video así como routers y switchers que sean compatibles para nuestro sistema.

La mejor solución que se encontró fue la de canalizar todas las señales en un **procesador multi-imagen** el cual nos hará el trabajo tanto de procesamiento como de medición de señales aparte de poder visualizarlas en una pantalla (plasma o LCD).

Las visualizaciones de múltiples señales se utilizan en centros de operaciones de red, centros de operaciones tácticas y centros de operaciones de emergencias, así como en instalaciones de seguridad, entretenimiento, diseño y venta al por menor. Denominadas de varios modos, como mural de video, mural de información, mural de datos, pantalla en mosaico, mural virtual o mural de monitores virtuales, ofrece rendimiento en tiempo real, una sencilla instalación y fiabilidad permanente.

La empresa canadiense Miranda Technologies acaba de añadir nuevas características de visualización de múltiples señales HD en sus procesadores Kaleido-Alto-HD y Kaleido-K2, en conjunto con las nuevas placas de análisis de señal HD-SDI para su gama de interfaces. No obstante, la gran novedad de la marca acaba por ser el nuevo procesador multi-imagen Kaleido-Alto-HD, que ahora ofrece capacidades de análisis avanzadas de video y audio, como imágenes a negro, imágenes fijas y excesos de niveles y luminancia, así como fallas de audio y alarmas de audio mono o fuera de fase. Estas alarmas pueden presentarse en la propia pantalla o transmitirse en red vía SNMP (*Simple Network Management Protocol* o Protocolo Simple de Administración de Red) a otros dispositivos de monitorización de la estación. De esta forma, las estaciones de televisión que comienzan ahora a preparar su transición a la alta definición, pueden equiparse con una solución de monitorización de continuidad, a un precio accesible y con elevada calidad de señal, y es que el procesador Kaleido-Alto-HD soporta hasta 10 entradas de señal de video, siendo capaz de detectar automáticamente la presencia de señales de definición estándar SDI o alta definición HD-SDI.



Fig. 5.13

El sistema Kaleido-Alto-HD puede también usarse en monitorización de producción remota sobre IP (*Internet Protocol* o Protocolo de Internet), proporcionando así una solución de bajo costo, por ejemplo en unidades móviles, junto con el nuevo codificador Allegro RGB de streaming MPEG-4 en tiempo real.



Esta combinación permite obtener la visualización de hasta 10 canales de señal con alta calidad y permite reducir significativamente los costos de producción en grandes eventos con grandes números de cámaras. El sistema Kaleido-Alto-HD se puede también instalar como un complemento del sistema de procesamiento multi-imagen más avanzado, Kaleido-K2, lo que permite por ejemplo añadir la visualización de metadatos de audio Dolby Digital en la pantalla y mostrar alineamiento de canales. Este sistema, pasó a permitir también la adaptación avanzada automática de la relación de aspecto de las imágenes.

Las características del Kaleido-Alto-HD son:

- Tiene 10 entradas auto-sensing HD-SDI y análogas SDI
- Salida de Alta calidad DVI y RGBHV con resolución 1,920 x 1,200
- Salidas de audio análogo y AES con monitoreo
- Reloj en pantalla
- Relación de aspecto (4:3 y 16:9) y posición
- Señales de prueba de video/audio como negros, freeze y luma
- Procesadores en cascada para monitorear de 1 a 30 ventanas
- Redundancia opcional power supply
- Panel de control remoto opcional
- Costo de \$11,995.00dls



**Fig.5.14** Kaleido-Alto-HD

Las características del Kaleido K2 son:

- Tiene 32 entradas de video (HD-SDI, SDI, Composite, Y/C, RGB progressive and streaming video)
- Salidas de alta resolución RGB DVI
- Monitoreo de señal extensivo
- 2 cabezas de salida para visualización en diferentes pantallas
- Salidas audio análogo y AES con monitoreo
- Reloj en pantalla
- Relación de aspecto (4:3 y 16:9) y posición.



**Fig.5.15** Kaleido K2

Por último, con el fin de tener interoperabilidad con otro tipo de sistemas y señales se necesitaran equipos como convertidores de formato de resolución y convertidores de relación de aspecto, pero no intervendrán mucho con el funcionamiento del sistema, por lo tanto no se tomarán en cuenta.

El diagrama general de la central de conmutación quedaría como se ve en la fig.5.16.

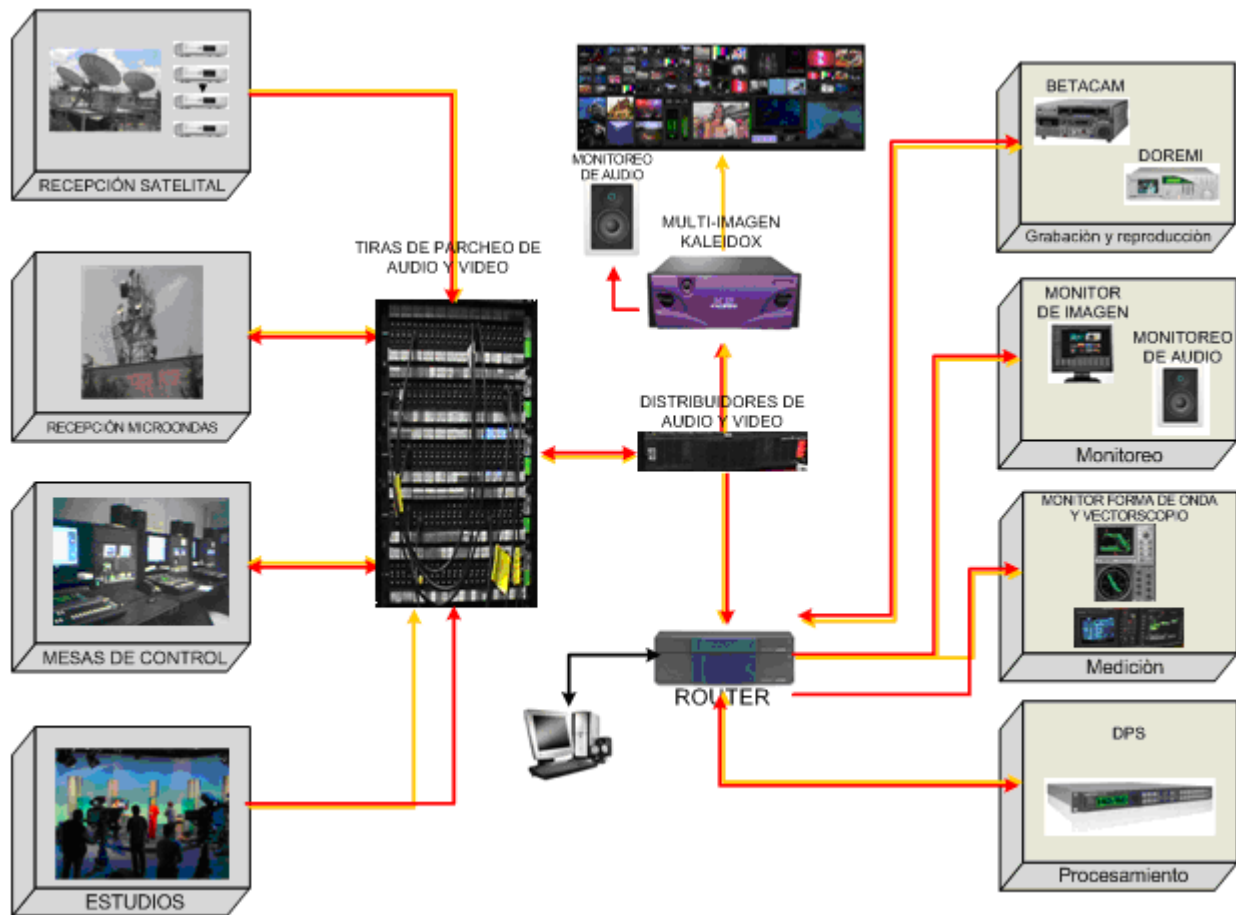


Fig.5.16 Diagrama básico de video y audio de la Central de Conmutación y Procesamiento de Señales de la DGTVE

Del mismo modo, en las Mesas de Control se tendrá que interconectar nuevo equipo para satisfacer las necesidades que se requieren al cambiar hacia un sistema de HD, en su caso se hará de igual forma como se hizo en la Central de Conmutación, se operará con un Kaleido en HD con LCD's para la visualización y así deshacerse de los monitores individuales por cada canal. Las **consolas** para el procesamiento de audio se reducirán solo a una de las siete que eran usadas y el sistema de intercomunicación marca Drake será el mismo.

Las **botoneras o panel de control** que se instalarán serán los proporcionados por la marca SAS ANC-8 básicos para señales de alta calidad

El diagrama general de la sala donde se ubican las Mesas de Control tendría la forma de la fig.5.17.

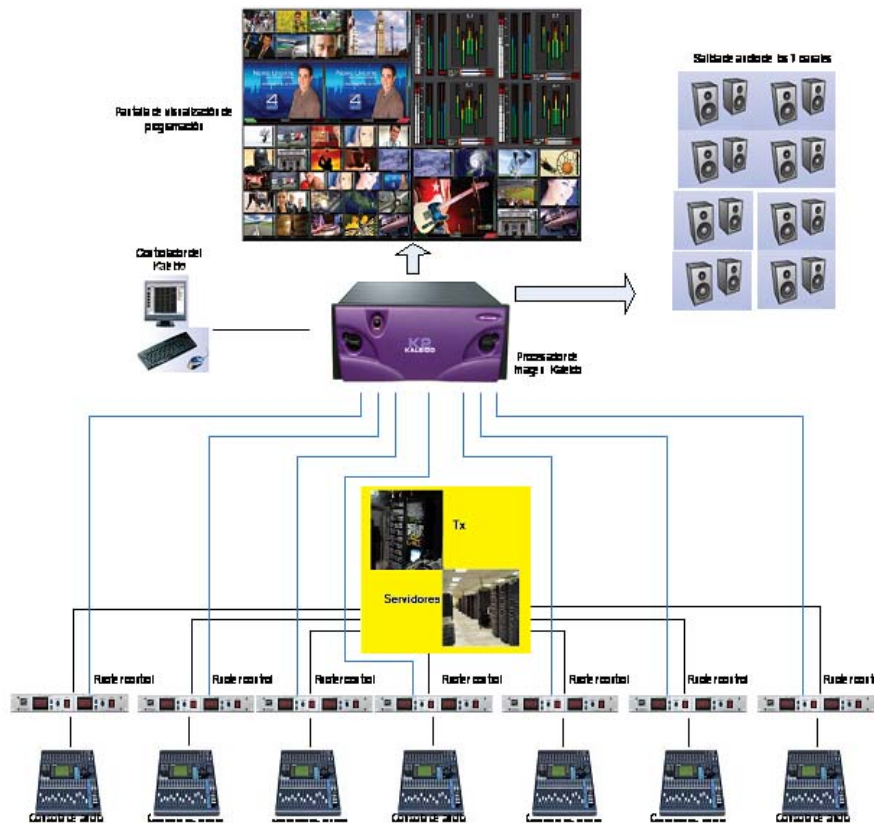


Fig.5.17 Diagrama básico de video y audio de las Mesas de Control de la DGTVE

## ➤ TELEPUERTO

Los **encoders** marca Armonic (Divicom) modelo Media View Revin utilizados en el Telepuerto emplean la norma DVB-S que incluye las características de compresión MPEG-2 para video y para el audio la norma AC-3 con sonido estéreo. Este modelo de encoder no es útil para la transmisión en HD ya que es una señal con mayor cantidad de información, por lo tanto con mayor tasa binaria, se necesita un equipo con mayor grado de compresión como lo es el AVC4000-HD, (Professional High Definition AVC Encoder) de la marca Tiernan. Este equipo se basa en la norma DVB-S2 que comprime el video con MPEG-4 y codifica el audio en AC3-5.1 entre sus principales características.



Fig.5.18 Encoder marca Tiernan con plataforma DVB-S2

El siguiente equipo por donde pasa la señal es el **multiplexor** marca Divicom modelo Media Node, el cual no requiere ser cambiado ya que solo recibe una cadena de bits provenientes de los 16 encoders no importando los procesos anteriores.

El **modulador** marca Radyne Com Stream modelo DM240 es compatible para trabajar con modulación 16PSK con una velocidad de información de hasta 120Mbps en DVB-S2 necesaria para cumplir con nuestras demandas.



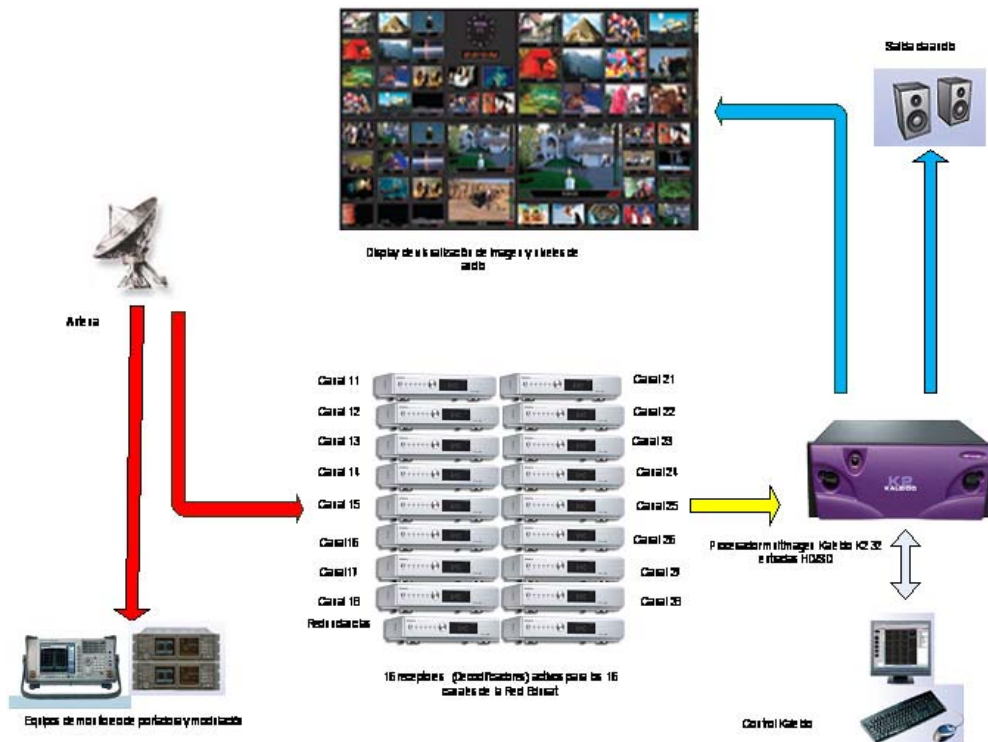
**Fig.5.19** Modulador DVB-S2 con odulación 16PSK

Después de haber sido modulada la señal con una FI (Frecuencia Intermedia) de 70MHz el siguiente punto por donde pasa la señal es el **Up Converter** y posteriormente el **HPA**, ambos equipos operan tanto en banda C como en Ku y son compatibles para modulaciones PSK y no requerirán ser cambiados.

Para monitorear el regreso satelital no hace falta cambiar los instrumentos de medición como los analizadores de espectros, pero sí haremos uso de un procesador multi-imagen Kaleido para visualización y **receptores** con plataforma en DVB-S2 que emplearemos en todos los puntos receptores.

Por ultimo, están las antenas de transmisión que operan en banda Ku, por lo tanto no se tendrán que adquirir otras nuevas.

El diagrama de interconexión del futuro Telepuerto será idéntico al esquema visto en el capítulo anterior, solo con el cambio de los encoders. Para el monitoreo del regreso satelital si va a haber un cambio ya que se instalará un procesador de visualización multi-imagen Kaleido para quitar todos los monitores individuales, como se ve en la fig.5.20.



**Fig.5.20** Diagrama básico del proceso de recepción (regreso satelital) en la DGTVE

## 5.4.2. CAMBIOS EN LA INFRAESTRUCTURA DE UN PUNTO RECEPTOR

Básicamente son tres los equipos que se tendrán que analizar en el lado de la recepción del sistema de comunicaciones, los cuales son: la antena receptora, el decodificador, y el equipo destinado para la visualización de los programas.

Es importante mencionar que parte del equipo deberá tener cierta compatibilidad con el sistema actual para que sea utilizable el tiempo que se este migrando hacia el otro sistema.

Comenzando con la **antena**, todas las antenas de la Red Edusat que captan la señal de la DGTVE operan en banda C por lo tanto deberán ser cambiadas, ya que no se podrán utilizar con el nuevo sistema. Por otro lado, la recomendación mas apropiada seria utilizar las antenas Andrew Modelo 621005604 Clase I que es una Antena de Transmisión y Recepción de 1m de diámetro y trabaja en Banda Ku. Esta cuenta con reflector hecho de fibra de vidrio reforzada. Su costo es de \$160dls. Otra opción sería la Patriot, antena de 1m de diámetro, trans-receptora en banda Ku. Su modelo es TX-INT100KUG, construida con metal galvanizado e incluye alimentador de banda Ku del mismo costo.



**Andrew 62005604**



**Patriot TX-in**

**Fig.5.21** Antenas receptoras

Este tipo de antenas tienen la característica de ser trans-receptoras para que pudieran usarse posteriormente como un canal de retorno en un sistema interactivo.

Los **receptores** tienen que operar con las normas de codificación DVB-S y DVB-S2 y tener la capacidad de descodificación de paquetes de datos (Irdeeto). Por otro lado debe de estar dotado de interfaces de salida para video HD y audio Dolby Digital aparte de sus salidas comunes (cable coaxial) que se tendrán que usar para visualizar la programación en los televisores con que aún se cuentan en lo que se migra totalmente. Los receptores marca Zinwell utilizados en la Red Edusat no son aptos para trabajar con este tipo de señales. Investigación sobre diferentes marcas y características de otros receptores se optó por usar la misma marca Zinwell que tiene en el mercado el decodificador Zinwell High Definition Digital Satellite MPEG-4 que tendrá compatibilidad para ambos sistemas. Algunas de sus características son:

- Basado en plataforma broadcomm
- Compatibilidad DVB-S y DVB-S2
- Soporta MPEG-4 AVC / H.264 / VC-1 / MPEG2
- Salida HDMI
- High Definition On Screen Display
- Soporta High Definition y Standard Definition
- Soporta formatos de video 720 x 576i, 720 x 576p, 1,280 x 720p y 1,920 x 1,080i
- Salida de audio Dolby Digital Audio



**Fig.5.22** Receptor marca Zinwell HD



Otra solución puede ser el siguiente modelo:



- DVB-S / DVB-S2
- MPEG-2 / MPEG-4 AVC / H.264
- Dual-DVB-S2-Single-Tuner. HDMI

**Fig.5.23** Receptor marca Zinwell HD

En lo que respecta al equipo para visualizar los canales de la Red Edusat, al menos en las telesecundarias, cuentan con televisores no mas grandes a 29" los cuales no podrán ser útiles para las señales en alta definición. Siendo este equipo el de mayor costo su adquisición en cada uno de los puntos receptores va a ser un poco lenta y de acuerdo a los presupuestos de cada institución u organismo.

En resumen, toda pantalla LCD o plasma con la leyenda HD ready con capacidad para reproducir multiformato es útil para poder visualizar los contenidos de los canales de SD y HD. A continuación se describen algunas marcas más comunes de pantallas de HD junto con sus características y precios.

#### **TV PLASMA 42" LG 42PC7DH/5DH C/SINTONIZADOR**

- Pantalla plasma 42".
- LG sintonizador de HD integrado.
- Resolución 1,024 x 768.
- Entrada HDMI.
- Precio \$12,000 a \$15,000 pesos.



#### **PHILIPS 42" MOD 42PFL7332D/37**

- Pantalla LCD 42" con sintonizador HD ATSC base giratoria.
- Precio \$12,500 a \$14,000 pesos.



#### **SHARP 32" MOD LC32D43U"**

- LCD de 32" wide screen
- Salida de audio de 10+10W con bocinas fijas
- Sintonizador QAM/NTSC
- Dos entradas HDMI y dos terminales HD
- Precio \$10,000 a \$13,000 pesos



**Fig.5.24** Televisores LCD y de Plasma HD

Por último, se adquirirá un sistema de sonido envolvente capaz de reproducir los 5.1 canales de audio que también ofrecerán los programas producidos por la DGTVE. Sin embargo, esto se vería mas como un lujo y estaría destinado para instituciones con grandes presupuestos. Algunos sistemas de audio que se comercializan en el mercado son:

### SONY DAV-DZ850KW

- 143W x 5 + (100W x 2 opcional) + 285W x 1 RMS
- Dos bocinas frontales de piso de 2 vías y 3 unidades
- Dos bocinas posteriores de piso de 1 vía (1 Woofer de 6.5cm)
- Bocinas inalámbricas con Transmisión Digital Infrarroja
- Funciones: DVD, CD, Radio, TV/VCR 1, Audio
- Dolby Pro-Logic II, Dolby Digital y DTS
- Precio \$7,000 a \$11,000 pesos



### LG 5.1 HT302SD

- 5.1 canales
- Virtual Sound Matrix (VSM)
- Decodificador Dolby Digital integrado



Fig.5.25 Sonido envolvente 5.1

## 5.5. CÁLCULO DEL ENLACE SATELITAL


### ➤ CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA

Sistema	DVB-S2
Codificación de video	MPEG 4 / H264 AVC
Codificación de audio	Dolby Digital
Tx en banda SHF	Ku
Satélite	Satmex 5
No. de Transpondedor	Tp 19 con BW de 36MHz
Vel. de información	85.0688Mbps
FEC	4/5
Modulación	16PSK
Factor de modulación	0.25
Roll-off	1.14
Factor Reed-Solomon	1
Ancho de Banda (BW)	35.7303MHz



Tabla 5.2



En la tabla 5.3 sacada del sitio Web [www.lyngsat.com](http://www.lyngsat.com) se muestra en recuadros el espacio que ocupa actualmente la Red Edusat en el sistema DVB en el tp 1 y en la parte de abajo el nuevo espacio que ocupará dentro del satélite en el tp 19 y algunos parámetros más.



## SatMex 5 at 116.8°W

SatMex 5 © Lyngemark Satellite, last updated 2008-05-22 - <a href="http://www.lyngsat.com/sm5.html">http://www.lyngsat.com/sm5.html</a>							
Freq. Tp		Provider Name Channel Name	Video Encryption	SR-FEC SID-VPID	NID-TID Audio	Beam	Source Updated
<b>3720 V</b> tp 1		<a href="#">Edusat</a>	A	DVB	27000-3/4		G Markus 071022
		<a href="#">Telesecundaria</a>	A	F	11 33	48 Sp	
		<a href="#">Media TV</a>		F	12 32	49 Sp	
		<a href="#">Educación Superior media superior y formación continua</a>		F	13	Sp	
		<a href="#">Formación docente y capacitación</a>	A	F	14 50	34 Sp	
		<a href="#">Educación Básica Educación Normal y Educación para la sociedad</a>	A	F	15 38	54 Sp	
		<a href="#">Espacio Edusat</a>	A	F	16 39	55 Sp	
		<a href="#">Educación Superior y educación continua</a>	A	F	17 35	51 Sp	
		<a href="#">Actualización Profesional y Capacitación Laboral para el Servicio Público</a>	A S	F	18 40	56 Sp	
		<a href="#">Telesecundaria</a>	A	F	22	Sp	
		<a href="#">Canal de las Artes</a>		F	23 43	59 Sp	
		<a href="#">Aprende TV</a>	A	F	24 44	60 Sp	
		<a href="#">Canal del Congreso</a>	A S	F	25 45	61 Sp	
		<a href="#">[Edusat test card]</a>			26		
		<a href="#">TV UNAM</a>	A	F	28 47	63 Sp	
<b>12059 V</b> tp 18		<a href="#">Tele Vida Abundante</a>	A	DVB	3078-? 1- 4131	?-? 4129 Sp	Ku 2  J McCallie 2 070519
		<a href="#">Radio Vida Abundante</a>				4130 Sp	
<b>12066 H</b> tp 19		(feeds)		DVB	3332-?		beam W Frankson 070901
<b>12096 H</b> tp 19		(feeds)		DVB	3332-?		beam W Frankson 071205
<b>12097 V</b> tp 20		[Puerto Rico test card]		DVB	3023-3/4 1-1- 4130	1-1 4131	beam PGM 001107

SatMex 5 © Lyngemark Satellite, last updated 2008-05-22 - <http://www.lyngsat.com/sm5.html>

Tabla 5.3

## ➤ CÁLCULO DE VELOCIDAD DE INFORMACIÓN

Las velocidades de información que son determinadas por cada estándar, fueron expuestas en el Capitulo III tanto de MPEG-4 como de Dolby Digital. A continuación se realiza la sumatoria de cada formato y el total es el que se observa en la tabla 5.4.

Video MPEG 4/H-264 AVC, 8 canales HD a 8Mbps	64
Audio Dolby Digital a 0.096 Mbps por canal 5.1 canales	3.9168
Video MPEG 4/H-264 AVC 8 canales SD a 2Mbps	16
Audio Dolby Digital a 0.096 Mbps por canal monoaural	0.768
4 canales de radio monoaural Dolby Digital a 0.096 Mbps p/canal	0.384
<b>Velocidad de transmisión total (<math>\Sigma</math>)</b>	<b>85.0688 Mbps</b>

Tabla 5.4

## ➤ CALCULANDO EL ANCHO DE BANDA (BW)

Usando la herramienta que Satmex nos proporciona en la página de Internet [www.satmex.com](http://www.satmex.com) para el cálculo del ancho de banda se comprueba el resultado anterior.

El BW se calculo en función de la velocidad de información que nos dio en la tabla 5.4 y el método de modulación que usamos (16PSK), a continuación se hace una comparación entre los tipos de modulación con 4 y con 16 niveles (QPSK y 16PSK) para justificar el uso de la segunda modulación.

**Modulación QPSK**

*Convertidor de velocidad de información a ancho de banda*

Ancho de Banda:  KHz

**Velocidad**

De información: Personalizado  Kbps

De transmisión:  Kbps

De símbolos:  Ksps

**Opciones**

Roll Off:  %

Modulación:

Factor de Modulación:

FEC:

Factor Reed Solomon

Tabla 5.5

**Modulación 16PSK**

*Convertidor de velocidad de información a ancho de banda*

Ancho de Banda:  KHz

**Velocidad**

De información: Personalizado  Kbps

De transmisión:  Kbps

De símbolos:  Ksps

**Opciones**

Roll Off:  %

Modulación:

Factor de Modulación:

FEC:

Factor Reed Solomon

Tabla 5.6

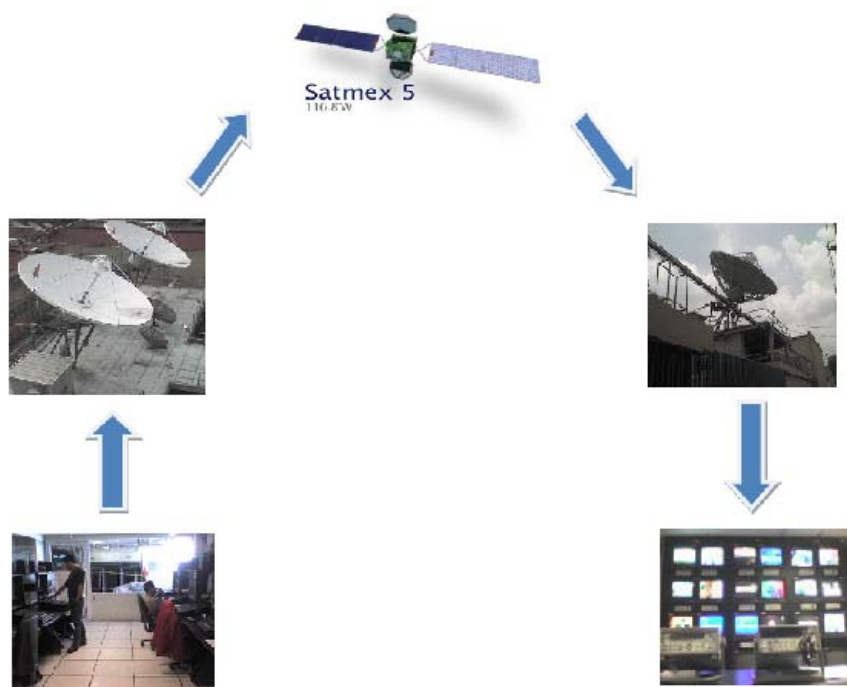
### Coordenadas geográficas de los puntos a enlazar:

Punto Tx y Rx. La DGTVE ubicada en la Cd. de México con los siguientes puntos cardinales.



**Fig.5.26** Ubicación de la Estación Terrena

El satélite es Satmex 5 con una ubicación en el Ecuador de 116.8° W partiendo del meridiano de Greenwich o meridiano cero.



**Fig.5.27**

➤ **CALCULANDO LOS PARÁMETROS DE DISTANCIA, ÁNGULO DE ELEVACIÓN Y ÁNGULO DE AZIMUT.**

**Ángulo de Azimut ( $Az$ ).** Es el ángulo que se mide sobre el plano tomando como referencia en norte geográfico y en sentido de las manecillas del reloj y que será utilizado para orientar la antena con respecto al satélite sobre el eje del ecuador.

$$Az = 180 + \left[ \tan^{-1} \left( \frac{\tan(Long_{SAT} - Long_{ET})}{\text{sen}(Lat_{ET})} \right) \right]^\circ (\text{grados})$$

donde:

$Long_{SAT}$  = longitud del satélite con respecto al oeste (W)

$Long_{ET}$  = longitud de la estación terrena con respecto al oeste (W)

$Lat_{ET}$  = latitud de la estación terrena con respecto al norte (N)

$$Az = 180 + \left[ \tan^{-1} \left( \frac{\tan(116.8 - 99.15)}{\text{sen}(19.4)} \right) \right] = 223.13^\circ$$

$$Az = 223.13^\circ$$

**Ángulo de elevación ( $E$ ).** Es el ángulo de apuntamiento que se medirá sobre el plano horizontal.

$$E = \Lambda - \delta$$

donde:

$$\Lambda = \tan^{-1} \left[ \frac{HCS - (R)(\cos \delta)}{(R)(\text{sen} \delta)} \right]$$

donde:

✓  $HCS$  = Distancia del centro de la Tierra al satélite **42,164.2 Km.**

✓  $R$  = Radio de la Tierra **6,378.155 Km.**

✓  $\cos \delta = \cos(Lat_{ET}) * \cos(Long_{SAT} - Long_{ET})$

$$\cos \delta = \cos(19.4) * \cos(116.8 - 99.15) = 0.8988$$

$$\cos \delta = 0.8988$$

despejando  $\delta$  tenemos:

✓  $\delta = 25.99^\circ$

$$\therefore \Lambda = \tan^{-1} \left[ \frac{42,164 - (6,378 \cdot 155)(0.8988)}{(6,378 \cdot 155)(\sin 25.99)} \right] = 85.69^\circ$$

$$\Lambda = 85.69^\circ$$

$$E = 85.69 - 25.99$$

$$E = 59.7$$

**Distancia entre el Satélite y la Estación Terrena (ET).**

$$D = \sqrt{HCS^2 + R^2 - \left[ 2HCS * R \left( \sin \left( E - \sin^{-1} \left( \frac{R}{HCS} * \cos E \right) \right) \right) \right]} Km$$

$$D = \sqrt{42,164.2^2 + 6,372.115^2 - \left[ (2)(42,164.2) * 6,378.155 \left( \sin \left( 59.7 - \sin^{-1} \left( \frac{6,378.155}{42,164.2} * \cos 59.7 \right) \right) \right) \right]} Km$$

$$D = 36,534.3534 Km$$

Los datos que acabamos de calcular como son el ángulo de elevación, el azimut y la distancia de la estación terrena (DGTVE) al satélite (Satmex 5), los podemos corroborar utilizando una herramienta que Satmex nos facilita en su página de Internet mencionada anteriormente.

**Convertidor de coordenadas geográficas a ángulos de apuntamiento**

**Localidad**  
País:   
Ciudad:

**Coordenadas**  
Latitud:  °N  
Longitud:  °W

**Satélite**  
Satélite:   
Longitud:  °W

**Apuntamiento**  
Ázimut:  ° Elevación:  °  
Distancia:  km

**Tabla 5.7**

A continuación se procederá a realizar los cálculos de los enlaces ascendente y descendente con el objetivo de precisar los niveles de potencia y las relaciones de señal a ruido que se producirán en el sistema con el fin de saber si operará en condiciones óptimas y favorables.

En este punto se trata de definir los factores que intervienen en los enlaces entre la Tierra y el satélite (enlace ascendente) y entre el satélite y el usuario en la Tierra (enlace descendente).

Para empezar a calcular cada uno de los parámetros de los enlaces debemos tener como datos algunas de las características tanto del satélite como de la estación terrestre (características de la antena, ancho de banda, etc.), y también algunos valores de constantes ya establecidas para realizar dichos enlaces. Los datos que ocuparemos serán los siguientes:

**PIRE.** Una antena isótropa emite en todas las direcciones de la esfera. Una antena colocada en el foco de una parábola emite un fino haz que contiene toda la potencia del emisor, con lo que la potencia en vatios por metro cuadrado es mucho más importante y recibe el nombre de ganancia de la antena (G). Cuanto mayor es la antena, más estrecho será su haz radiado. La dimensión de la antena en el suelo no está limitada, mientras que la del satélite debe caber en la cofia de la lanzadera. La PIRE se calcula conociendo la potencia del emisor y la ganancia de la antena y se expresa en decibelios aparte de ser un dato que nos da el proveedor del satélite.

**Back off.** Nivel de reducción de potencia a la entrada de un amplificador para asegurar su operación en la región lineal, logrando con esto reducir al mínimo posible el ruido por intermodulación.

**Constante de Boltzmann.** Relación de la energía promedio de una molécula a la temperatura absoluta del medio. Su valor es  $K=1.38 \times 10^{-23} = 228.5992 \text{ dBJ/K}$ .

**Figura de Mérito (G/T).** Es un indicador de la sensibilidad del sistema de recepción. Se define como la relación de la ganancia de la antena a la recepción con respecto a la temperatura de ruido del sistema a la recepción; sus unidades normalmente son  $\text{dB/K}$ .

**Atenuador de posición (ATP).** Dispositivo que reduce la potencia a la entrada del sistema. En un satélite de comunicaciones disminuye la sensibilidad a la recepción. Su valor se expresa en dB.

**Atenuación por lluvia.** Pérdida o reducción de las características de potencia y polarización de las ondas radioeléctricas debido a la lluvia o a nubes muy densas. Varía de región a región de acuerdo a la tasa de pluviosidad.

**Eb/No.** Relación de energía por bit a densidad espectral de ruido en Watts por Hertz.

**Relación portadora a densidad de ruido (C/No).** Relación de potencia entre la portadora y la densidad de potencia de ruido en un ancho de banda de 1Hz. Se expresa en  $\text{dB/Hz}$ .

**Relación portadora a ruido (C/N).** Relación de la potencia de una portadora digital con respecto a la potencia de ruido en el ancho de banda que ocupa. Se expresa en dB.

**Relación señal a ruido.** Relación de la potencia de una señal analógica con respecto al nivel de ruido, se expresa en dB.

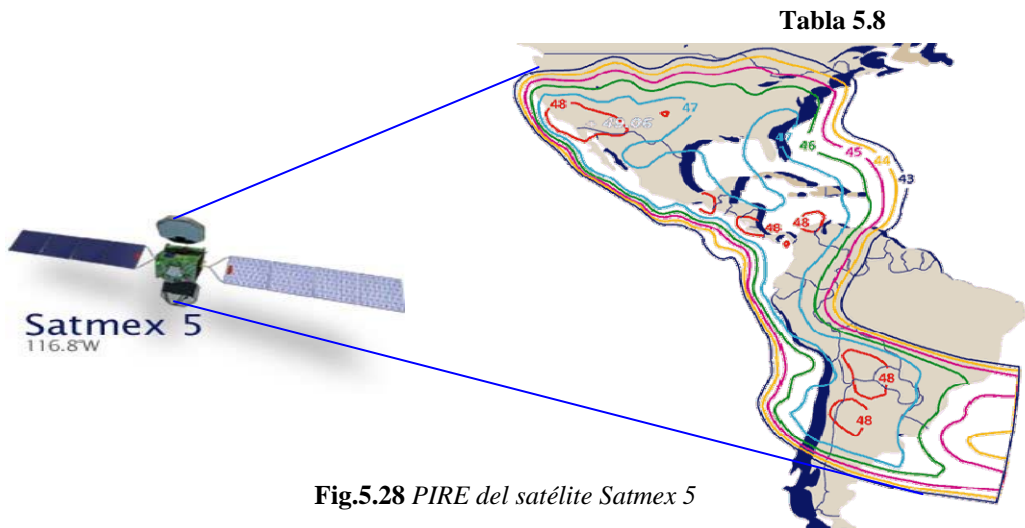


**Datos del satélite:**

- Nombre Satmex 5
- Ubicación 116.8° W
- $BW_{TP} = 36 \text{ MHz}$  (ancho de banda del transpondedor del satélite)
- $PIRE = 47.7 \text{ dBW}$  (para México)
- $(G/T)_{Ku} = 3.6 \text{ dB/K}$  (spot para México)
- $DF_{SAT} = -95 \text{ dBW/m}^2$

**ESPECIFICACIONES**

Satmex 5	36 MHz Banda C	36 MHz Banda Ku
PIRE (dBW) en la orilla de la cobertura	39	Ku 1: 49.0 Ku 2: 46.0
G/T (dB/K) en la orilla de la cobertura	-2	Ku 1: 0 Ku 2: -1.5
Densidad de flujo a saturación (dBW/m <sup>2</sup> )	-93	Ku 1: -93 Ku 2: -95
No. de transpondedores	24	24
Redundancia	30 TWTAs para 24 canales	32 TWTAs para 24 canales
Rango de atenuación de entrada	0 a 15 dB en pasos de 1 dB	0 a 20 dB en pasos de 1 dB
Inicio de operación	Enero de 1999	
Vida estimada de operación	Más de 15 años	



**Fig.5.28** PIRE del satélite Satmex 5

Para obtener el margen de disponibilidad observamos la tabla 5.9 donde vemos que la Cd. de México le corresponde la región C y escogemos un factor de confiabilidad de 99.8%. Con estos datos obtenemos los coeficientes de margen atenuación por lluvia ( $\mu_{ASC}$  y  $\mu_{DESC}$ ) que también se pueden obtener por medio de tabla 5.9, quedando los siguientes valores:

$$\mu_{ASC} = 4.2 \qquad \mu_{DESC} = 2.2$$

Zona Hidrometeorológica		Disponibilidad		
		99.50% (dB)	99.80% (dB)	99.90% (dB)
Nor Occidente NO	Tx	1.50	3.00	3.50
	Rx	0.00	1.00	1.50
Norte Centro NC	Tx	0.00	1.00	1.30
	Rx	0.00	0.00	0.00
Golfo Norte GN	Tx	3.60	6.80	9.20
	Rx	1.60	4.80	7.20
Centro C	Tx	2.20	4.20	6.30
	Rx	0.20	2.20	4.30
Pacífico Centro PC	Tx	3.60	5.90	8.50
	Rx	1.60	3.90	6.50
Istmo IT	Tx	2.50	5.80	8.20
	Rx	0.50	3.80	6.20
Yucatán YU	Tx	2.90	6.00	8.90
	Rx	0.90	4.00	6.90

**Tabla 5.9**



### Datos de las antenas:

- Diámetro = 7.6 m
- $T_S = 125 \text{ }^\circ\text{K}$
- $(G/T)_{ET} = 35.3 \text{ dB}/^\circ\text{K}$
- $G_{Tx} = 59.6 \text{ dB}$
- $G_{Rx} = 58.5 \text{ dB}$

### Rango de frecuencias en banda Ku:

- Rango de Rx de 10.7 a 13.25 GHz
- Rango de Tx de 13.75 a 14.8 GHz



Fig 5.29

### Datos adicionales:

- ATP = 4
- $BO_I = 9$
- $BO_O = 6$
- $K = -228.6 \text{ dBJ}/^\circ\text{K}$  (cte. de Boltzmann)
- $C = 300,000,000 \text{ m/s}$  (velocidad de la luz en el espacio)
- $L_\Lambda = 0.9 \text{ dB}$  (sumatoria de pérdidas)
- FEC = 4/5
- Roll off = 1.14
- $\phi = 1.9^\circ$  (distancia entre satélites en el Ecuador)
- $(E_b/N_o) = 5.5$  (para un FEC de 4/5 y con BER  $10^{-11}$ )
- Over Head = 8 (por ser modulación 16PSK/16QAM)
- $Vel_{Tx} = 98.56 \text{ Mbps}$
- BW = 66.1381 a 67 MHz

Los mismos parámetros son aplicables tanto al enlace ascendente como al descendente: PIRE, debilitamiento en el espacio libre, debilitamiento debido a la absorción atmosférica, ganancia en la entrada del receptor y relación C/N. Sin embargo el problema que ha de resolverse en cada caso es muy diferente. La estación terrestre no está limitada ni por la potencia del emisor ni por la dimensión de la antena.

### Enlace ascendente.

En el enlace ascendente consideraremos inicialmente la relación señal ruido que corresponde a la trayectoria de la señal que sale de la estación terrena hacia el satélite, es decir en este cálculo estarán comprendidos los parámetros de la etapa transmisora de la estación terrena, así como parámetros del satélite para este fin.

Pérdida por propagación.

$$L_p = 10 \log(4\pi D^2) dBm^2$$

$$L_p = 10 \log(4\pi(36,537,776^2)) = 162.2469 dBm^2$$

Pérdida en el espacio libre.

$$L_s = 20 \log\left(\frac{4\pi DF}{C}\right) dB$$

$$L_s = 20 \log\left(\frac{(4\pi)(36,537,776)(14.4 \times 10^9)}{300,000,000}\right) = 206.87 dB$$

Densidad de flujo de la portadora.

$$DFS_{PORT} = DFS_{SAT} - BOI + ATP + 10 \log\left(\frac{BW_{PORT}}{BW_{TP}}\right) dBW/m^2$$

$$DFS_{PORT} = -95 - 9 + 4 + 10 \log\left(\frac{36}{36}\right) = -100 dBW/m^2$$

Potencia Isotrópica radiada desde la E/T.

$$PIRE_{ET} = DFS_{PORT} + L_p dBW$$

$$PIRE_{ET} = -100 + 162.24 = 62.24 dBW$$

Sumatoria de pérdidas atmosféricas, pérdidas por apuntamiento y pérdidas por polarización.

$$L_\Lambda = L_{ATM} + L_{APUNT} + L_{POL} dB$$

$$L_\Lambda = 0.5 + 0.2 + 0.2 = 0.9 dB$$

Relación de portadora a densidad de ruido ascendente  $(C/No)_{ASC}$ .

$$\left(\frac{C}{No}\right)_{ASC} = PIRE_{ET} + \left(\frac{G}{T}\right)_{SAT} - K - L_s - L_\Lambda - \mu_{ASC} dB/Hz$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_{ASC} = 62.24 + 3.6 + 228.6 - 186.87 - 0.9 - 4.2 = 102.47 \text{ dB/Hz}$$

Relación portadora a ruido.

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{ASC} = \left(\frac{C}{N_o}\right)_{ASC} - 10\log(BW) \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{ASC} = 102.47 - 10\log(36 \times 10^6) = 26.907 \text{ dB}$$

Relación portadora a ruido del sistema.

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{ASC.SIST.} = 10\log \left[ \frac{1}{\frac{1}{10^{\frac{(C/N)_{ASC}}{10}}} + \frac{1}{10^{\frac{(C/I)}{10}}} + \frac{1}{10^{\frac{(C/X)_{POL}}{10}}} + \frac{1}{10^{\frac{(C/X)_{SAT.ADY.}}{10}}}} \right] \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{ASC.SIST.} = 10\log \left[ \frac{1}{\frac{1}{10^{2.69}} + \frac{1}{10^3} + \frac{1}{10^{2.7}} + \frac{1}{10^{3.75}}} \right] = 22.8276 \text{ dB}$$

donde los factores siguientes poseen valores preestablecidos:

$$\left(\frac{C}{I}\right) = 30 \text{ dB} \text{ (Intermodulación asc. cuando existe rehúso de frecuencia en voz y datos).}$$

$$\left(\frac{C}{X}\right)_{POL} = 27 \text{ dB} \text{ (Interferencia por polarización cruzada ascendente).}$$

$$\left(\frac{C}{X}\right)_{SAT.ADY.} = 37.5688 \text{ dB} \text{ (Satélite adyacente ascendente).}$$

$$\left(\frac{C}{X}\right)_{SAT.ADY.} = G_{Tx} - (29 - 25 \log \phi) \text{ dB}$$

donde:

$$G_{Tx} = 59.6 \text{ (ganancia de la antena contenido en "datos de la antena")}$$

$$\phi = 1.9^\circ \text{ (distancias entre satélites)}$$

$$\left(\frac{C}{X}\right)_{SAT.ADY.} = 59.6 - (29 - 25 \log 1.9) = 37.5688 \text{ dB}$$

**Potencia nominal por portadora.**

$$P_{NOM} = PIRE_{ET} - G_{Tx} - L_{\Lambda} \text{ dBW}$$

$$P_{NOM} = 62.24 - 59.6 - 0.9 = 1.74dBW$$

**Potencia del HPA.**

$$POT_{HPA} = PIRE_{ET} - G_{Tx} + L_{HPA y LNA} + BOO$$

$$POT_{HPA} = 62.24 - 59.6 + 1.0 + 6.0 = 9.64dBW$$

$$POT_{HPA} = \log^{-1}\left(\frac{9.64}{10}\right) = 9.2W$$

**Enlace descendente.**

Pérdida por dispersión.

$$L_p = 10 \log(4\pi D^2) dB^2$$

$$L_p = 10 \log(4\pi)(36,537,776)^2 = 162.2469 dB^2$$

NOTA: Ver página 176 para valor de "D"

Pérdida en el espacio libre.

$$L_s = 20 \log \frac{4\pi DF}{C} dB$$

$$L_s = 20 \log \frac{(4\pi)(36,537,776)(12.11 \times 10^9)}{300,000,000} = 205.36dB$$

donde:

D es la distancia del satélite a la estación terrena al satélite

F es

C es la velocidad de la luz en el espacio

Potencia isotrópica del satélite.

$$PIRE_{SAT} = PIRE_{SATU} - BOO + 10 \log\left(\frac{BW_{PORT}}{BW_{TP}}\right) dBW$$

$$PIRE_{SAT} = 47.7 - 6.0 + 10\log\left(\frac{36}{36}\right) = 41.7 dBW$$

Relación portadora a densidad de ruido descendente.

$$\left(\frac{C}{No}\right)_{DESC} = PIRE_{SAT} + \left(\frac{G}{T}\right)_{ET} - K - L_S - L_{\Lambda} - \mu_{DESC} \text{ dB/Hz}$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_{DESC} = 41.7 + 35.3 + 228.6 + 185.36 - 2.2 - 0.9 = 117.14 \text{ dB/Hz}$$

Relación portadora a ruido descendente.

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{DESC} = \left(\frac{C}{No}\right)_{DESC} - 10\log(BW) \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{DESC} = 117.14 - 10\log(36 \times 10^6) = 41.577 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{X}\right)_{SAT.ADY.} = G_{Rx} - (29 - (25 \log \phi)) \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{X}\right)_{SAT.ADY.} = 58.5 - (29 - (25 \log 1.9)) = 36.4688 \text{ dB}$$

Relación portadora a ruido descendente del sistema.

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{DESC.SIST.} = 10\log \left( \frac{1}{\frac{1}{10^{\frac{(C/N)_{DESC}}{10}}} + \frac{1}{10^{\frac{(C/I)}{10}}} + \frac{1}{10^{\frac{(C/X)_{POL}}{10}}} + \frac{1}{10^{\frac{(C/X)_{SAT.ADY.}}{10}}}} \right) \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{DESC.SIST.} = 10\log \left( \frac{1}{\frac{1}{10^{4.1}} + \frac{1}{10^{1.8}} + \frac{1}{10^{2.7}} + \frac{1}{10^{3.64}}} \right) = 17.41 \text{ dB}$$

donde los factores siguientes poseen valores preestablecidos:

$$\left(\frac{C}{I}\right) = 18 \text{ dB} \text{ (Intermodulación desc. cuando existe rehúso de frecuencia en voz y datos).}$$

$$\left(\frac{C}{X}\right)_{POL} = 27 \text{ dB} \text{ (Interferencia por polarización cruzada descendente).}$$

$$\left(\frac{C}{X}\right)_{SAT.ADY.} = 36.4688dB \text{ (Satélite adyacente descendente).}$$

$$\left(\frac{C}{X}\right)_{SAT.ADY.} = G_{Rx} - (29 - 25 \log \phi)dB$$

donde:

$G_{Rx} = 59.6$  (ganancia de la antena mostrado en "datos de la antena")

$\phi = 1.9^\circ$  (distancias entre satélites)

$$\left(\frac{C}{X}\right)_{SAT.ADY.} = 58.5 - (29 - 25 \log 1.9) = 36.4688dB$$

**Relación portadora a densidad de ruido total del sistema.**

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{T.SIST.} = 10 \log \left\{ \frac{1}{\log^{-1} \left( \frac{\left(\frac{C}{No}\right)_{ASC}}{10} \right) + \log^{-1} \left( \frac{\left(\frac{C}{No}\right)_{DESC}}{10} \right)} \right\} dB$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{T.SIST.} = 10 \log \left\{ \frac{1}{\log^{-1} \left( \frac{102.47 \text{ dB/Hz}}{10} \right) + \log^{-1} \left( \frac{117.14 \text{ dB/Hz}}{10} \right)} \right\} = 102.255 \text{ dB}$$

Relación portadora a ruido total del sistema  $\left(\frac{C}{N}\right)_{T.SIST.}$ .

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{T.SIST.} = \left(\frac{C}{No}\right)_{T.SIST.} - 10 \log(BW)dB$$



$$\left(\frac{C}{N}\right)_{T.SIST.} = 102.225 - 10 \log(36 \times 10^6) = 26.69 \text{ dB}$$

Relación de portadora a densidad de ruido requerido  $\left(\frac{C}{N}\right)_{REQ}$  con  $\left(\frac{Eb}{No}\right) = 5.0$  para un FEC=3/4

$$\left(\frac{C}{No}\right)_{REQ} = \left(\frac{Eb}{No}\right) + 10 \log(VEL_{INF} + OverHead) \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{No}\right)_{REQ} = 5.5 + 10 \log[(85068.8 \times 10^3) + (8 \times 10^3)] = 84.798 \text{ dB}$$

Relación portadora a ruido requerido.

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{REQ} = \left(\frac{C}{No}\right)_{REQ} - 10 \log(BW) \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{REQ} = 84.798 - 10 \log(36 \times 10^6) = 9.235 \text{ dB}$$

Margen del enlace.

$$ME = \left(\frac{C}{N}\right)_{T.SIST.} - \left(\frac{C}{N}\right)_{REQ} \text{ dB}$$

$$ME = 26.69 - 9.235 = 17.46 \text{ dB}$$

Cálculo del LNA.

$$T_{LNA} = T_{SIST} + \left(\frac{C}{N}\right)_{REQ} \text{ dB}/^\circ K$$

$$T_{LNA} = 125^\circ + 9.235 = 115.76 \text{ dB}/^\circ K$$

Porcentaje de potencia consumida por el satélite.

$$\% POT = \left( \log^{-1} \left( \frac{PIRE_{SAT} - PIRE_{SATU} + BOO}{10} \right) \right) \times 100$$

$$\% POT = \left( \log^{-1} \left( \frac{41.7 - 47.7 + 6.0}{10} \right) \right) \times 100 = 1.0\%$$

En margen del enlace es de 17.46 dB lo cual esta por encima 7dB, que es un valor establecido para que el enlace tenga una buena operabilidad en la banda que estamos utilizando la cual es Ku.

## 5.6. COSTOS Y BENEFICIOS

### ➤ COSTOS

Doremi – VIUMD	10,000
Betacam Sony DVW – 2000	10,000
Forma de Onda	5,000
Vectorscopio	5,000
Routers	25,000
Kaleido – Alto – HD	11,995
Botoneras para el Master	3,000
Encoders	35,000
Antenas receptoras banda Ku	160
Receptores caseros	2,000
Receptores profesionales	5,000
LCD´s	5,000
Cámaras c/ CCU por canal de cámara	125,000
Mezclador de video Kahuna y licencia p/HD	270,000 y 20,000
Home Heather Sony	7,000 – 11,000
Procesadores Leitch HD	22,064
Multiplexores	100,000

Tabla 5.10

### ➤ BENEFICIOS

#### • Tecnológicos

- Adquisición del mejor sistema de comunicación vía satélite con los mejores y mas avanzados métodos de codificación de señales (DVB-S2).
- Mejor optimización de mismo ancho de banda del transponder.
- Bajo costo en el equipo debido a la gran oferta y cantidad de proveedores.
- Abatimiento del rezago de material audio visual (análogo) que se tiene en la videoteca por un periodo de tiempo.
- Posibilidad de implementación de televisión interactiva con la utilización del mismo equipo.
- Posibilidad de contar con servicio de Internet vía satélite para instituciones educativas marginadas.
- Alternativa de innovación y posibilidad de cambiar de sistema utilizando parte del equipo adquirido.

- Menor número de personas para operar el sistema en las diferentes áreas .
- Equipo de fácil manejo.
- **Sociales**
  - Adquisición de un sistema de educación a distancia con la tecnología más avanzada en materia de comunicaciones.
  - Competitividad con otras instituciones educativas en cuanto a material audio visual.
  - Aumento en la calidad de la educación secundaria y media superior en instituciones que trabajen con este sistema como son las localidades rurales.
  - Mayor posibilidad de ofertar la programación de los canales de la Red Edusat y así incrementar el número de puntos receptores.
  - Aumento en el número de suscriptores de empresas de TV que transmiten programación de la Red Edusat.
  - Mejores oportunidades de desarrollo al poder asociarse a otras organizaciones o empresas que trabajen con el mismo sistema.
  - Incremento del nivel académico de la educación para adultos.
  - Mejoras en la impartición de cursos y capacitaciones que son impartidas por algunas instituciones apoyándose en la programación de la Red Edusat.



## CONCLUSIONES

En México, el sistema de televisión analógica empleado en la actualidad es el NTSC, el cual designa 6MHz de ancho de banda por canal para la difusión de sus respectivas señales de audio y video. Esta norma se caracteriza por tener una exploración de imagen de 525 líneas de manera entrelázala con una frecuencia de 60Hz y modulación de color en cuadratura. Para la transmisión, la señal de video se modula en AM y la de audio en FM. Este sistema tiene sus deficiencias principales en el color de la imagen ya que se producen alteraciones de este durante su proceso y transmisión.

Con la llegada de la televisión digital, la manera de producir y transmitir material audio visual se ha perfeccionado notablemente, ya que con los nuevos métodos de codificación y modulación digital se puede optimizar el mismo ancho de banda que era utilizado para los sistemas análogos. Esto es, si antes podríamos transmitir un solo canal de modo analógico por 6MHz ahora con la tecnología digital podríamos transmitir hasta cuatro o cinco canales.

La televisión de Alta Definición siendo una variante de la televisión digital nos permite visualizar imágenes con una resolución cinco veces mayor a la normal, aparte de aportar un sonido envolvente y dinámico.

El sistema que México ha adoptado para la difusión terrestre de señales de televisión digital es el ATSC utilizado en Estados Unidos. Esta norma ofrece mejores características que la norma europea DVB-T como son los servicios de HDTV, interactividad y Datacasting. Sin embargo, en México no ha sido usado el sistema ATCS para transmisión satelital por lo cual se usa DVB en la mayoría de las empresas de telecomunicaciones y televisoras.

La Red Satelital de Televisión Educativa (Red Edusat) es un sistema de señal digital que se transmite vía satélite utilizando el sistema DigiCipher II y DVB-S, siendo el más importante de su naturaleza en Latinoamérica.

La Red Edusat, tiene su base en las instalaciones del Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa (ILCE) y en las de la Dirección General de Televisión Educativa (DGTVE). El sistema de transmisión opera con apoyo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y Telecomunicaciones de México (Telecom). Edusat cuenta con más de 35,000 equipos receptores en el sistema educativo mexicano y aproximadamente con 1,000 distribuidos en diversos países de Latinoamérica.

La Red Edusat es un sistema de señal digital comprimida con capacidad para levantar dieciséis canales de televisión, de los cuales diez son utilizados para transmitir programas dirigidos a maestros y alumnos en todos los niveles de enseñanza y en las modalidades presencial, a distancia y mixtas; y los seis restantes se usan para experimentación y prácticas en el envío de datos por Internet o video bajo demanda

Proveer a la DGTVE de una tecnología como la alta definición, cambiando el sistema de transmisión a los más actuales y eficientes (DVB-S2), y la infraestructura tanto de la televisora como de los puntos receptores, mejorara la calidad en la impartición de la educación en todos los niveles, además de que se contará con las mejores tecnologías en materia de comunicaciones utilizadas ya en diferentes países para tal fin.

## GLOSARIO

AC-3. Digital Dolby, o AC-3, es la versión más común que contiene hasta un total de 6 canales de sonido, con 5 canales de ancho de banda completa de 20 Hz - 20 KHz para los altavoces de rango-normal (frente derecho, centro, frente izquierdo, parte posterior derecha y parte posterior izquierda) y un canal de salida dedicada para los sonidos de baja frecuencia conocida como Low Frequency Effect, o subwoofer. El formato Dolby Digital apoya usos Mono y Stereo también.

ADSL Asymmetric Digital Subscriber Line ("Línea de Abonado Digital Asimétrica"). ADSL es un tipo de línea DSL. Consiste en una línea digital de alta velocidad, apoyada en el par simétrico de cobre que lleva la línea telefónica convencional o línea de abonado. Siempre y cuando el alcance no supere los 5.5 km.

AM. Amplitud modulada o modulación de amplitud es un tipo de modulación lineal que consiste en hacer variar la amplitud de la onda portadora de forma que esta cambie de acuerdo con las variaciones de nivel de la señal moduladora, que es la información que se va a transmitir. La modulación de amplitud es equivalente a la modulación en doble banda lateral con reinsertión de portadora.

ATSC. Advanced Television System Committee (Comité de Sistemas de Televisión Avanzada), es un grupo que se encarga del desarrollo de los estándares de la televisión digital en los estados unidos, y en base a estos estándares Canadá, México, Corea del Sur y recientemente Guatemala y Honduras adoptaron esta normativa.

AVC. Codificación de video avanzada

Blanking. Señal de blanqueo de una línea o cuadro

bps. Bits por segundo o bps, en una transmisión de datos, es el número de impulsos elementales (1 ó 0) transmitidos en cada segundo.

BW. (Ancho de banda) el ancho de banda es la anchura, medida en hercios, de un rango de frecuencias.

C. señal de crominancia o croma utilizado para almacenar cualquier tipo de información (audio, video, documentos).

CA. Se denomina corriente alterna (abreviada CA en español y AC en inglés) a la corriente eléctrica en la que la magnitud y dirección varían cíclicamente. La forma de onda de la corriente alterna más comúnmente utilizada es la de una onda senoidal.

CCD. Charge-Coupled Device, (Dispositivo de Cargas (eléctricas) Interconectadas). Es un circuito integrado que contiene un número determinado de condensadores enlazados o acoplados.

CCIR. son las siglas de Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones. Antiguo nombre del comité de normalización de las radiocomunicaciones en la UIT ahora conocido como UIT-R.

CCITT son las siglas de Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico (Consultative Committee for International Telegraphy and Telephony). Antiguo nombre del comité de normalización de las telecomunicaciones dentro de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) ahora conocido como UIT-T.

CD. disco compacto (conocido popularmente como CD, del inglés compact disc) es un soporte digital óptico.

CDDA. Conocido también como CD-A y CD-DA (CD son las siglas en inglés de Compact Disc, 'disco compacto').

CDMA. Code Division Multiple Access. La multiplexación por división de código es un término genérico que define una interfaz de aire inalámbrica basada en la tecnología de espectro extendido (spread spectrum).

DGTVE. Dirección General de Televisión Educativa. Es un órgano centralizado de la Secretaría de Educación Pública, dependiente de la Unidad de Planeación y Evaluación de Políticas Educativas. Las tareas a cargo del personal que integra la DGTVE son producir, programar y transmitir contenidos educativos a través de medios electrónicos, principalmente la televisión, mediante la Red Edusat.

DCT: La Transformada de coseno discreta (DCT del inglés *Discrete Cosine Transform*) es una transformada basada en la Transformada de Fourier discreta, pero utilizando únicamente números reales.

DD. marca comercial de laboratorios Dolby Digital (Dolby Labs, NYSE: DLB) es una compañía con sede en Estados Unidos especializada en compresión y ha decidido. ISDB-T es muy similar a DVB-T.

DVD. (también conocido como "Digital Versatile Disc" o "Disco Versátil Digital", anteriormente llamado "Digital Video Disc" o "Disco de Video Digital") es un formato de almacenamiento óptico que puede ser usado para guardar datos, incluyendo películas con alta calidad de video y audio sigma-delta de primer bit.

DSD. (Direct Stream Digital) es un sistema de compresión sin pérdidas que emplea un algoritmo de codificación

DVB. (Digital Video Broadcasting). es una organización que promueve estándares aceptados internacionalmente de televisión digital, en especial para HDTV y televisión vía satélite, así como para comunicaciones de datos vía satélite (unidireccionales, denominado sDVB-IP, y bidireccionales, llamados DVB-RCS).

DVB-S. Digital Video Broadcasting by Satellite es un sistema que permite incrementar la capacidad de transmisión de datos y televisión digital a través de un satélite UH11 usando el formato. La estructura permite mezclar en una misma trama un gran número de servicios de video, audio y datos.

DVB-C. son las siglas de Digital Video Broadcasting - Estándar europeo usado desde Diciembre de 1994 para transmisiones vía satélite se adopta la codificación QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), con un flujo binario variable de 18.4 a 48.4 Mbps. El formato DVB-S es ampliamente usado en países europeos como Alemania y Finlandia.

"Digital Broadcasting Systems for Television, Sound and Data Services; Framing structure, Channel coding and Modulation for Cable systems" elaborado bajo el auspicio de la Unión Europea de Radiodifusión (EBU) y el DVB-H. Televisión terrestre para dispositivos portátiles. La tecnología DVB-H constituye una plataforma de difusión IP orientada a terminales portátiles que combina la compresión de video y el sistema de transmisión de Instituto Europeo de Estandarización de Telecomunicaciones (ETSI).

DVB-T. Televisión Digital Terrestre o TDT es la aplicación de las tecnologías del medio digital a la transmisión de contenidos a través de una antena convencional (aérea) o de conexión por cable o satélite. Aplicando la tecnología o imagen en alta definición y mejor calidad de sonido (empleando sistemas como AC3, Dolby Digital) La tecnología digital se consiguen mayores posibilidades, como proveer de un mayor número de canales, mejor calidad de imagen usada en Norteamérica es ATSC, ISDB-T en Japón, y DVB-T en Europa y Australia. El resto del mundo aún no se reproducción de sonido.

FCC. Federal Communications Commission (Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos de América)

FDMA. Es un acrónimo en inglés que significa Frequency Division Multiple Access, que traducido al español es Tecnología de acceso múltiple por división de frecuencias

FLYBACK: parpadeo de imagen

FM. Frecuencia modulada o Modulación de frecuencia es el proceso de codificar información, la cual puede estar tanto en forma digital como analógica, en una onda portadora mediante la variación de su frecuencia instantánea de acuerdo con la señal de entrada.

HDTV. High Definition Television (Televisión de Alta Definición). Es uno de los formatos que, sumados a la televisión digital (DTV), se caracteriza por emitir las señales televisivas en una calidad digital superior a los demás sistemas.



H-264. H.264 o MPEG-4 parte 10 es una norma que define un códec de video de alta compresión, desarrollada conjuntamente por el ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG) y el ISO/IEC Moving Picture Experts Group (MPEG). La intención del proyecto H.264/AVC fue la de crear un estándar capaz de proporcionar una buena calidad de imagen con tasas binarias notablemente inferiores a los estándares previos (MPEG-2, H.263 o MPEG-4 parte 2), además de no incrementar la complejidad de su diseño.

I. señal de color que indica la saturación de este

IP. Protocolo de Internet (Internet Protocol)

ISDB-T: estándar de alta definición usado en Japón. Es flexible, ya que no sólo se pueden enviar señales de audio e imagen, sino también servicios multimedia. Es la norma en Japón y Brasil.

ISO. La Organización Internacional para la Estandarización o International Organization for Standardization. es una organización internacional no gubernamental, compuesta por representantes de los organismos de normalización nacionales, que produce normas internacionales industriales y comerciales.

LCD (Liquid Crystal Display) son las siglas en inglés de Pantalla de Cristal Líquido, dispositivo inventado por Jack Janning. Se trata de un sistema eléctrico de presentación de datos formado por 2 capas conductoras transparentes y en medio un material especial cristalino (cristal líquido) que tienen la capacidad de orientar la luz a su paso.

LFE, una abreviación de Low Frequency Effects, es comúnmente usado en la descripción de una pista de audio contenida dentro de los efectos de sonido de una película.

MPEG es el nombre de un grupo de estándares de codificación de audio y video normalizados (Moving Pictures Experts Group).

msegundos. Un milisegundo es el período de tiempo que corresponde a la milésima fracción de un segundo (0.001s).

µsegundos. Un microsegundo es el período de tiempo que corresponde a la millonésima fracción de un segundo (0.000001s).

NR. Tipo de codificación para una señal digitalizada

NTSC. National Television System Committee (Comité Nacional de Sistemas de Televisión). Es un sistema de codificación y transmisión de televisión a color analógica desarrollado en Estados Unidos en torno a 1940, y que se emplea en la actualidad en la mayor parte de América y Japón, entre otros países.

OSI. Modelo de referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos (Open System Interconnection) lanzado en 1984 fue el modelo de red descriptivo creado por ISO.

PAL. Phase Alternating Line (Línea Alternada en Fase). Es el nombre con el que se designa al sistema de codificación empleado en la transmisión de señales de televisión analógica en color en la mayor parte del mundo. Es de origen alemán y se utiliza en la mayoría de los países africanos, asiáticos y europeos, además de Australia y algunos países latinoamericanos.

Q. señal de tonalidad

RF. término radiofrecuencia, también denominado espectro de radiofrecuencia, se aplica a la porción del espectro electromagnético en el que se pueden generar ondas electromagnéticas aplicando corriente alterna a una antena

RGB. Combinación de colores rojo, verde y azul (red, green, blue)

SECAM. Séquentiel Couleur avec Mémoire, en francés (Color Secuencial con Memoria). Es un sistema para la codificación de televisión en color analógica utilizado por primera vez en Francia. El sistema SECAM fue inventado por un equipo liderado por Henri de France trabajando para la firma Thomson. Es históricamente la primera norma de televisión en color europea.

SHF: Super High Frequency. Banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 3GHz a 30GHz. También es conocida como la banda centimétrica con un rango de frecuencias de entre 10 a 1 centímetro.

**TDMA.** Son las siglas de Time Division Multiple Access. Tecnología que distribuye las unidades de información en ranuras (slots) alternas de tiempo, proveyendo acceso múltiple a un reducido número de frecuencias. TDMA es una tecnología inalámbrica de segunda generación que brinda servicios de alta calidad de voz y datos.

**TFT.** Thin Film Transistor (Transistor de Película Fina) es un tipo especial de transistor de efecto campo construido depositando finas películas sobre contactos metálicos, capa activa cada píxel, obteniendo mejores tiempos de respuesta al no ser necesario el barrido

**UHF.** Ultra High Frequency, frecuencia ultra alta) es una banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 300MHz a 3GHz.

**UIT.** La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es el organismo especializado de las Naciones Unidas encargado de regular las telecomunicaciones, a nivel internacional, entre las distintas administraciones y empresas operadoras

**VCEG:** El Grupo de Expertos de Codificación de video o VCEG es el nombre de la Cuestión 6 (de codificación de video) del Grupo de Trabajo 3 (Codificación de medios) de la Comisión de Estudio 16 (Terminales, sistemas y aplicaciones) de la

**UIT-T.** Se encarga de la normalización de la "H.26x" línea de normas de codificación de video y de las tecnologías conexas.

**VHF** (Very High Frequency) es la banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 30MHz a 300MHz.

**USB.** (Vestigial Side Band) Banda Lateral Vestigial. Tipo de modulación empleada por la norma STCS

**Y.** señal de luminancia o luma

## **BIBLIOGRAFÍA**

Sistemas de televisión, José Manuel Mossi G, Universidad Politécnica de Valencia

Televisión práctica y sistemas de video, Grob-Herndon, Alfa omega

Televisión. Volumen I, Eugenio García-Calderón López. Edita, Departamento de publicaciones de la E.T.S

Televisión digital. Tomás Bethencourt Machado. ISBN 84 607-3527-3.

Pruebas de comportamiento para transmisores de Televisión (México). Sistema NTSC; Ing. Bruno Schwebel.

Manual de Operación de cámara Panasonic.

Curso de Calculo de enlace Satelital; Ing. Olivia Alva.

Apuntes de la clase de “Audio y Video”.

[es.wikipedia.org/wiki/Televisión](https://es.wikipedia.org/wiki/Televisión)

[www.monografias.com/](http://www.monografias.com/)

[www.video.com.mx](http://www.video.com.mx)

[dgtve.sep.gob.mx/](http://dgtve.sep.gob.mx/)

Archivos de la DGTVE