



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOMATEMÁTICAS E INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

TRABAJO FINAL

Alumno: Pedro Ignacio Sequeira
N° de Registro: 02-040239-0
DNI: 31.115.136

TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE
Compresión digital MPEG-2/4
SET TOP BOX
Mediciones de la calidad de señales de video digital

Tutor
Prof. Ing. Cayetano Grossi

Buenos Aires, 27 de Julio de 2012

OBJETIVO

El principal objetivo de este Trabajo es analizar y dar a conocer las características principales de los formatos de compresión MPEG-2 y MPEG-4 utilizados en el estándar de televisión digital ISDB-T.

Con el fin de poder evaluar el nivel de calidad de video y sonido de las señales emitidas por las estaciones transmisoras de radiodifusión, se analizan distintos métodos de medición de señales.

Por último se estudia el funcionamiento de un set top box y sus diversas aplicaciones, muchas hoy en día en proceso de elaboración.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. Acontecimientos de la Televisión en Argentina	5
2. COMPRESIÓN DIGITAL	7
2.1. Necesidad de la compresión	7
2.2. Entropía y redundancia	7
2.3. Compresión de la señal digital de video y audio.....	8
3. Compresión de video MPEG2.....	9
3.1. Codificación espacial	9
3.1.1. Diagrama en bloques de la codificación espacial	9
3.1.2. Formateo de bloques	10
3.1.3. Transformada Discreta del Coseno - Matriz DCT	11
3.1.4. Bloque de muestras	12
3.1.5. Codificación y redondeo	13
3.1.6. Lectura en zig-zag o irregular.....	13
3.1.7. Codificación RLC.....	14
3.1.8. VLC – Codificación de Huffman.....	15
3.2. Compresión temporal.....	16
4. Compresión de audio MPEG2	19
4.1. Digitalización de la señal de audio	19
4.2. Estándar de transmisión de audio digital AES/EBU.....	19
4.3. Código BMC.....	20
4.4. Audio embebido	21
4.5. Compresión de audio digital.....	22
4.5.1. Principios de la compresión.....	22
4.5.2. Estándares MPEG de compresión de audio	23
5. Estándar de compresión de video MPEG-4	26
6. Multiplex MPEG2	27
6.1. Estructura de paquetes PES y TS.....	28
7. SET TOP BOX	30
7.1. Origen.....	30
7.2. Configuración básica del Set-Top Box ISDB-T.....	31
7.3. Ginga	32
7.3.1. Arquitectura de referencia	33
7.3.2. Ginga - Arquitectura por capas.....	34
7.3.3. Ginga Common Core	34
7.3.4. Ginga NCL	36
7.3.5. Software Libre.....	38
8. Mediciones de la calidad de las señales de video y audio digital	39
8.1. Parámetros de interés:.....	40
8.1.1. A) DESVIACIÓN DE FRECUENCIA.....	41
8.1.2. B) POTENCIA DE SEÑAL.....	42
8.1.3. C) ANCHURA DE BANDA OCUPADA	44
8.1.4. D) ESPECTRO DE EMISIÓN.....	44
8.1.5. E) DESVIACIÓN DE FRECUENCIA DE MUESTREO DE LA TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER INVERSA (IFFT).....	46
8.1.6. F) RUIDO DE FASE	46
8.1.7. G) INTERMODULACIÓN	48
8.1.8. H) CONSUMO DE ENERGÍA.....	49
8.1.9. I) CARACTERÍSTICA DE TASA DE ERRORES DE MODULACIÓN	50
8.1.10. J) CALIDAD DE AUDIO Y VIDEO PERCIBIDA POR EL USUARIO	51
8.2. Señales digitales.....	52
8.2.1 Representación vectorial de una señal digital.....	52
8.2.3. Descomposición componentes I & Q.....	53

8.2.4. Modulación digital – Visualización de la señal	53
8.2.5. Análisis de diagrama de constelaciones.....	54
8.2.6. Ancho de banda y filtrado.....	55
8.3. BER: Bit Error Rate	56
8.4. MER: Modulation Error Rate	56
8.5. MER vs BER.....	57
9. Conclusión	58
10. Glosario	59
11. Bibliografía	600

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Acontecimientos de la Televisión en Argentina

La televisión en Argentina se inició en 1951 con la creación del Canal 7 de Buenos Aires (estatal) al que, a partir 1960, se le sumaron canales privados en la Capital Federal y diversas ciudades del interior del país. Todos ellos transmitiendo en blanco y negro.

En 1980 se pasó a transmitir en color con el sistema PAL (alemán) norma N, y el Canal 7 se convirtió en ATC (Argentina Televisora Color). En ese mismo momento comienzan su despliegue en el país las redes de cable (CATV).

En 1999 llega la TV satelital directa al hogar de mano de Direct TV.

En 2009 se elige la norma ISDB (japonesa) para la TV digital terrestre argentina, y se establece que en 2010 se comenzará a emitir en digital utilizando canales de UHF (en paralelo con los canales analógicos) hasta llegar al “apagón digital” en un plazo de 10 años.

La norma ISDB-T adoptada por nuestro país, no solo permite la recepción terrestre, portátil y móvil de la señal transmitida, sino que también, y a diferencia de las otras normas, es un estándar abierto, lo cual permite a cada país introducirle las modificaciones y adaptaciones necesarias, promoviendo avances significativos en materia de desarrollo tecnológico propio.

Además de favorecer la integración y el desarrollo regional, el sistema elegido por la mayoría de los países de América Latina ofrece otras ventajas respecto a las otras normas, como ser la *transmisión de mejores señales tanto a receptores fijos y móviles en forma libre y gratuita; mayor capacidad de recepción de hasta ocho señales de definición estándar, o hasta dos señales de alta definición*, a diferencia de otras normas que permiten menor cantidad, dado que admite utilizar mejor el espacio de banda; y la propiedad intelectual del uso de este sistema es gratuita, por lo que Argentina no deberá pagar regalías por la patentes y aplicaciones.

Para permitir los servicios de recepción fija, móvil y portátil en el mismo canal, la norma elegida por Argentina implementa el “Sistema de transmisión Segmentada OFDM”. Como resultado, es posible el servicio Fijo, Móvil y Portátil en un mismo canal, ya que todos son transmitidos en el mismo espectro.

Para poder implementar TV Digital Portátil, el sistema ISDB-T utiliza el servicio de “One-seg” (implementado únicamente por esta norma), que utiliza una parte de los 6MHz. Un receptor de “One-seg” se instala fácilmente en los teléfonos celulares, PDA portátiles y sintonizadores USB.

En Argentina hay aproximadamente 10 millones de hogares y cerca de 24 millones de televisores. El 20% de esos hogares recibe las señales de TV a través de antenas domiciliarias (Televisión Terrestre), de manera libre y gratuita. El 80% restante está abonado a algún servicio pago de TV por cable o TV satelital directa al hogar, siendo la Argentina uno de los países de mayor penetración del servicio de cable en el mundo.

El desarrollo de las empresas de cable y satelitales se debió a la pobre oferta de la Televisión Terrestre analógica, así como a la menor calidad de su imagen en relación a la del cable, que está naturalmente más protegido de los problemas de ruido e interferencia propios de la transmisión de radio analógica. Además, gran parte de las redes de cable ha sido digitalizada, con lo que ganaron aún más en calidad y número de señales, y se agregaron nuevas prestaciones. También la TV satelital directa al hogar es digital.

El estado nacional sólo participaba en la Televisión Terrestre analógica con un canal público. Es decir, el resto de las señales así como las otras modalidades de distribución eran brindadas únicamente por empresas privadas.

La digitalización de la Televisión Terrestre permite transmitir simultáneamente varias señales digitales en el canal de RF originalmente asignado a una sola señal analógica, permitiendo así fácilmente aumentar el número de señales. Además, la señal digital es mucho más robusta y menos sensible al ruido y la interferencia, con lo que se produce una importante mejora de calidad de imagen y sonido. Incluso es posible transmitir HDTV (High Definition Television), que es una señal de calidad superior a los sistemas tradicionales analógicos de televisión en colores (NTSC, SECAM, PAL).

La Televisión Digital Abierta permite tener funciones interactivas, brindando la posibilidad de crear aplicaciones que permitan interactuar con la programación televisiva y desarrollar plataformas avanzadas para atender a diversas temáticas, incentivando el intercambio de información y conocimiento, incrementando el nivel de empleo calificado y desarrollo intelectual. Impulsa la industria nacional, en tanto estimula la producción de equipos en nuestro país, el desarrollo de software para los decodificadores y para los servicios interactivos, motivando al mismo tiempo la elaboración de contenidos diversificados con la participación de profesionales en diferentes materias.

2. COMPRESIÓN DIGITAL

2.1. Necesidad de la compresión

La señal de video digitalizada posee una velocidad binaria tan elevada que no puede ser transmitida en los canales de 6 MHz reservados para la televisión analógica.

Considerando que las velocidades binarias de las señales digitales SD son de 270 Mbps, y las HD son de 1,48 Gbps, si se quisiera transmitir sin comprimir una señal de Televisión Digital Standard (SDTV, con 270 Mbps) se requeriría un ancho de banda de alrededor de 80 MHz (13 canales de 6MHz). Y para transmitir sin comprimir una señal de Televisión Digital de Alta Definición (HDTV, con 1,48 GHz) más de 440 MHz (prácticamente todo el espectro asignado a la TV).

Los sistemas de modulación digital utilizados en las normas ATSC, DBV-T, DTMB e ISDB-T permiten transmitir señales de TV de aproximadamente 20 Mb/s en un canal de 6 MHz. Por lo tanto es necesario reducir la velocidad binaria de la señal de TV digital a dicho valor o menores. Este proceso de reducción se conoce como *compresión digital*.

Se comprende porque la televisión Digital Terrestre (TDT) sólo es posible gracias a la *compresión digital*.

La TDT, en particular, tuvo que esperar la invención del MPEG-2.

2.2. Entropía y redundancia

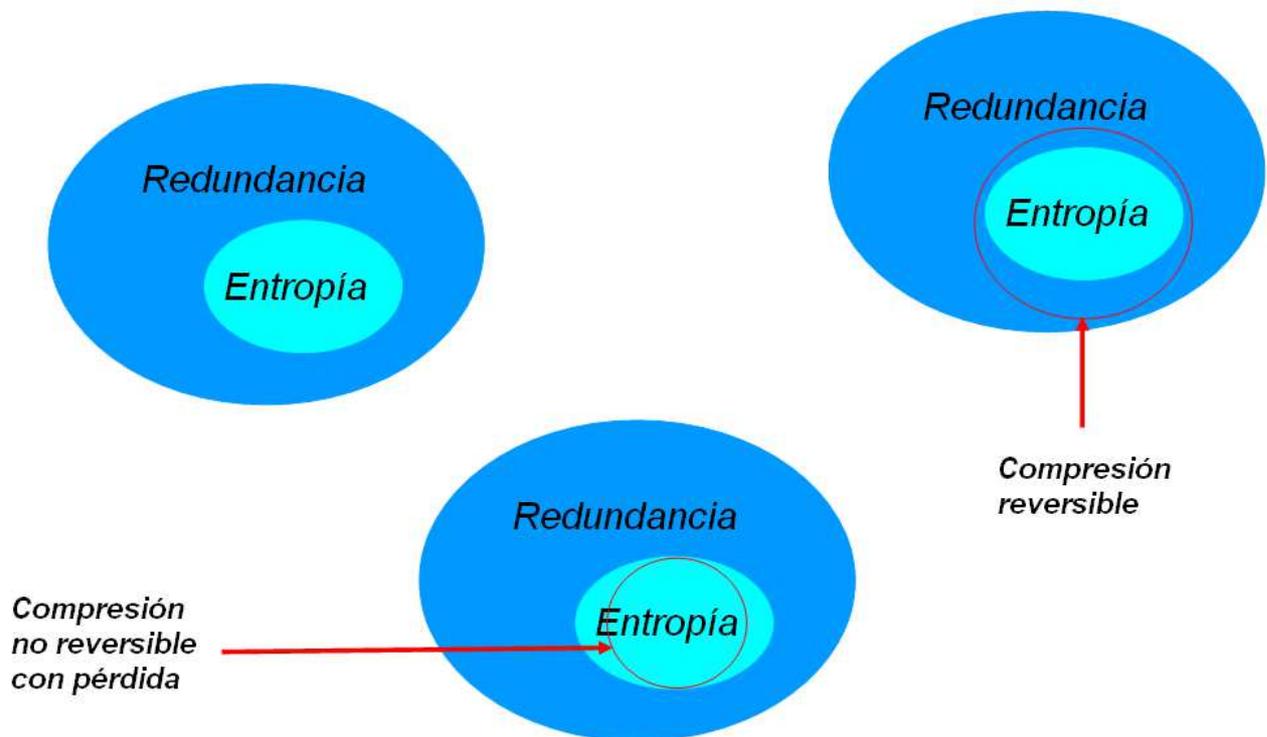
Todo mensaje contiene dos tipos de datos:

- ❖ Los que son esenciales y constituyen la información útil, al conjunto de estos datos se los denomina *entropía*.
- ❖ Los que son repetitivos o predecibles, por lo que podrían ser eliminados sin pérdida alguna de información útil. Estos reciben el nombre de *redundancia*.

En las técnicas de compresión de datos lo que se busca es eliminar o al menos reducir la redundancia, pero sin perder nada de entropía. Esto es difícil, porque el límite entre la entropía y la redundancia no suele ser muy claro o definido. Esto se puede lograr gracias a las técnicas denominadas *sin pérdidas o reversibles*, es decir permiten recuperar completamente la señal original a partir de la señal comprimida.

Para obtener relaciones de compresión mayores se debe sacrificar parte de la entropía, entonces el sistema ya no será reversible porque se ha perdido una parte de la información útil. Sin embargo, en la transmisión de imágenes y sonido, se puede aprovechar las limitaciones de los sentidos humanos y eliminar parte de la entropía sin que esto sea detectado por el observador u oyente, o por lo menos sea tolerado por el mismo.

La relación o grado de compresión alcanzable depende fuertemente de la naturaleza de los programas y sus contenidos, por ejemplo señales de deportes con mucho movimiento no podrán ser comprimidas en el mismo grado que señales más estáticas como teleteatros o noticieros, y por lo tanto requieren más ancho de banda o métodos de compresión más poderosos.



2.3. Compresión de la señal digital de video y audio

En 1986 fue creado un grupo de estudio denominado Joint Photograph Expert Group (JPEG), bajo los auspicios de la International Standard Organization (ISO), con el objeto de desarrollar un estándar de compresión de imágenes estáticas. Sobre esta base, en 1988 se decidió crear otro grupo de estudio, esta vez para compresión de video y audio, denominado Moving Picture Experts Group (MPEG). El MPEG ha dado origen a los formatos de compresión MPEG-2 y MPEG-4, utilizados por los sistemas de TV digital.

El Moving Picture Experts Group, fundado por la Organización Internacional de Normas ISO, ha normalizado los siguientes formatos:

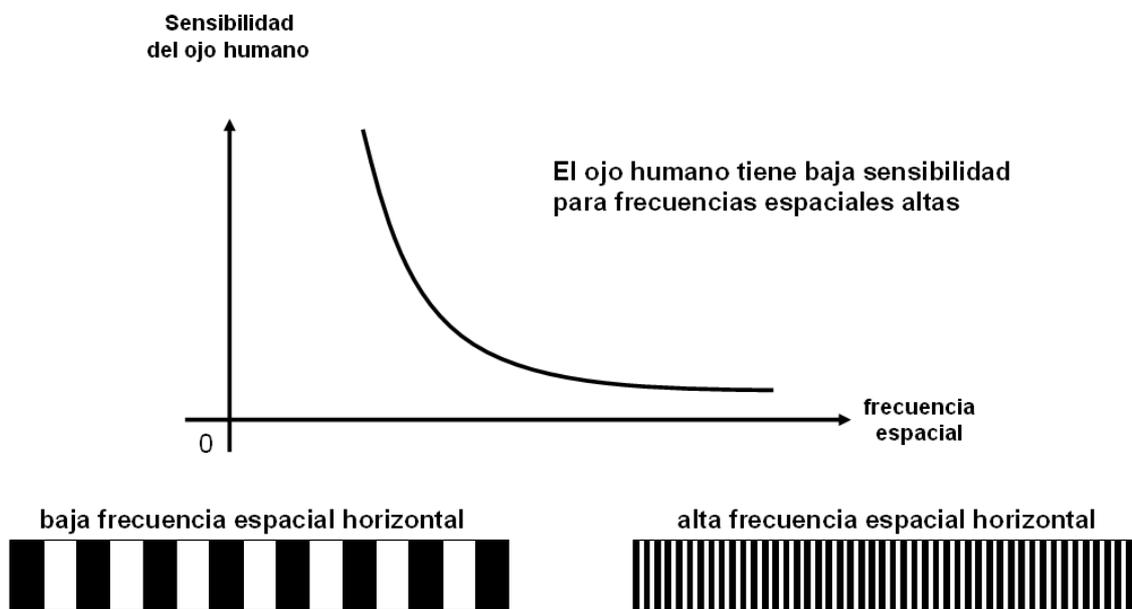
- MPEG-1: primer formato de compresión de audio y video. Se aplica en CDs de video e incluye el formato MP3 de audio.
- MPEG-2: formato de compresión de audio y video para la televisión de la norma CCIR 601. Se utiliza en la televisión satelital directa al hogar (Direct TV), en la televisión digital terrestre y en el cable. Existe una variante para los DVDs.
- MPEG-3: previsto para HDTV (Televisión de Alta Definición), pero fue abandonado a favor de MPEG-2, que asumió esa tarea.
- MPEG-4: expande el MPEG-1 para soportar objetos audio/video, contenido 3D, codificación de baja velocidad binaria y soporte para gestión de derechos digitales (protección de copyright). Es usado en HD-DVD, en discos Blue-ray y como codec HDTV en lugar de MPEG-2. Fue adoptado por la norma ISDB-T brasileña.

3. Compresión de video MPEG2

3.1. Codificación espacial

Aunque una imagen sea extraordinariamente variada siempre habrá zonas con información redundante susceptible a ser comprimidas. Este tipo de compresión que se realiza dentro de cada cuadro recibe el nombre de compresión intracuadro o espacial, y constituye el primer escalón de actuación en la compresión de video. En ella se aprovecha el hecho de que la percepción humana del contenido visual de una imagen es más baja a frecuencias espaciales altas, por lo que las componentes de altas frecuencias de la señal de video se pueden desechar sin provocar una degradación perceptible en la imagen. La codificación espacial permite alcanzar relaciones de compresión de aproximadamente 15:1.

Codificación espacial



3.1.1. Diagrama en bloques de la codificación espacial

La idea del MPEG2 para la compresión espacial es convertir la amplitud de las muestras de la imagen en coeficientes de frecuencia mediante la Transformada Discreta del Coseno (DCT), para luego eliminar las componentes de alta frecuencia y bajo valor durante el proceso de cuantificación, aprovechando la curva de sensibilidad del ojo que se observó en el gráfico anterior.

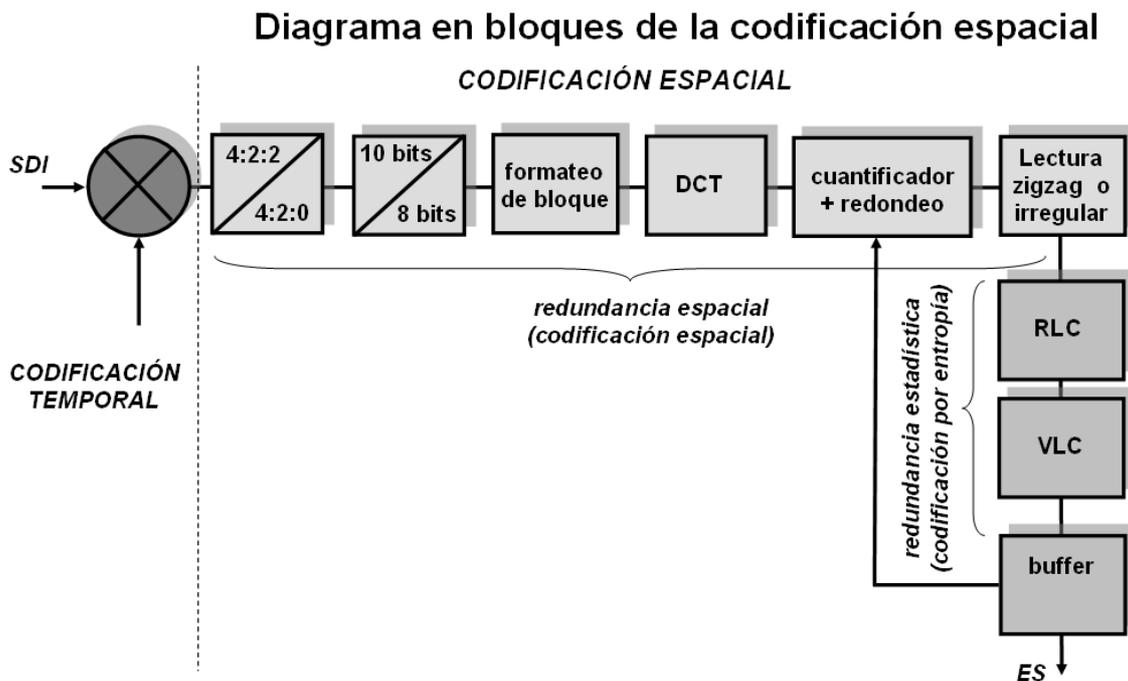
Normalmente el primer paso es transformar la señal SDI con formato 4:2:2 al formato 4:2:0, aunque se podría utilizar cualquier formato. A continuación, si la señal fuera de 10 bits por muestra, se la baja a 8 bits por muestra, debido a que la DCT opera con 9 bits como máximo.

Para aplicar la DCT se divide la imagen en bloques de 8x8 píxeles (64 muestras), y luego se forman macrobloques compuestos por bloques de luminancia Y y de diferencia de color DB y DR. Luego se aplica la DCT, que transforma los bloques de muestras en bloques de coeficientes de frecuencias, es decir se pasa del dominio del tiempo al de frecuencias. Este proceso, si bien reduce la velocidad binaria, es reversible y sin pérdidas de información.

El siguiente paso es la cuantificación y redondeo de los coeficientes. En esta etapa se eliminan los coeficientes pequeños y de alta frecuencia, este proceso es con pérdidas de información, pero aprovecha la baja sensibilidad del ojo humano, por lo que no degrada perceptiblemente la calidad de la imagen. La cantidad de información descartada depende del factor de escala aplicado, y se regula con la ayuda de un lazo de realimentación proveniente del buffer de salida, determinando el factor a aplicar en cada momento.

Las tablas cuantificadas son leídas y pasan a la etapa siguiente, llamada de codificación por entropía. En esta etapa se reduce fuertemente la velocidad binaria mediante dos procesos: VLR (Variable Length Code) y Run Length Code (RLC). Estas etapas reducen la redundancia estadística codificando la información con menos bits.

El último bloque es el buffer, que sirve para garantizar que la velocidad binaria de salida sea constante. El buffer almacena el flujo binario de entrada, que es variable, y lo retransmite a velocidad constante. Mediante un lazo de realimentación controla la cuantificación para que la velocidad binaria de entrada promedio no supere la velocidad de salida.



3.1.2. Formateo de bloques

Para aplicar la DCT normalmente se utiliza el formato 4:2:0. El macrobloque de estructura 4:2:0 está compuesto por cuatro bloques de luminancia Y, un bloque de diferencia de color DB y otro DR (384 muestras).

Si se utiliza el formato 4:2:2, el macrobloque respectivo está compuesto por cuatro bloques de luminancia Y, dos bloques de diferencia de color DB y otros dos DR (512 muestras).

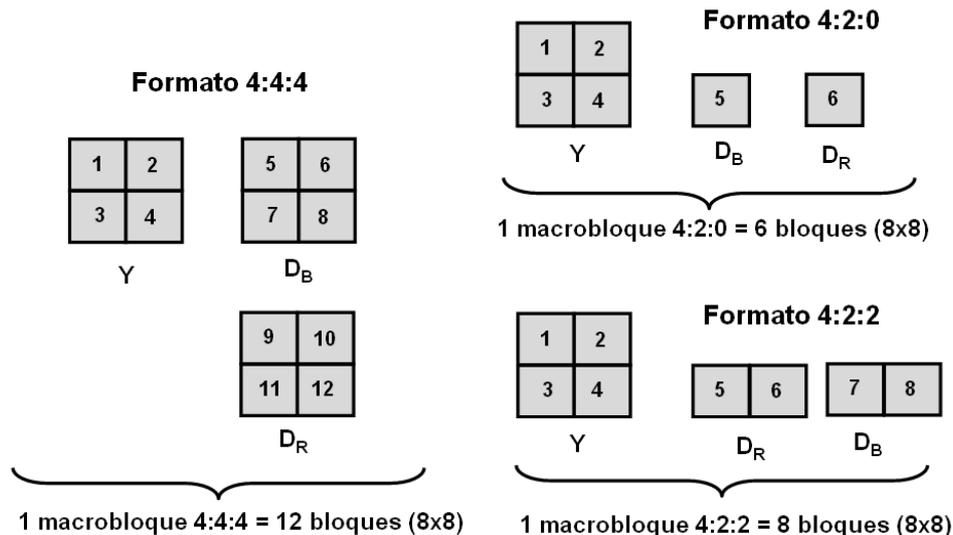
Y si se utiliza el formato 4:4:4, el macrobloque respectivo está compuesto por cuatro bloques de luminancia Y, cuatro bloques de diferencia de color DB y otros cuatro DR (512 muestras).

Los bloques se transmiten a la siguiente etapa en la secuencia indicada por los números en la figura, donde se les aplica la DCT.

- En el caso usual (4:2:0) la secuencia es: Y1 Y2 Y3 Y4 DB5 DR6
- En el caso (4:2:2) la secuencia es: Y1 Y2 Y3 Y4 DB5 DB6 DR7 DR8
- En el caso (4:4:4) la secuencia es: Y1 Y2 Y3 Y4 DB5 DB6 DB7 DB8 DR9 DR10 DR11 DR12

En cuanto a la cantidad de bloques de una imagen, dependerá del número de líneas y muestras. Para la señal 625/50 una imagen tiene 6480 bloques de Y, para una señal 525/60 tiene 5400.

Formateo de bloques



3.1.3. Transformada Discreta del Coseno - Matriz DCT

La transformada de Fourier permite expresar cualquier forma de onda como una sumatoria de componentes armónicos. Una sucesión de valores, por ejemplo una secuencia de muestras de luminancia, se puede considerar como muestras de una forma de onda, a su vez formada por una sumatoria de frecuencias espaciales. La frecuencia espacial sería la distribución espacial de iluminaciones, que sigue una ley sinusoidal caracterizada por su amplitud, frecuencia y fase.

La DCT es una transformada discreta de Fourier bidimensional que permite transformar los bloques de 8x8 valores de muestras de las imágenes, considerados como muestras de frecuencias espaciales bidimensionales, en bloques de coeficientes de dichas frecuencias. Es decir, permite representar las imágenes mediante su espectro en el dominio de las frecuencias.

En la figura se muestra un bloque de muestras de 8x8 valores $f(x,y)$ de una imagen y su transformada, que consiste en una matriz de coeficientes $F(u,v)$ de frecuencias. Analizando la expresión matemática de la transformada, se ve que en la matriz transformada los coeficientes $F(u,v)$ corresponden a frecuencias crecientes en función de u y v . En particular, el coeficiente $F(0,0)$ (de frecuencia cero) corresponde al valor medio de continua y se denomina DC. Representa la luminosidad media de los píxeles del bloque, y es el coeficiente de mayor valor. El resto de los coeficientes se denominan coeficientes AC y corresponden a frecuencias cada vez mayores, según nos acercamos al coeficiente $F(7,7)$ (coeficiente de la frecuencia máxima). La frecuencia crece de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.

Transformada Discreta del Coseno Matriz DCT

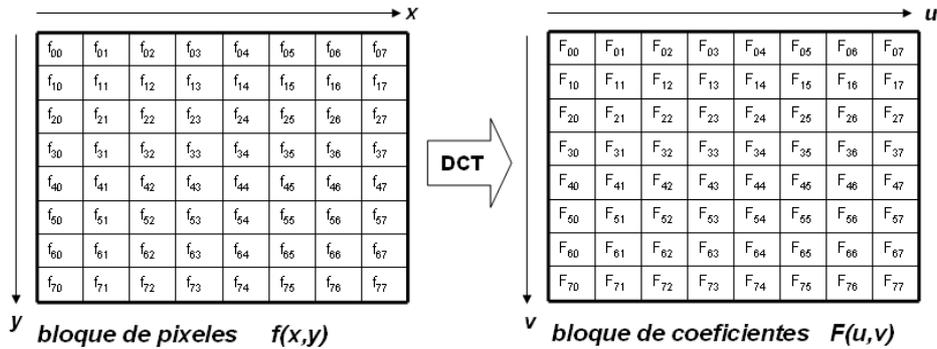
$$F(u,v) = \frac{1}{4} \cdot C(u) \cdot C(v) \cdot \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) \cdot \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2N} \cdot \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N}$$

donde:

$N = 8$

$u, v = 0, 1, 2, \dots, N-1$

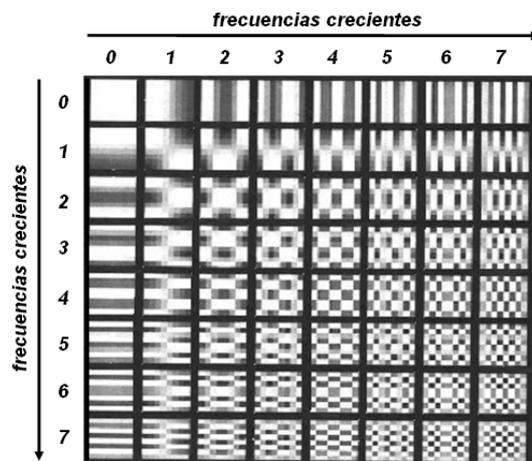
$$\text{Si } \begin{cases} u=0 \\ v=0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C(u)=1/\sqrt{2} \\ C(v)=1/\sqrt{2} \end{cases} \quad \text{y si } \begin{cases} u=1 \text{ a } 7 \\ v=1 \text{ a } 7 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} C(u)=1 \\ C(v)=1 \end{cases}$$



3.1.4. Bloque de muestras

Si se ha cuantificado con 8 bits, cada muestra de un bloque de luminancia podrá tener valores entre 0 y 255 en pasos de 1, donde en principio al negro puro le correspondería el valor 0 y al blanco puro el valor 255. Pero en televisión, con el objeto de tener un margen de tolerancia para los niveles de continua que pudieran introducir los diferentes equipamientos de la cadena de video, se toma como negro puro el valor 16 y como blanco puro el 235. Si se cuantifica con 10 bits, los valores anteriores se multiplican por cuatro.

Transformada Discreta del Coseno Frecuencias de un bloque de imagen



En la figura se ha graficado, en cada celda de la matriz, la figura formada por las frecuencias espaciales correspondientes a los coeficientes de la celda. La suma de estas figuras, afectadas por los valores de los coeficientes, formarían la imagen original del bloque. Vemos que las frecuencias aumentan en sentido horizontal y

vertical, la celda 00 no tiene frecuencias (por ello se denomina DC), sino que representa el valor medio de la luminosidad del bloque.

En el otro extremo, la celda 77 muestra la composición de las máximas frecuencias horizontal y vertical. Si se recuerda que el ojo humano es menos sensible según aumenta la frecuencia espacial (el detalle fino de una figura), vemos que podríamos codificar con valores menores (menor definición) los valores de los coeficientes de frecuencias mayores, o directamente eliminarlos, sin afectar sensiblemente la imagen.

3.1.5. Codificación y redondeo

La matriz transformada (DCT) con todos sus coeficientes conserva la información original completa, pero en otra forma. Es decir, el proceso es perfectamente reversible. Para comprimir la información se utiliza el proceso de cuantificación, que se realiza mediante matrices de cuantificación. Se divide cada elemento de la matriz transformada por el elemento homólogo de una matriz de cuantificación. El resultado es una matriz cuantificada, cuyos elementos tienen valores mucho más pequeños que la matriz transformada. Luego se redondean dichos valores, lo que generalmente da como resultado que la mayoría de las celdas de alta frecuencia quedan en cero. La cuantificación genera una importante compresión de datos (aproximadamente de 4 veces), el proceso es con pérdidas pero no afecta sensiblemente la calidad de la imagen.

El codificador dispone de matrices de cuantificación con distintas relaciones de compresión, y aplica en cada instante la requerida para mantener una velocidad binaria promedio de salida constante.

Cuantificación y redondeo

F ₀₀	F ₀₁	F ₀₂	F ₀₃	F ₀₄	F ₀₅	F ₀₆	F ₀₇
F ₁₀	F ₁₁	F ₁₂	F ₁₃	F ₁₄	F ₁₅	F ₁₆	F ₁₇
F ₂₀	F ₂₁	F ₂₂	F ₂₃	F ₂₄	F ₂₅	F ₂₆	F ₂₇
F ₃₀	F ₃₁	F ₃₂	F ₃₃	F ₃₄	F ₃₅	F ₃₆	F ₃₇
F ₄₀	F ₄₁	F ₄₂	F ₄₃	F ₄₄	F ₄₅	F ₄₆	F ₄₇
F ₅₀	F ₅₁	F ₅₂	F ₅₃	F ₅₄	F ₅₅	F ₅₆	F ₅₇
F ₆₀	F ₆₁	F ₆₂	F ₆₃	F ₆₄	F ₆₅	F ₆₆	F ₆₇
F ₇₀	F ₇₁	F ₇₂	F ₇₃	F ₇₄	F ₇₅	F ₇₆	F ₇₇

La cuantificación se realiza dividiendo cada elemento de la matriz transformada $F_{u,v}$ por el elemento correspondiente de la matriz de cuantificación $Q_{u,v}$, y redondeando el resultado al valor entero más próximo:

$$C(u,v) = \text{redondear} \left(\frac{F(u,v)}{Q(u,v)} \right)$$

Q ₀₀	Q ₀₁	Q ₀₂	Q ₀₃	Q ₀₄	Q ₀₅	Q ₀₆	Q ₀₇
Q ₁₀	Q ₁₁	Q ₁₂	Q ₁₃	Q ₁₄	Q ₁₅	Q ₁₆	Q ₁₇
Q ₂₀	Q ₂₁	Q ₂₂	Q ₂₃	Q ₂₄	Q ₂₅	Q ₂₆	Q ₂₇
Q ₃₀	Q ₃₁	Q ₃₂	Q ₃₃	Q ₃₄	Q ₃₅	Q ₃₆	Q ₃₇
Q ₄₀	Q ₄₁	Q ₄₂	Q ₄₃	Q ₄₄	Q ₄₅	Q ₄₆	Q ₄₇
Q ₅₀	Q ₅₁	Q ₅₂	Q ₅₃	Q ₅₄	Q ₅₅	Q ₅₆	Q ₅₇
Q ₆₀	Q ₆₁	Q ₆₂	Q ₆₃	Q ₆₄	Q ₆₅	Q ₆₆	Q ₆₇
Q ₇₀	Q ₇₁	Q ₇₂	Q ₇₃	Q ₇₄	Q ₇₅	Q ₇₆	Q ₇₇

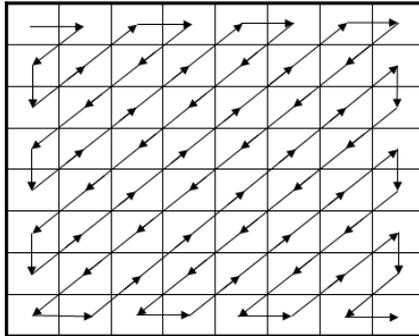
C ₀₀	C ₀₁	C ₀₂	C ₀₃	C ₀₄	C ₀₅	C ₀₆	C ₀₇
C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	C ₁₇
C ₂₀	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₂₄	C ₂₅	C ₂₆	C ₂₇
C ₃₀	C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃	C ₃₄	C ₃₅	C ₃₆	C ₃₇
C ₄₀	C ₄₁	C ₄₂	C ₄₃	C ₄₄	C ₄₅	C ₄₆	C ₄₇
C ₅₀	C ₅₁	C ₅₂	C ₅₃	C ₅₄	C ₅₅	C ₅₆	C ₅₇
C ₆₀	C ₆₁	C ₆₂	C ₆₃	C ₆₄	C ₆₅	C ₆₆	C ₆₇
C ₇₀	C ₇₁	C ₇₂	C ₇₃	C ₇₄	C ₇₅	C ₇₆	C ₇₇

3.1.6. Lectura en zig-zag o irregular

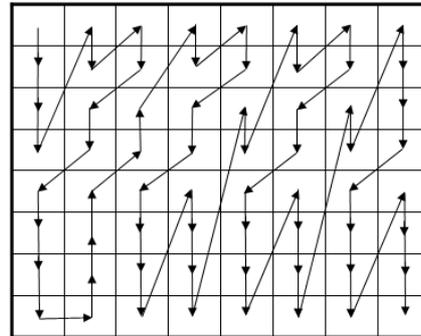
Los bloques cuantificados son leídos de diferentes maneras en función del tipo de barrido del cuadro. Si se trata de una señal de video de barrido progresivo se utiliza la lectura en zig-zag. En cambio, si se trata de una señal de video de barrido entrelazado se utiliza la lectura irregular.

La lectura genera una corriente de bits que se aplica a la etapa siguiente, que es la RLC.

Lectura en zig-zag o irregular



*Lectura en zig-zag
Barrido progresivo*



*Lectura irregular
Barrido entrelazado*

3.1.7. Codificación RLC

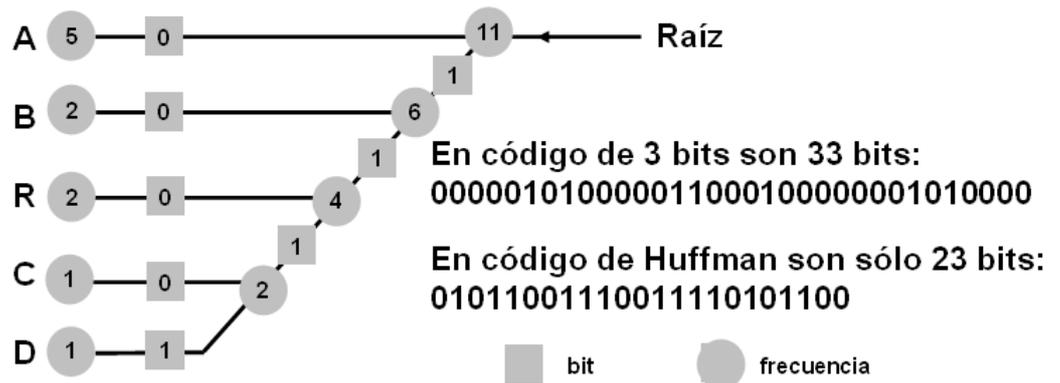
La codificación RLC es una técnica usada para reducir el tamaño de secuencias de caracteres que se repiten. Cuando mayor es el número de caracteres repetidos, mayor es la eficacia de la codificación. La codificación RLC que se aplica en MPEG2 está orientada a las secuencias de ceros y sólo se aplica sobre los coeficientes AC. Se generan pares de valores, el primero representa el número de ceros que se deben leer para alcanzar el próximo coeficiente distinto de cero, y el segundo el valor de dicho coeficiente. Como después de la cuantificación la mayoría de los coeficientes de alta frecuencia son ceros, después del último coeficiente distinto de cero se termina la secuencia con la señal EOB (End Of Block).

En comparación con otras etapas MPEG2, RLC no alcanza altas relaciones de compresión (sólo se logra del 3 al 5% de reducción), pero es muy fácil de implementar.

VLC - Codificación de Huffman

ABRACADABRA

Caracter	Frecuencia	Código de 3 bits	Código de Huffman
A	5	000	0
B	2	001	10
R	2	010	110
C	1	011	1110
D	1	100	1111



3.2. Compresión temporal

La compresión espacial por si sola no basta para alcanzar las relaciones de compresión requeridas para la transmisión de la TDT. En efecto, para transmitir señales SDTV se requiere una relación de compresión de 40:1 aproximadamente, y la compresión espacial brinda relaciones del orden de 15:1. Por ello es necesario hacer también una compresión temporal, que es la que trabaja sobre la redundancia temporal.

Grupo de imágenes (GOP = Group Of Pictures)

La redundancia temporal consiste en la semejanza entre imágenes sucesivas. Una forma de reducir la cantidad de información es transmitir una imagen y luego sólo los cambios de las imágenes sucesivas (imágenes diferencia), en lugar de todas ellas.

La redundancia temporal es la similitud existente entre imágenes sucesivas que forman la secuencia de un movimiento. Un ejemplo práctico sería la caída de una manzana. No es necesario transmitir completas todas las sucesivas imágenes ya que el fondo no cambia, basta con transmitir una imagen inicial completa con compresión espacial intracuadro, llamada I (intracuadro), que no hace referencia a otras imágenes pero tienen baja compresión. A partir de ella se calculan varias imágenes P (predictivas) por predicción de movimiento de las sucesivas posiciones de la manzana, lo que requiere mucha menos información. Las imágenes tipo P se codifican con referencia al cuadro previamente codificado más cercano, sea del tipo I o P. Finalmente se intercalan imágenes llamadas B (bidireccionales), que se obtienen por interpolación entre imágenes anteriores y posteriores. Las imágenes B no se pueden utilizar como referencia para nuevas predicciones ni sirven para edición, puesto que no contienen toda la información por sí mismas. En promedio, las imágenes P suelen tener sólo del 50% al 30% del tamaño de una imagen I, y las B del 30% al 25%.

Como un error en una imagen P se propagaría a las siguientes imágenes que se predigan a partir de ella, normalmente a partir de una I sólo se predicen pocas

imágenes P. Entonces se forman grupos de imágenes que se denominan GOP (Group Of Pictures), que se muestran en la figura.

a) Para 625 /25, GOP compuesto por doce imágenes (N = 12), tres imágenes P y dos imágenes tipo B entre imágenes tipo I o P consecutivas (M = 2). El orden de las imágenes es el siguiente:

I B1 B2 P1 B3 B4 P2 B5 B6 P3 B7 B8

b) Para 525 /30, GOP compuesto por quince imágenes (N = 15), cuatro imágenes P y dos imágenes tipo B entre imágenes tipo I o P consecutivas (M = 2). El orden de las imágenes es el siguiente:

I B1 B2 P1 B3 B4 P2 B5 B6 P3 B7 B8 P4 B9 B10

**Compresión temporal
Grupo de imágenes (GOP = Group Of Pictures)**

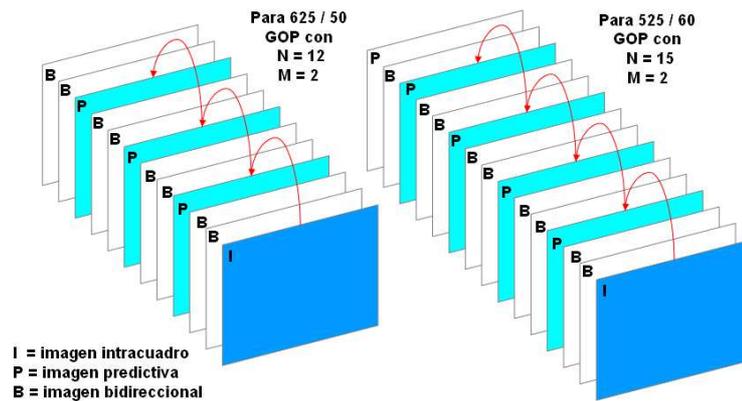
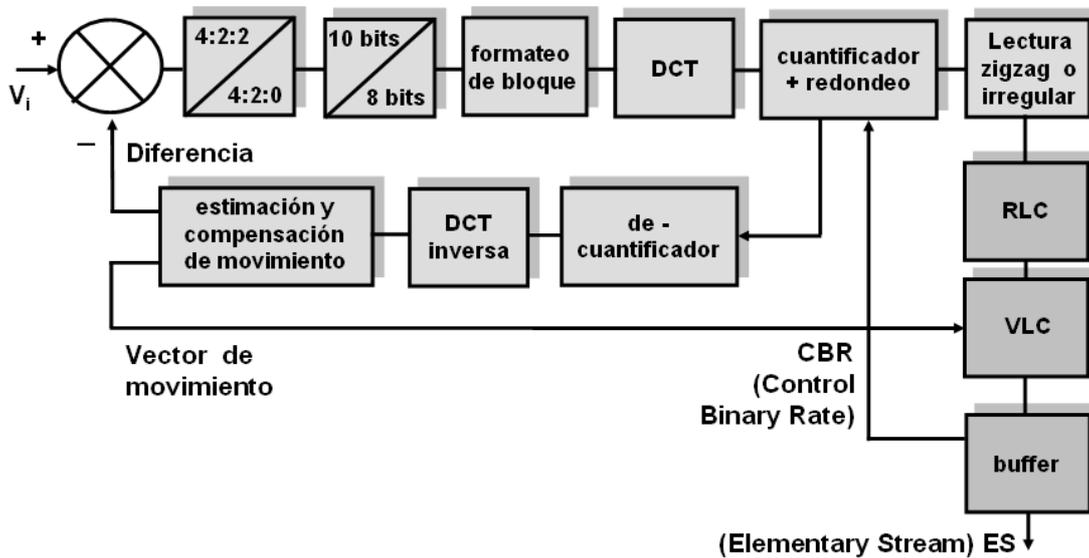


Diagrama MPEG2 completo



En la figura se han agregado al diagrama en bloques visto anteriormente, los bloques que implementan la compresión temporal.

A partir de las imágenes comprimidas espacialmente, se las decuantifica y se les aplica la DCT inversa, obteniendo imágenes de referencia. A partir de ellas se hace la estimación y predicción de movimiento, ya que es necesario calcular las imágenes de predicción a partir de las imágenes de referencia, dado que son las únicas que

estarán disponibles en el receptor. Se comparan las imágenes siguientes con las obtenidas por predicción. Si no existe diferencia no se hace compresión espacial, pero si hay diferencia se comprime espacialmente el error de predicción y se lo transmite. Cada cuatro bloques Y se genera un vector de movimiento, que se transmite sin compresión. Se asume que los bloques de diferencia de color acompañan en su movimiento a los de luminancia.

En MPEG2 se han definido seis perfiles y cuatro niveles estándar para clasificar los codificadores de video, pero sólo el perfil Principal posee todos los niveles.

Perfiles y niveles de video MPEG2

Perfil	Especificaciones	Nivel Bajo	Nivel Principal	Nivel Alto 1440	Nivel Alto 1920
Bajo	Cuadros I,P 4:2:0		720x576 (15 Mb/s)		
Principal	Cuadros I,P,B 4:2:0	352x288 (4 Mb/s)	720x576 (15 Mb/s)	1440x1152 (60 Mb/s)	1920x1152 (80 Mb/s)
SNR <small>Signal Noise Reduction</small>	Cuadros I,P,B 4:2:0	352x288 (4 Mb/s)	720x576 (15 Mb/s)		
Espacial	Cuadros I,P,B 4:2:0			1440x1152 (60 Mb/s)	
Alto	Cuadros I,P,B 4:2:0 y 4:2:2		720x576 (20 Mb/s)	1440x1152 (80 Mb/s)	1920x1152 (100 Mb/s)
4:2:2 Estudio	Cuadros I,P,B 4:2:0 y 4:2:2		720x608 (50 Mb/s)		

Los valores de la tabla son valores máximos, es decir un equipo de determinado perfil y nivel acepta valores inferiores.

El perfil / nivel más común es MP@ML (Perfil Principal / Nivel Principal), pero también son usuales MP@LL (Perfil Principal / Nivel Bajo) y 4:2:2P@ML (Perfil Estudio / Nivel Principal).

4. Compresión de audio MPEG2

4.1. Digitalización de la señal de audio

El audio que acompaña a la imagen televisiva también se digitaliza. Primero se pasa la señal analógica por un filtro pasabajos (para que cumpla con la condición de Nyquist), luego se la muestrea, cuantifica y codifica. Como se transmite audio de alta fidelidad, tanto la frecuencia de muestreo como el número de niveles de cuantificación son elevados, como en el caso de los CDs de audio.

En CDs se utiliza una frecuencia de muestreo de 44,1 KHz y 16 bits para codificar las muestras. Entonces, la velocidad binaria será:

$$V_{\text{binaria}} = 44,1\text{K muestras/seg} \times 16 \text{ bits/muestra} = 0,705 \text{ Mbits/seg}$$

En broadcasting las velocidades usuales son:

- 44,1K muestras/seg x 20 bits/muestra = 0,882 Mbits/seg
- 48K muestras/seg x 20 bits/muestra = 0,960 Mbits/seg
- 48K muestras/seg x 24 bits/muestra = 1,152 Mbits/seg

En cuanto a la relación señal/ruido, tiene la siguiente expresión:

$$S/N = 6n \quad \text{donde } n \text{ es la cantidad de bits por muestra}$$

$$S/N = 6 \times 16 = 96 \text{ dB}$$

En audio digital se usan las frecuencias de muestreo 32 KHz, 44,1 KHz y 48 KHz. Las resoluciones utilizadas son:

- 16 bits 216 niveles = 65.336 niveles Uso profesional
- 20 bits 220 niveles = 1.048.576 niveles Broadcasting
- 24 bits 224 niveles = 16.777.216 niveles Broadcasting

Para transportar el audio digital sobre cables en forma normalizada se utiliza la norma AES / EBU (1993), que permite transportar dos señales de audio de la máxima calidad.

4.2. Estándar de transmisión de audio digital AES/EBU

El estándar de transmisión de audio digital AES/EBU fue desarrollado por la AES (Audio Engineering Society), junto con la EBU (European Broadcasting Union). También es conocido como AES-1992, ANSI S.40-1992 o IEC-958.

Su propósito es el transporte, sobre cables trenzados/blindados o coaxiales, de señales digitales monofónicas o estereofónicas, con una frecuencia de muestreo de 48 KHz y una resolución de 16 a 24 bits. La señal analógica es digitalizada con palabras de bits en paralelo, que se serializan enviando primero el bit menos significativo (LSB=Least Significant Bit). Se agrega una palabra de sincronismo para identificar el comienzo de cada muestra. Finalmente, para su transmisión, se codifica la señal NRZ interna con el formato BPM (Bi-Phase Mark Code), también llamado BMC.

La señal AES/EBU se transmite como una sucesión de bloques. Cada bloque tiene 192 cuadros, numerados de 0 a 191. A su vez, cada cuadro tiene 64 bits y está dividido en dos sub cuadros A y B. En cada sub-cuadro se transporta una muestra de una señal de audio (de hasta 24 bits, utilizando en este caso los bits auxiliares), datos de sincronización, auxiliares y asociados. Los datos asociados son los bits V (validez), U (utilizado), C (estado de canal) y P (paridad).

A 48 KHz de frecuencia de muestreo, la velocidad binaria resultante es:
 $64 \text{ bits/cuadro} \times 48000 \text{ cuadros/seg} = 3,072 \text{ Mb/s}$

Posteriormente, la codificación BPM duplica la velocidad binaria, que llega a 6,144 Mb/s.

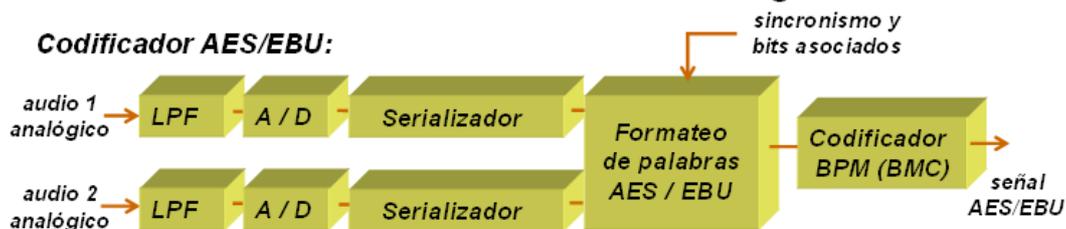
La señal AES/EBU transporta dos canales de audio, que se pueden usar en diversos modos:

- Mono: ambos canales transportan la misma señal mono.
- Estéreo: un canal transporta la señal derecha y el otro la izquierda.
- Dos canales: cada canal transporta una señal independiente.
- Modo primario/secundario: permite diferentes configuraciones, como ser Mono+canal de retorno, Mono+diferencia con el canal estéreo o sonido+comentario.

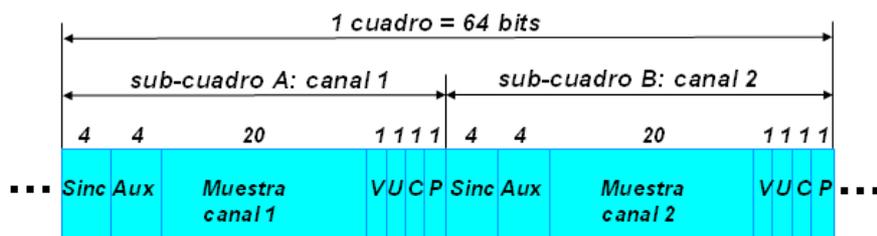
En cuanto al conexionado, AES3 presenta dos variantes:

- Entrada /Salida balanceada: conector XLR (Cannon), 110 Ohms, 2 a 7 Vpp
- Entrada /Salida desbalanceada: conector BNC, 75 Ohms, 1 Vpp

Estándar de transmisión de audio digital AES/EBU



Formato AES/EBU: se transmiten bloques de 192 cuadros



4.3. Código BMC

Los equipamientos trabajan internamente en código NRZ (Non Return To Zero). Este código no es adecuado para el conexionado de equipos por las siguientes razones:

1.- Las señales binarias suelen contener largas secuencias de ceros o unos, lo que dificulta la sincronización del receptor, ya que ella se logra extrayendo, mediante un filtro pasabanda, la señal de reloj de la propia señal recibida. En el código NRZ las secuencias mencionadas dificultan esta recuperación debido a la ausencia de flancos durante ellas.

2.- El código NRZ es monopolar, lo que es inconveniente dado que posee una componente de corriente continua que no transporta información alguna y no pueden atravesar los acoplamientos de corriente alterna.

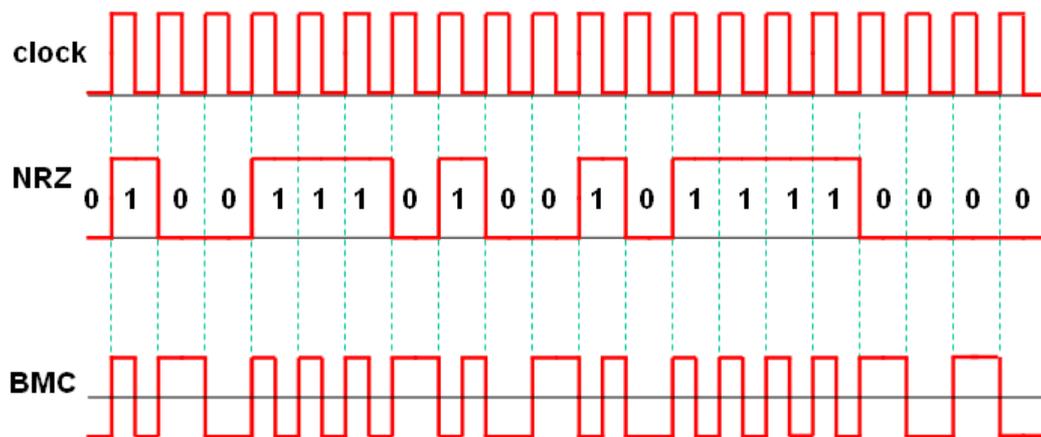
El código BMC resuelve ambas dificultades, puesto que es bipolar y además cada nuevo bit introduce un cambio de polaridad. Colateralmente, duplica la velocidad binaria.

El código BMC funciona de la siguiente manera: cada bit "0" genera pares de bits "00" o "11", cada bit "1" genera pares de bits "01" o "10", y cada primer bit de un par tiene que tener polaridad opuesta al último bit del par anterior.

En la figura se puede ver un ejemplo.

Estándar de transmisión de audio digital AES/EBU (continuación)

Código BMC (Biphase Mark Code)



4.4. Audio embebido

Muchas veces en estudios es conveniente transmitir el audio embebido en la señal de video, con el objeto de ahorrar equipamiento y cableado de audio, aprovechando el de video para ambas señales. Existen equipos llamados "insertores" para embeber canales de audio en una señal de video SDI, y "extractores" para recuperarlos. La señal de audio se inserta en los intervalos de blanking de línea (retrazo horizontal) de la señal de video.

El número de canales de audio que es posible embeber depende del nivel adoptado (nivel A o nivel B). En el nivel B (implementación máxima) se pueden embeber hasta 16 canales de audio (8 AES/EBU).

Audio embebido

La información de audio se inserta en la señal SDI de video en el intervalo de blanking de línea.

Standard SMPTE 272M	
Nivel A	Nivel B
Frecuencia de muestreo: 48 KHz	Frecuencia de muestreo: 32 KHz, 44,1 KHz y 48 KHz
Resolución: 20 bits/muestra	Resolución: 24 bits/muestra
Audio sincrónico con el video	Audio sincrónico o asincrónico con el video
Capacidad: 1 grupo de 4 canales de audio	Capacidad: 4 grupos de 4 canales de audio c/u

4.5. Compresión de audio digital

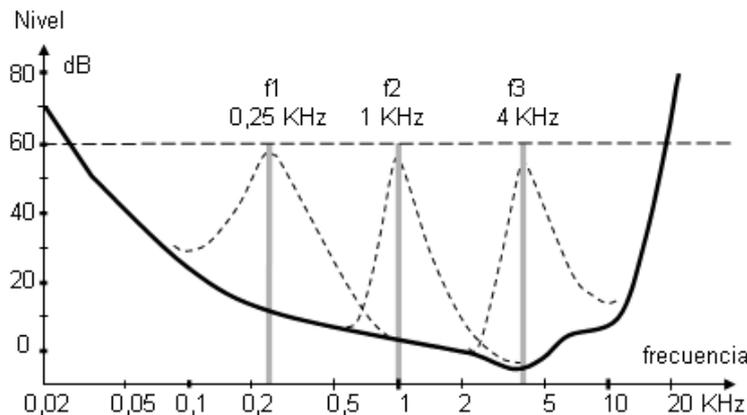
Si se desea transmitir audio digital 5:1 (seis canales : derecho, izquierdo, central, surround derecho, surround izquierdo y subwoofer) sin comprimir, la velocidad binaria sería excesiva. Por lo tanto en la TDT es necesario comprimir no sólo el video sino también el audio. Existen diversos estándares de compresión de audio, en los distintas normas de TDT se utiliza MPEG2/AAC, MPEG4/NE-AAC y Dolby AC3.

4.5.1. Principios de la compresión

El enmascaramiento sonoro es el proceso por el cual el umbral de audibilidad de un sonido se eleva debido a la presencia de otro sonido. La figura ilustra este fenómeno. La curva amarilla representa el umbral de audibilidad para un sonido senoidal en función de la frecuencia, en ausencia de otro sonido. Pero la curva se modifica por la presencia de otros sonidos. Por ejemplo, si se aplica un tono de frecuencia f_1 (en este caso 250 Hz) y 60 dB de nivel, su presencia eleva la curva según la línea de puntos asociada, hasta -2 dB por debajo del nivel de 60 dB. Algo similar ocurre con la presencia de otras frecuencias, por ejemplo f_2 (1 KHz) y f_3 (4 KHz), elevándose hasta -3 dB y -5 dB respectivamente, con respecto al nivel de 60 dB de los tonos aplicados. Como resultado de la elevación de la curva de umbral, sonidos que sin los tonos anteriores serían audibles, dejan de serlo debido a la presencia de los mismos (es decir, quedan enmascarados).

También existe un enmascaramiento temporal, donde el enmascaramiento producido por un sonido perdura durante un tiempo (<200 ms) después de terminado dicho sonido. Este fenómeno se denomina post-enmascaramiento. Incluso existe el pre-enmascaramiento, en el cual la percepción de un sonido queda enmascarada por otro posterior más fuerte (que aparece en un lapso de hasta unos 20 ms aproximadamente). Esto puede deberse al tiempo de respuesta de la audición, que es menor para sonidos más intensos.

Curva de enmascaramiento sonoro



4.5.2. Estándares MPEG de compresión de audio

MPEG1 (ISO/IEC 11172-3) brinda hasta dos canales estéreo o mono dual, muestreados a 32 KHz, 44,1 KHz o 48 KHz. Presenta las siguientes capas:

Capa 1: de menor tasa de compresión, se usa en electrónica de consumo.

Capa 2: mayor compresión, se usa en aplicaciones profesionales, equipos de consumo sofisticados y broadcasting.

Capa 3: máxima compresión a costa de mayor complejidad de codificación y decodificación, se usa en redes de baja velocidad.

MPEG2 Parte 3 (ISO/IEC 13818-3), mejora el MPEG1 audio permitiendo la codificación de más de dos canales, llegando hasta señales multicanales 5.1 (cinco canales más uno de baja frecuencia llamado LFE "Low Frequency Effects"). Es compatible hacia atrás, por lo que también se lo denomina MPEG2 BC (Backward Compatible), o sea que los decodificadores MPEG1 pueden decodificar los dos componentes estereofónicos principales de la señal. MPEG2 Parte 3 define nuevas frecuencias de muestreo y nuevas velocidades binarias para las Capas 1, 2 y 3 de MPEG1.

MPEG2 Parte 7 (ISO/IEC 13818-7) especifica un formato de audio diferente y no compatible hacia atrás, también llamado MPEG2 NBC o MPEG2 AAC (Advanced Audio Coding). AAC es más eficiente que los sistemas anteriores, y soporta hasta 48 canales, con frecuencias de muestreo desde 8 KHz hasta 96 KHz. Dispone de capacidades multicanal, multilingual y multiprograma. Debido a su excepcional rendimiento y calidad, la codificación AAC se encuentra en el núcleo del MPEG4, y es el sistema de compresión de audio de elección para Internet, conexiones inalámbricas y de radiodifusión digital.

Por ejemplo, con MPEG2 Parte3 se alcanzan las siguientes velocidades binarias:

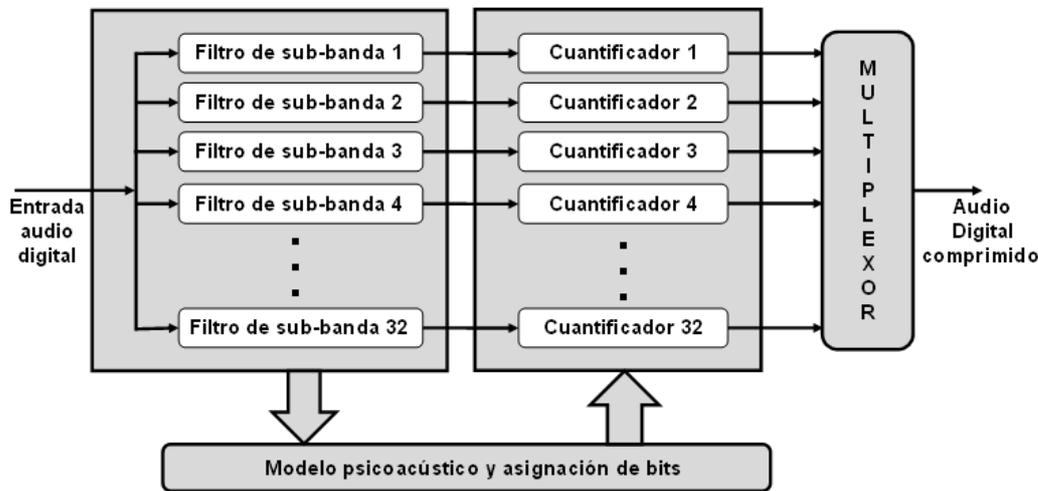
1 canal monofónico	192 Kb/s
2 canal estereofónicos	384 Kb/s
1 canal de órdenes	64 Kb/s

Utilizando AAC, que utiliza MDCT (DCT Modificada), se reduce aún más la velocidad binaria:

2 canal estereofónicos	128 Kb/s
------------------------	----------

MPEG4 (ISO/IEC 14496-3) provee codificación y composición de objetos de audio naturales y sintéticos, con un muy amplio rango de velocidades binarias.

Estructura de MPEG2 audio



La señal de audio digital es separada en 32 sub-bandas igualmente espaciadas en frecuencia mediante un banco de filtros digitales. El bloque Modelo Psicoacústico utiliza una Transformada Rápida de Fourier (FFT: Fast Fourier Transform) para obtener información detallada del contenido espectral de la señal de entrada. Esta información es usada para determinar umbrales de enmascaramiento para cada sub-banda, que dependen de la tonalidad, frecuencia e intensidad de los sonidos presentes en la señal de entrada correspondientes a dicha sub-banda. Estos umbrales representan una curva de enmascaramiento. Solamente los sonidos que sobrepasen esta curva serán transmitidos. Modelo Psicoacústico indica a cada codificador de sub-banda el número de bits que debe utilizar para la cuantificación. Finalmente, la salida de los 32 cuantificadores se combina en un Multiplexor, que agrega además una Cabecera (para sincronización y control) y un código de redundancia cíclica CRC (para detección y corrección de errores).

Capas MPEG-2

MPEG2 audio presenta tres capas, que definen la relación de compresión, que crece de capa 1 a capa 3. Los decodificadores respectivos deben tener compatibilidad descendente, es decir uno de mayor grado debe poder decodificar señales de otro de menor grado.

Capa 1: se usa en electrónica de consumo y permite una relación de compresión de 4 a 1. Los datos de audio están estructurados en cuadros, cuya estructura se muestra en la figura. Sus partes son:

- Cabecera de 32 bits para sincronización (12 bits) e informaciones del sistema (20 bits).
- CRC (2 Bytes) para detección y corrección de errores.
- Datos de audio, que incluyen:
 - Asignación de bits, que define la resolución de cada sub-banda (0 a 15 bits por sub-banda).
 - Factor de escala para cada sub-banda (6 bits por sub-banda).
 - Muestras (384 muestra, 12 muestras por sub-banda).
 - Datos auxiliares, para canales de comentarios o multilinguajes. Los datos auxiliares tienen la misma estructura que el cuadro (cabecera, CRC, etc.).

Capa 2: se usa en aplicaciones profesionales y broadcasting, permite relaciones de compresión de 5,5 a 1 y es la capa más usada.

El cuadro de capa 2 es semejante al de capa 1, con dos diferencias:

- El campo de selección SCFSI (Scale Factor Selection Information), que indica si existe uno o varios factores de escala.
- Muestras (1152 muestras, 36 muestras por sub-banda).

Capa 3: se usa solamente en redes informáticas. Incorpora la DCT y las tablas de Huffman. Permite relaciones de compresión de 10 a 1, a costa de mayor complejidad y trabajo de cómputo.

Capas MPEG2

MPEG2 Capas 1:



MPEG2 Capa 2:



5. Estándar de compresión de video MPEG-4

MPEG4 comprende dos estándares de compresión de video:

MPEG4 Parte 2 (ISO/IEC 14496-2) (o simplemente MPEG4) es un perfeccionamiento de MPEG2 y aumenta el grado de compresión alrededor de un 25 % con respecto a ésta.

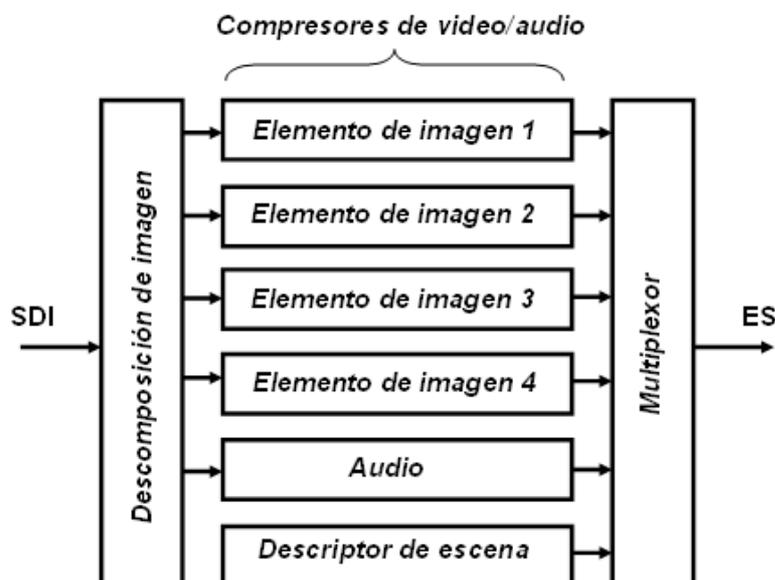
MPEG4 Parte 10 (ISO/IEC 14496-10), llamado también Advanced Video Coding (AVC), es la norma **H.264 de ITU-T**, adoptada también por el ISO/IEC Moving Picture Experts Group. Es el estándar de compresión de vídeo actual más eficaz. H.264 puede reducir el tamaño de un archivo de vídeo digital hasta un 50% en comparación con el estándar MPEG2.

MPEG-4 descompone la imagen en varios elementos de imagen y los procesa por separado, reuniendo todas las salidas mediante un multiplexor y añadiendo información sobre la composición de la escena (BIFS: Binary Format for Scenes). MPEG4 toma muchas de las características de MPEG-1 y MPEG-2 y de otros estándares, tales como soporte de VRML (Virtual Reality Modeling Language) extendido para Visualización 3D, archivos compuestos en orientación a objetos (incluyendo objetos audio, vídeo y VRML), soporte para la gestión de Derechos Digitales externos y distintos tipos de interactividad.

Las mejoras más importantes con respecto de MPEG2 se dan en MPEG4 Parte 10 y son:

- En la codificación por entropía se utiliza **Compresión Aritmética Adaptativa** en lugar de Huffman.
- Para la transformada, en lugar de DCT, se usa la **Transformada de Hadamark**, que trabaja con 12 bits por pixel y opera con bloques de 4x4 y 8x8.
- Los bloques de compensación de movimiento son de tamaño variable.
- Utiliza predicción intra imagen
- Codificación de objetos

Estándar de compresión de video MPEG4



6. Multiplex MPEG2

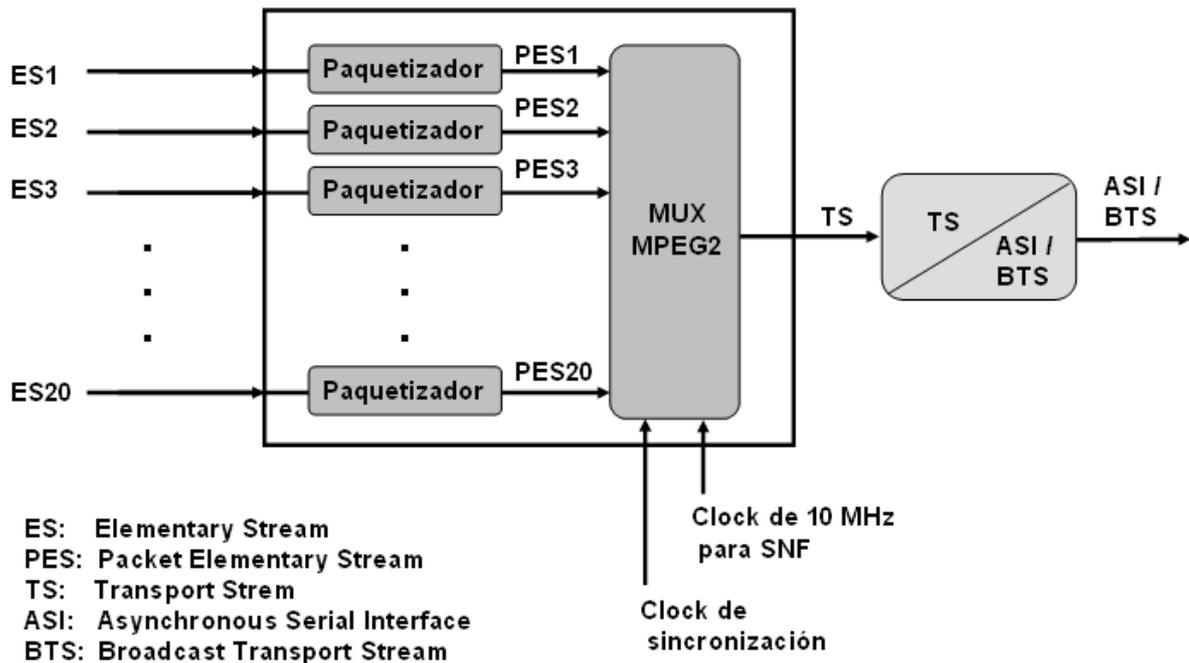
El múltiplex MPEG2 se utiliza para multiplexar señales ES (Elementary Stream) de entrada, que pueden transportar video comprimido, audio comprimido o datos, tanto MPEG2 como MPEG4, y generar con ellas una señal de salida TS (Transport Stream).

Cumple las siguientes funciones:

- En una primera etapa, paquetiza los ES de entrada generando los PES (Packet Elementary Stream), flujos de paquetes de 8 KBytes como máximo.
- Multiplexa dichas señales PES mediante un polinomio PSRB (Pseudo Random Binary).
- Genera los paquetes de salida de longitud fija de 188 Bytes (184 de información y 4 de cabecera) que componen la TS.
- Genera e inserta en TS las tablas PSI (Program Specific Information) propias de MPEG2. Las tablas PSI principales son la PAT (Program Association Table), la PMT (Program Map Table), la CAT (Conditional Access Table) y la NIT (Network Information Table).
- Inserta tablas SI (Service Information) generadas por el administrador, tales como la EPG (Electronic Program Guide), señales para interactividad, etc.
- Recibe clock para sincronización y clock de 10 MHz para redes de frecuencia única (SNF: Single Frequency Network).
- Genera e inserta en TS el clock PCR (Program Clock Reference) para la sincronización de los Set-Top Box. El PCR tiene 42 bits, se repite cada 40 ms y tiene 27 MHz.

La señal TS se aplica a una etapa de interfaz donde, insertando paquetes vacíos, se aumenta la velocidad binaria hasta alcanzar 32,5 Mb/s (señal BTS: Broadcast Transport Stream) o 270 Mb/s (señal ASI: Asynchronous Serial Interface). La señal BTS es específica para el modulador ISDB-T. La señal ASI, en cambio, al tener la misma velocidad binaria (270 Mb/s), nivel de señal (800 mV) e impedancia característica (75 Ohms) que la señal SDI, se la puede conectar a una multitud de equipos diseñados para dicha señal (matrices de video, distribuidores de video, etc.).

Múltiplex MPEG2



6.1. Estructura de paquetes PES y TS

Los paquetes PES (Packet Elementary Stream) son de longitud variable (8 Kbytes como máximo) y transportan las señales de entrada de video, de audio o de datos, tanto MPEG2 como MPEG4, que se desean multiplexar. La velocidad binaria de un flujo de paquetes PES depende del tipo de programa que transporta y de la relación de compresión aplicada. Algunos valores típicos son los siguientes:

Programas deportivos	8 Mb/s
Dibujos animados	6 Mb/s
Películas	4,4 a 5 Mb/s
Noticieros	4 Mb/s

Para formar los paquetes TS (Transport Stream) de salida, que tienen una longitud fija de 188 Bytes, los PES deben ser fraccionados. Luego, las fracciones de los distintos PES son multiplexadas.

Si se multiplexan muchas señales, por ejemplo para transmisión vía satélite, el multiplexor MPEG2 lleva a cabo un multiplexado estadístico. Esto significa que otorga a las distintas señales anchos de banda dinámicamente variables (dentro de ciertos límites). Este recurso permite aumentar la capacidad de transporte. Por ejemplo, para 12 señales se obtiene una ganancia del 30%.

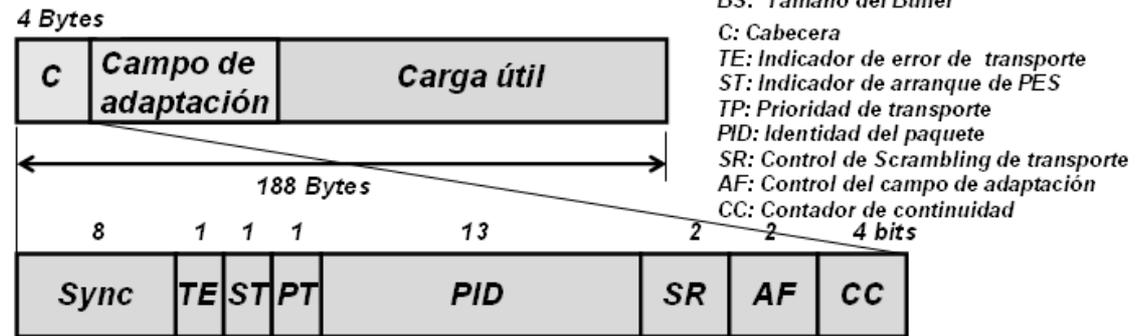
Si el multiplexor se utiliza para TDT, la suma de las señales no debe exceder los 20 Mb/s, que es la capacidad de transmisión para canales de 6 MHz de ancho de banda.

Estructura de paquetes PES y TS

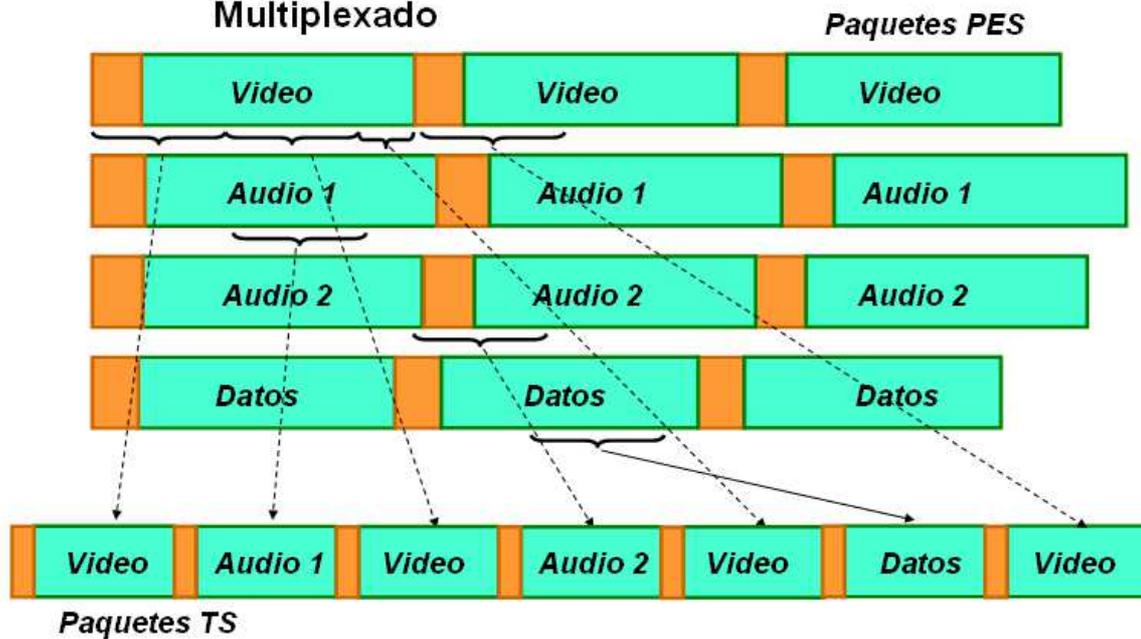
Paquete PES



Paquete TS



Estructura de paquetes PES y TS Multiplexado



La figura muestra el proceso de multiplexado de cuatro señales PES para formar una TS de salida. Nótese que los bloques PES son de distinta longitud (máximo 8 KBytes), en tanto que los TS son de longitud fija (188 Bytes).

7. SET TOP BOX

7.1. Origen

Las técnicas usadas en la transmisión de señales fueron en un principio impuestas por las grandes emisoras y conforme aparecían nuevas compañías dispuestas a entrar en el mercado, nuevas porciones del espectro radioeléctrico se utilizaron para dar soporte a estas emisiones.

Los cambios en las frecuencias usadas y el CATV (Community Antena TV), dieron lugar a la aparición de dispositivos que actúan como una interfaz entre las nuevas formas de distribuir señales de TV y los televisores tradicionales, dispositivos denominados "Set Top Boxes" (STB) porque solían colocarse encima de los aparatos de TV analógicos.

Estas emisoras proveían TV en otro espectro de señales de mayor ancho de banda (UHF), con la capacidad de acomodar 83 ó más canales en relación a los 13 de las tradicionales transmisiones por aire en VHF.

Eventualmente los receptores de TV más modernos fueron incluyendo los sintonizadores de TV por cable para evitar el uso de set-top boxes. No obstante, se creía que los días de estos aparatos estaban contados. Sin embargo, durante los años ochenta, surgieron nuevas formas de distribuir contenido a los hogares. El cable se desdobló en servicios básicos y exclusivos, donde el STB tomó un rol de "decodificador" de las señales exclusivas, emitidas mediante una técnica conocida como scrambling, que imposibilita ver dichas señales a todos los usuarios que no posean un dispositivo para normalizarla.

A este nuevo uso se le adjuntaron nuevos prestadores, destinados a suplir la demanda allí donde el cable no podía llegar. La televisión satelital fue otro de los actores necesarios para que el dominio de los STB siguiera latente.

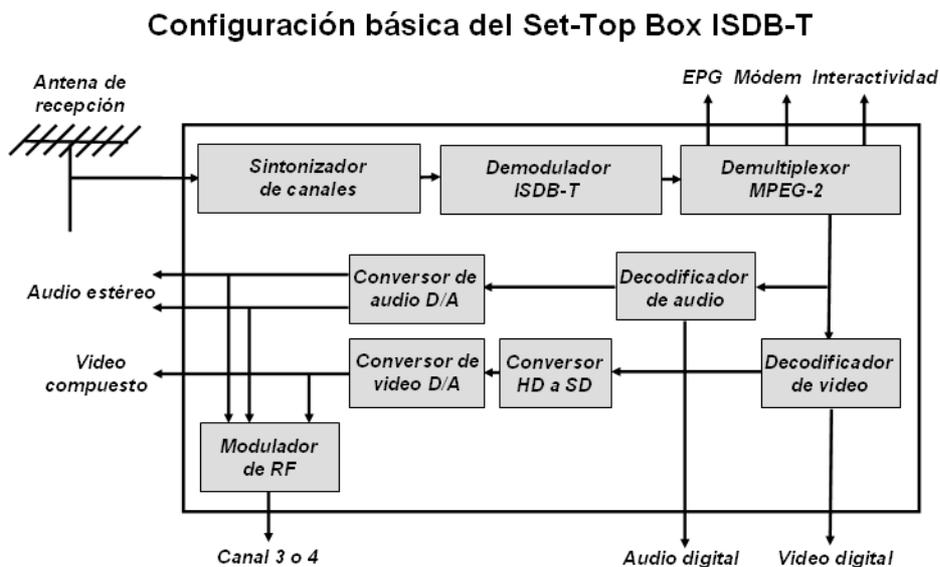
El scrambling fue solo el comienzo de una relación entre las distribuidoras de TV por cable y satélite y los STB. El cable digital y las distribuidoras de TV satelital utilizaron los STBs para implementar nuevas formas de distribución de contenidos Premium como el video on-demand (VOD), pay-per-view (PPV) e Internet de banda ancha. Yendo un paso más adelante, las distribuidoras de IPTV, implementaron broadcasting por el stack del protocolo IP. En este caso los STBs se convirtieron en computadoras embebidas dentro de un STB.

En la actualidad un STB contiene diversas funcionalidades que van más allá de la conversión de señales. De éstos sistemas se esperan funcionalidades como TV interactiva, Electronic programming guide (EPG), navegadores de internet, grabadoras de video digital (DVR) y aplicaciones diversas que son transportadas por las mismas señales que se originan en las emisoras, gracias a la inclusión de sistemas operativos unificados y estandarizados, que permiten la apertura de un nuevo mercado de desarrollo de contenidos digitales que pueden tener relación con la TV o no, como es el caso de los videojuegos, u otras aplicaciones interactivas.

7.2. Configuración básica del Set-Top Box ISDB-T

Para la recepción fija de la TDT existen dos posibilidades:

1. La primera es utilizar los televisores analógicos existentes. Para ello se requiere un convertidor digital externo (Set-Top Box), dispositivo que permite convertir la señal digital en analógica para que puedan ser aplicadas a receptores de TV analógicos convencionales. En la figura se muestra un diagrama en bloques del Set-Top Box ISDB-T de configuración mínima.
2. La segunda es utilizar un aparato de TV digital, que es un televisor que internamente posee todos los elementos requeridos para procesar directamente la señal digital.



Desde el punto de vista técnico, existen tres tipos de receptores ISDB-T:

- de banda ancha, de 5,6 MHz (abarca todos los segmentos – full seg)
- de banda angosta, de 430 KHz (para un solo segmento – one seg)
- de banda angosta extendido, de 1,3 MHz (para 3 segmentos)

Gracias a la transmisión jerárquica, en un canal de TV se pueden transmitir simultáneamente programas HDTV, SDTV y otros servicios para todo tipo de receptores. Los receptores de banda ancha pueden recibir cualquiera de estos programas, en cambio los receptores de banda angosta toman el segmento central (one seg). Dado que el tamaño de la FFT de banda angosta es varias veces más pequeño que el de un receptor de banda ancha, el receptor one seg puede resultar pequeño, liviano y barato.

El servicio one seg está principalmente orientado a la recepción móvil, pues permite integrar la televisión digital en los teléfonos celulares.

En el mercado existen, además de los Set-Top Box y TV digitales de banda ancha y los teléfonos celulares one seg, una gran diversidad de otros dispositivos one seg: convertidores externos móviles, TV digitales de bolsillo (Pocket TV), receptores tipo Pen Drive USB (Pen TV), receptores integrados en GPS, etc.

SET TOP BOX – GINGA

7.3 Ginga

Ginga es el nombre que recibe el middleware que nos permite ejecutar aplicaciones interactivas dentro de un STB (Set-Top Box). Como en el mercado existen STBs de distintos fabricantes y puede variar la plataforma de hardware/software de los mismos, surge la necesidad de tener un middleware que nos permita correr aplicaciones sin importar que STB tengamos.

El middleware abierto Ginga se subdivide en dos subsistemas principales interrelacionados, que permiten el desarrollo de aplicaciones siguiendo dos paradigmas de programación diferentes. Estos dos subsistemas se llaman Ginga-J (para aplicaciones procedurales Java) y Ginga-NCL (para aplicaciones declarativas NCL).

En Argentina, el LIFIA (UNLP) está trabajando sobre la versión Ginga-NCL y esto se debe a que Ginga-NCL es hoy el único middleware estándar internacional tanto para IPTV como para TV digital terrestre (en todos los tipos de dispositivos). **Y también el único estándar abierto.** El mismo fue creado en la Pontificia Universidade Católica de Río de Janeiro (PUC-Rio) y ofrece una infraestructura de presentación de aplicaciones de multimedia/hipermedia desarrolladas sobre el paradigma declarativo, escritas en el lenguaje NCL y el lenguaje de scripting Lua.

Ginga estará instalado en los STBs de consumo masivo en Argentina. Los STBs tendrán la capacidad de actualizar su firmware como así también la versión de Ginga, para esto existen dos métodos de actualización.

Se puede actualizar por aire: este método de actualización es masivo, y es el broadcaster de TV quien se encarga de emitir la actualización. La otra forma es a través de un dispositivo USB, ya sea porque el fabricante nos provee de un pendrive o porque bajamos la actualización desde la web.

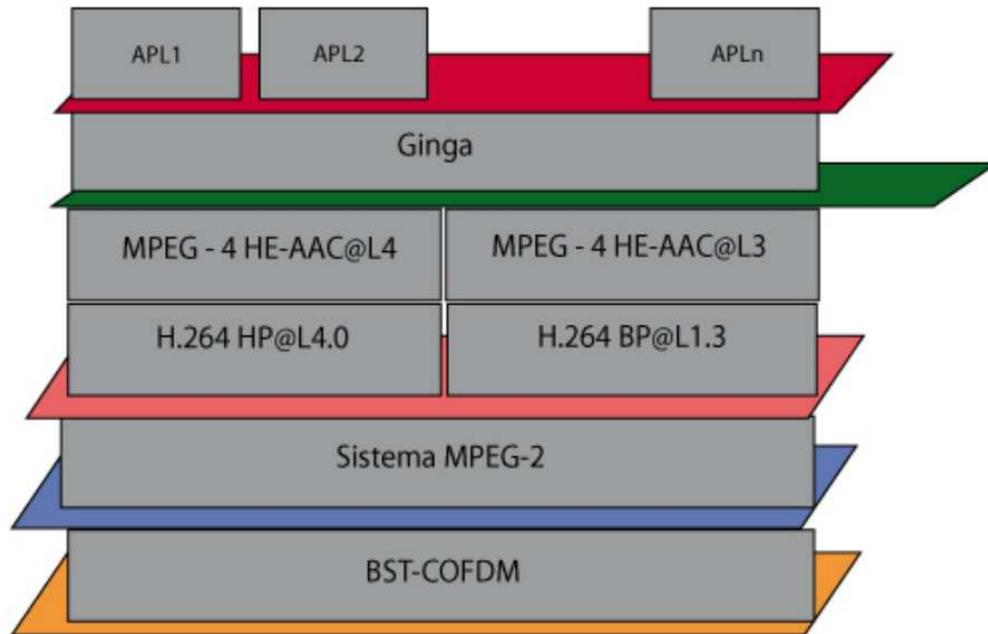
Volviendo al lenguaje NCL, estas son las siglas de Nested Context Language. Es un lenguaje declarativo que provee facilidades para especificar aspectos de interactividad, sincronismos espacial/temporal entre objetos de multimedia, adaptabilidad y soporte para múltiples dispositivos, es decir construir aplicaciones.

Estas aplicaciones se pueden ejecutar de dos maneras en el STB. En principio las aplicaciones a ejecutar en los STBs vienen dentro de la señal que reciben, en un canal de datos, dedicado para las aplicaciones. Este canal, recibe el nombre de carrusel de datos, dado que se va iterando sobre los datos de manera circular enviándolos constantemente. Esto es necesario porque cuando se sintoniza un canal de televisión, el STB debe poder descargar el contenido completo del carrusel. Luego ya sea por voluntad del usuario, o por eventos emitidos desde el broadcaster la aplicación se ejecuta. La otra manera para ejecutar aplicaciones es cargarlas a través de un dispositivo USB y ejecutarlas como hoy en día en un dvd-player podemos mirar fotos o escuchar música.

Ginga tiene una especificación abierta definida por sus creadores, los mismos hicieron una implementación de referencia que han liberado bajo licencia GPL. Tomando como base esa implementación de referencia, el LIFIA está trabajando en completarla/mejorarla y portando cierta parte del middleware para que los fabricantes argentinos la integren en sus plataformas de hardware.

Cabe aclarar que Ginga-NCL es hoy mantenido por una comunidad internacional. No existe el concepto de Ginga Lífia, o Ginga Argentino, sino que todo el esfuerzo sobre Ginga lo realizan de manera colaborativa el laboratorio TeleMídia de la PUC-Rio, el LIFIA de UNLP y demás miembros de la comunidad Ginga internacional.

En Argentina tenemos una comunidad de Ginga, su sitio web es <http://comunidad.ginga.org.ar>. Allí se publican novedades sobre los avances obtenidos por los diversos miembros de la comunidad local e internacional (por ej. se publican periódicamente máquinas virtuales con nuevas versiones Ginga junto con el código fuente, o patch sources, o aplicaciones NCL/Lua de ejemplo que muestran el funcionamiento de la mejoras/correcciones realizadas, etc.)



7.3.1. Arquitectura de referencia

El middleware Ginga es una capa de software intermediario que permite el desarrollo de aplicaciones interactivas para TDT independientemente de la plataforma del hardware de los fabricantes y terminales de acceso. Da soporte al desarrollo de aplicaciones tanto empleando un paradigma declarativo, imperativo o ambos. Los dos ambientes de ejecución son exigidos en los receptores fijos y portátiles, mientras que solo el ambiente declarativo es exigido en los receptores portátiles.

A diferencia de los sistemas convencionales de hipermedia, llamados “servicio tipo pull”, donde el navegador solicita un nuevo documento y se procede con la búsqueda del contenido, como ocurre en Internet, la televisión ofrece un “servicio tipo push”, es decir la emisora ofrece por difusión flujos de audio, video y datos multiplexados, pudiendo ser recibidos algunos de ellos por demanda, pero siendo predominante el “tipo de servicio push”. Además de cambiar radicalmente el paradigma de servicio, el usuario puede: empezar a ver un programa ya comenzado, cambiar el canal y consecuentemente salir y entrar en otros programas en curso. Otro aspecto importante es la edición de documentos durante la exhibición.



7.3.2. Ginga - Arquitectura por capas

La arquitectura de implementación de referencia del Middleware Ginga está dividida en tres módulos Ginga-NCL, Ginga-J y Ginga-CC (Common Core, Núcleo Común).

7.3.3. Ginga Common Core

Ginga Common Core, es el subsistema lógico que provee toda funcionalidad común al soporte de los ambientes de programación declarativos, GINGA-NCL, e imperativo, GINGA-J. En la siguiente figura se ilustra la arquitectura del Ginga-CC.



7.3.3.1. Arquitectura Ginga CC

La arquitectura del sistema permite que únicamente el módulo Ginga-CC deba ser adaptado a la plataforma donde será implementado. Ginga-CC provee un nivel de abstracción de la plataforma de hardware y del sistema operativo, accesible a través de las APIs. Esto le permite interactuar con el acceso al sintonizador de canal, con el sistema de archivos, el terminal gráfico entre otros.

El Ginga-CC está compuesto por los decodificadores de contenidos comunes y por procedimientos para obtener los contenidos que se encuentran dentro de los flujos de transporte MPEG2 y a través del canal de interactividad.

Los decodificadores de contenidos comunes sirven tanto a las aplicaciones procedimentales o imperativas y a las aplicaciones declarativas que requieran decodificar y presentar contenidos comunes como archivos de formatos PNG, JPEG, MPEG entre otros.

El núcleo común de GINGA debe soportar el modelo conceptual de exhibición, de acuerdo a lo establecido en la norma ABNTNBR 15606-1. Ginga CC está compuesto por diversos módulos o componentes que facilitan la interacción del Hardware con las necesidades de las aplicaciones tanto declarativas como las imperativas o procedimentales.

7.3.3.2. Componentes del Ginga CC:

Sintonizador. Este módulo es el responsable de “sintonizar” un canal, seleccionando un canal físico dentro de los flujos de transporte que están siendo enviados por ese canal.

Filtro de secciones. Una vez sintonizado, el middleware debe ser capaz de acceder a partes específicas del flujo de transporte. Para lograr este objetivo, existe el Filtro de Secciones, que es capaz de buscar en un flujo la parte exacta que las APIs necesitan para su ejecución, de ésta manera solo permite el paso de la información requerida por la API.

Procesador de datos. Es el elemento responsable de acceder, procesar y reenviar los datos recibidos por la capa física. También es el encargado de notificar a los otros componentes, sobre cualquier evento que se reciba.

Persistencia. El middleware tiene la capacidad de almacenar y guardar archivos una vez finalizado el proceso para que luego pueda ser abierto o utilizado posteriormente.

Iniciador de aplicaciones. El modulo responsable de gestionar las aplicaciones, cargar, configurar e inicializar y ejecutar cualquier aplicación tanto declarativa como imperativa. Controla el ciclo de vida de las aplicaciones, terminándolas cuando sea necesario además de controlar los recursos utilizados por las APIs.

Adaptador de audio video principal. Con el adaptador de audio y video, las aplicaciones consiguen entregar un flujo de audio y video. Esto se hace necesario cuando una aplicación necesita controlar sus acciones, de acuerdo a como están siendo transmitido.

Gestor de gráficos. Los estándares del middleware definen como deben ser mostrados al usuario las imágenes, los videos, los datos, etc. Gestionando las presentaciones de la misma manera en que se establece en el estándar ARIB [ARIB B-24,2004].

Gestor de actualizaciones. Componente que se encarga de gestionar las actualizaciones del sistema, verificando, y bajando las actualizaciones del middleware cuando sea necesario, para corregir los posibles errores de las versiones, ésta tarea debe realizarse en tiempo de ejecución sin incomodar el uso normal de la TV por el usuario.

Visualizador de medios. las herramientas necesarias para visualizar los archivos de medios recibidos, como por ejemplo archivos tipo JPEG, MPEG, TXT, MP3, GIF, HTML, etc.

Interfaz con el usuario. Este módulo es el responsable de captar e interpretar los eventos generados por el usuario tales como los comando del control remoto y comunicar a los demás módulos interesados.

Gestor de contexto. Es el responsable de capturar las preferencias del usuario, comunicando a otros componentes interesados en esas preferencias. Estas informaciones podrían ser el horario en que el usuario ve TV, bloquea o desbloquea canales, etc.

Canal de retorno. Provee la interfaz para las capas superiores con el canal de interacción. Así también debe gestionar el canal de retorno de manera en que los datos sean transmitidos cuando el canal esté disponible o forzar una transmisión en caso de que el usuario o una aplicación tenga establecido un horario predeterminado.

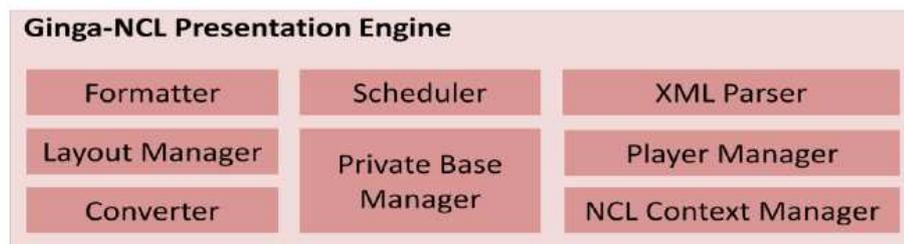
Acceso Condicional. Esta componente es la responsable de restringir los contenidos inapropiados recibidos por los canales de programación a ofreciendo un nivel de seguridad en el middleware.

7.3.4. Ginga NCL

El Ginga-NCL fue desarrollado por la Pontificia Universidad Católica de Rio de Janeiro – PUC- Rio, provee una infraestructura de presentación para aplicaciones declarativas escritas en el lenguaje NCL (Nested Context Lenguaje). NCL es una aplicación XML (eXtensible Markup Language) con facilidades para los aspectos de interactividad, sincronismo, espacio-temporal entre objetos de mídia, adaptabilidad, soporte a múltiples dispositivos y soporte a la producción de programas interactivos en vivo no-lineares.

El NCL es un lenguaje del tipo basado en la estructura que define una separación bien demarcada entre el contenido y la estructura de un aplicativo, permitiendo definir objetos de media estructurados y relacionados tanto en tiempo y espacio.

7.3.4.1. NCL Presentation Engine



Los componentes de este subsistema son:

Formateador (Formatter). Quien se encarga de recibir y controlar las aplicaciones multimedia escritas en NCL. Dichas aplicaciones son entregadas al Formateador por el Ginga-CC.

Analizador de XML (XML Parser), Convertidor (Converter). Realizan la traducción de la aplicación NCL en la estructura interna de datos de Ginga-NCL para controlar la aplicación. Estos componentes son solicitados por el Formateador.

Programador (Scheduler) es iniciado para organizar el orden de la presentación del documento NCL (antes que inicie los objetos de media, se evalúan las condiciones de los enlaces y la programación correspondiente a las relaciones de las acciones que guiaran el flujo de la presentación).

El componente Programador es responsable para dar la orden al componente Administrador de la Reproducción (Player Manager) para iniciar la reproducción apropiada del tipo de contenido de media para exhibirlo en el momento indicado.

Base Privada (Private Base). El Motor de Presentación (Presentation Engine) lidia con un conjunto de aplicaciones NCL que están dentro de una estructura conocida como Base Privada.

Administrador de la Base Privada (Private Base Manager). Este componente está a cargo de recibir los comandos de edición de los documentos NCL y el darle mantenimiento a los documentos NCL presentados.

Estos comandos de edición están divididos en tres subgrupos:

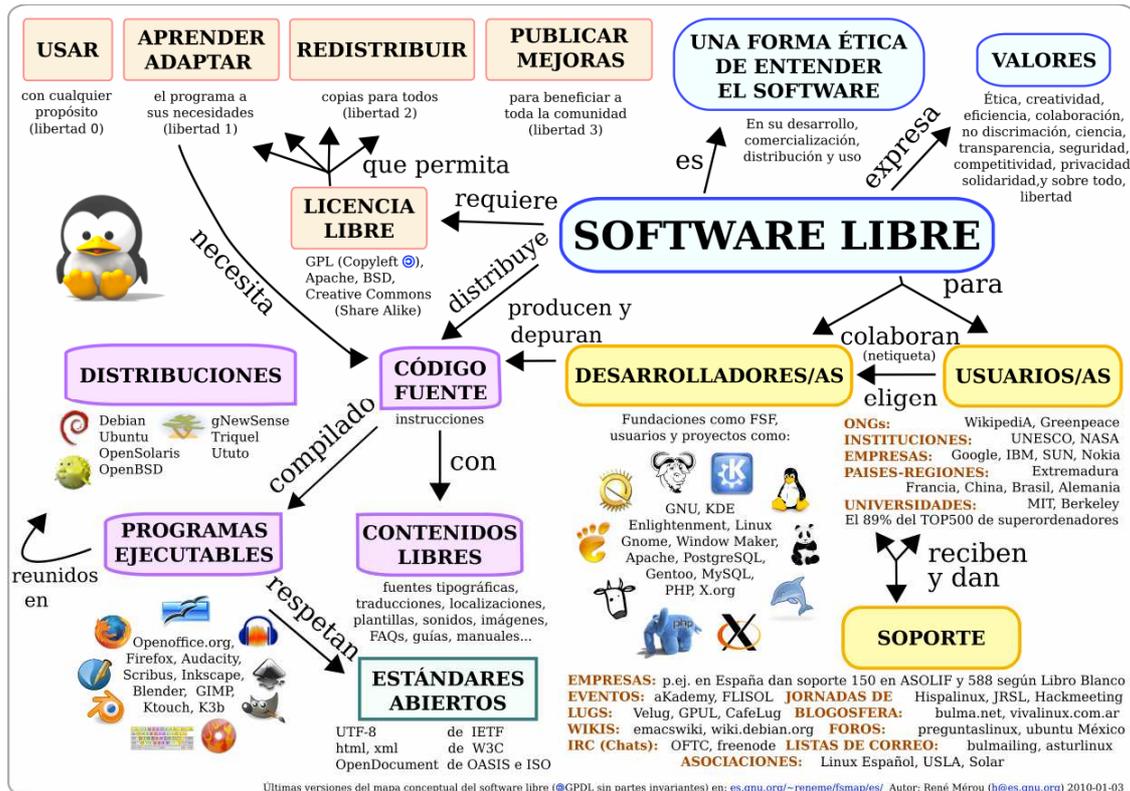
- 1er Grupo de Comandos, responsable por la activación y desactivación de una base privada, o sea, la habilitación de una determinada aplicación NCL.
- 2do Grupo de Comandos, responsable de iniciar, pausar, resumir, detener, remover las aplicaciones NCL.
- 3er Grupo de Comandos, responsable de la actualización de aplicaciones en tiempo real, permitiendo el agregar o remover elementos NCL y permite que se asignen valores a las propiedades de los objetos de media.

Administrador del Diseño (Layout Manager). El Motor de Presentación soporta múltiples dispositivos de presentaciones a través del componente Administrador del Diseño, el cual es responsable de mapear todas las regiones definidas en una aplicación NCL.

Volviendo al Lenguaje NCL, NCL no define ningún objeto de media, en lugar de eso, define el pegamento que sostiene la media junto a la presentación multimedia.

Ahora los objetos de media que soporta dependerán de los exhibidores de medias que se encuentren acoplados al Formateador NCL. Uno de esos exhibidores es el Decodificador/Exhibidor MPEG-4, normalmente implementado en el hardware del receptor de TVD del sistema brasileiro. De esa forma, el video y audio principal MPEG-4 son tratados como todos los demás objetos de media que pueden estar relacionados utilizando NCL.

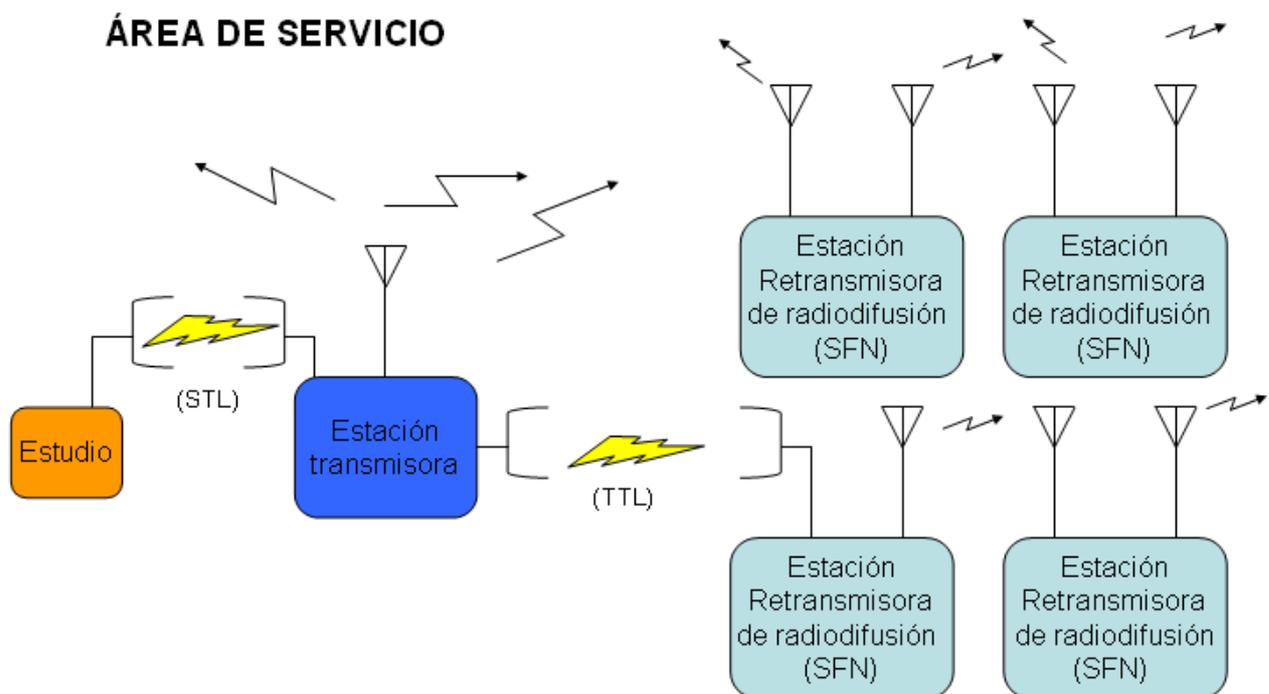
7.3.5. Software Libre



8. Mediciones de la calidad de las señales de video y audio digital

Los modernos sistemas de radiodifusión requieren de pruebas para verificar el funcionamiento de los equipos de transmisión digital y así lograr mantener la calidad de las señales. Estas pruebas incluyen parámetros y métodos diferentes a los especificados para el estándar analógico.

Entre las ventajas de la modulación OFDM se cuenta la posibilidad de introducir redes de frecuencia única (SFN) en la implementación de una red de radiodifusión con estaciones repetidoras. La siguiente figura muestra un esquema conceptual de una red de radiodifusión terrestre digital. Los elementos que la componen pueden ser divididos en tres categorías: Estaciones transmisoras, estaciones repetidoras de radiodifusión y sistemas STL/TTL (Studio to Transmitter link / Transmitter to Transmitter link).



Las estaciones transmisoras, las estaciones repetidoras y los sistemas STL/TTL se diferencian entre sí por el papel que cumple cada uno. De ahí que los elementos de prueba y sus métodos de medición deben ser especificados respectivamente para cada sistema categorizado.

Como bibliografía de consulta se tomó la siguiente documentación: Método de Mediciones para TV Digital ISDB-T (en inglés) editado por JEITA (Japan Electronics and Information Technology Industries Association).

El documento de JEITA proporciona una serie de parámetros a medir para evaluar la calidad de las ondas de radiodifusión digital terrestre. Particularmente se describirán aquellos parámetros que son de carácter relevante para analizar la calidad de las señales emitidas por las estaciones transmisoras de televisión digital, ya que este tipo de estaciones constituye la mayoría de los casos y sus métodos de medición no difieren sustancialmente en los otros.

A continuación se listan los parámetros sugeridos por el documento JEITA:

- 1- Desviación de frecuencia.
- 2- Potencia de señal.
- 3- Anchura de banda ocupada.
- 4- Espectro de emisión.
- 5- Emisiones no deseadas y espurias.
- 6- Desviación de frecuencia de muestreo de la Transformada Rápida de Fourier Inversa (IFFT).
- 7- Ruido de fase.
- 8- Característica Amplitud – Frecuencia.
- 9- Característica de Retardo de Grupo.
- 10- Retardo de Señal.
- 11- Intermodulación.
- 12- Característica de Ruido Gaussiano vs. BER.
- 13- Característica de Intensidad de Campo Eléctrico de Entrada vs. BER.
- 14- Consumo de energía.
- 15- Señal de Entrada.
- 16- Impedancia.
- 17- Rango de Desadaptación de Salida.
- 18- Característica de Tasa de Errores de Modulación (MER).
- 19- Calidad de audio y video percibida por el usuario.
- 20- Característica AGC.
- 21- Detección de Nivel de Entrada.
- 22- Figura de Ruido.
- 23- Característica IRF.

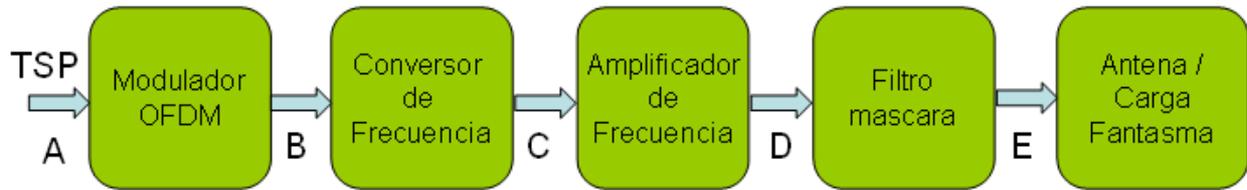
Estos parámetros pueden ser medidos tanto en ensayos en fábrica o mantenimiento como en operación.

En el presente trabajo se han analizado sólo aquellos parámetros que puedan resultar de interés desde el punto de vista de los operadores. Por lo tanto sólo se analizarán los métodos de medición de los siguientes parámetros:

- 1- Desviación de frecuencia.
- 2- Potencia de señal.
- 3- Anchura de banda ocupada.
- 4- Espectro de emisión.
- 5- Desviación de frecuencia de muestreo de la Transformada Rápida de Fourier Inversa (IFFT).
- 6- Ruido de fase.
- 7- Intermodulación.
- 8- Consumo de energía.
- 9- Característica de Tasa de Errores de Modulación (MER).
- 10- Calidad de audio y video percibida por el usuario.

8.1. Parámetros de interés:

Antes de comenzar con la descripción de los puntos de interés anteriormente nombrados, se definirán los siguientes puntos de medición con las letras A, B, C, D y E según se puede observar en la siguiente imagen:



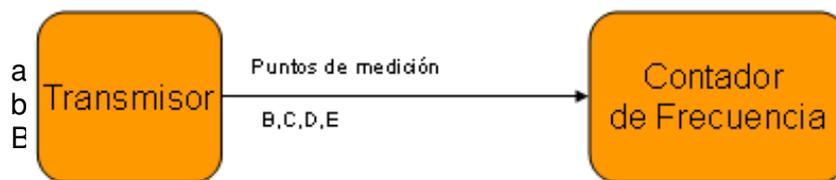
TSP: Transport Stream Packet

8.1.1. A) DESVIACIÓN DE FRECUENCIA

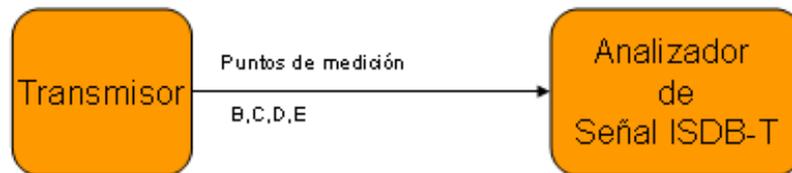
La desviación de frecuencia se define como la diferencia entre la frecuencia de transmisión especificada y la frecuencia medida. El sistema ISDB-T requiere que la desviación de frecuencia de transmisión en Modo 3 sea menor a 1 Hz para así permitir configurar una red de radiodifusión del tipo SFN (Single Frequency Network).

A.1. Sistemas de medición:

A.1.1. Uso de un contador de frecuencia



A.1.2. Uso de un analizador de señal ISDB-T



A.2. Métodos de medición

A.2.1. Uso de un contador de frecuencia

A.2.1.a) Configurar el modulador OFDM en el modo de medición de frecuencia. (Una única portadora no modulada aparece en el centro de la banda de modulación).

A.2.1.b) Conectar un contador de frecuencia que tenga una exactitud de medida dentro de 0.1Hz a los puntos de medición.

A.2.1.c) Asegurarse de que el oscilador local del transmisor, así como el contador de frecuencia, estén lo suficientemente calentados de antemano, y luego medir la frecuencia.

Desviación de la frecuencia (Hz) = Frecuencia Medida (Hz) - frecuencia de transmisión especificado (Hz)

A.2.2. El uso de un analizador de señal ISDB-T

A.2.2.a) Conectar un analizador de señal ISDB-T a los puntos de medición.

A.2.2.b) Asegurarse de que el oscilador local del transmisor, así como el analizador de señal OFDM para el sistema ISDB-T, estén lo suficientemente calentado previamente a la medición.

Desviación de la frecuencia (Hz) = Frecuencia Medida (Hz) - frecuencia de transmisión especificado (Hz)

Con instrumental corriente, esta comprobación sólo puede hacerse poniendo el transmisor en modo de prueba, para lo cual es imprescindible cesar las emisiones. Ahora bien, con adecuado instrumental especializado, sería posible realizar mediciones con ese grado de exactitud sin interrumpir las transmisiones, pero debido a que estos sistemas dejan de funcionar cuando se exceden estas tolerancias, esta metodología sólo resulta justificada en operaciones de mantenimiento.

8.1.2. B) POTENCIA DE SEÑAL

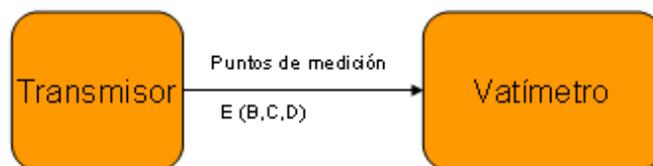
El propósito de la medición de la potencia media de la señal OFDM en varios puntos del transmisor es verificar el diagrama de nivel y la potencia de transmisión.

B.1. Sistema de medición:

B.1.1. Método de calorímetro:

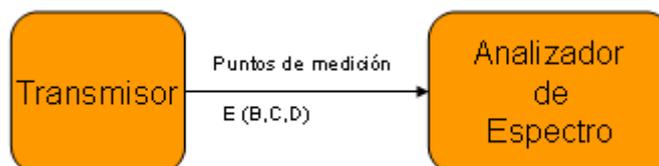


B.1.2. Uso de un vatímetro:



Nota: Antes de usar un vatímetro para medir los puntos B, C y D, asegurarse de que la señal a ser medida no tenga componentes de armónicas.

B.1.3. Uso de un analizador de espectro:



B.2. Métodos de medición:

Para la medición de potencia, configurar el ancho de banda del canal de medición a 5,6MHz y luego medir la potencia media de la señal en banda. La señal OFDM tiene su potencia instantáneamente pico más de diez veces mayor que la potencia media, por lo tanto, el sistema de medición debe ser tomada cada potencia pico en cuenta para no causar un error de medición y / o daño alguno. Los siguientes métodos pueden ser utilizados para la medición de potencia: método calorímetro (cálculo de la potencia de elevación de temperatura de una carga falsa), usando un vatímetro y utilizando un analizador de espectro.

B.2.1. Método calorímetro

B.2.1.a) Conectar una carga fantasma calibrada en los puntos de medición, medir el aumento de temperatura de la carga fantasma, y calcular la potencia usando la curva de calibración correspondiente.

B.2.2. Uso de un vatímetro

B.2.2.a) Usar un vatímetro el cual haya sido calibrado con la señal OFDM. Conecte el vatímetro en los puntos de medición.

B.2.2.b) Determinar la potencia de la lectura del vatímetro y el valor de calibración.

Potencia (dBm) = Potencia de lectura (dBm) + valor de calibración (dB) + (acoplamiento de la cupla direccional (dB) + valor de atenuador (dB))

$$\text{Power [W]} = 10^{\frac{p(\text{dBm})}{10}} / 1000$$

B.2.3. Uso de un analizador de espectro

B.2.3.a) Conectar un analizador de espectro al punto de medición. Utilice la función de medición de la potencia del canal para medir la potencia.

B.2.3.b) La configuración del analizador de espectro debe ser la siguiente:

Center frequency	SPAN	RBW	VBW	Detect mode	Channel BW
Center frequency of modulated wave	10 MHz	30 kHz	300 kHz	Sample detection	5.6 MHz

B.2.3.c) Determinar la potencia de la lectura del analizador de espectro y el valor de calibración.

Potencia (dBm) = Potencia de lectura del analizador de espectro (dBm) + Pérdida del cable (dB) + valor de calibración (dB) + (acoplamiento de la cupla direccional (dB) + valor de atenuador (dB))

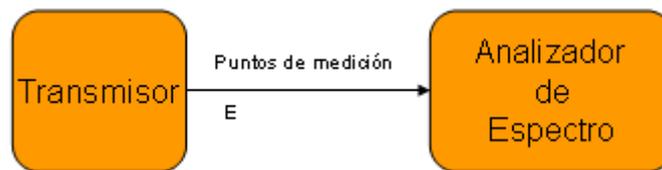
$$\text{Power [W]} = 10^{\frac{p(\text{dBm})}{10}} / 1000$$

Debido a que la medición de este parámetro implica intercalar un acoplador direccional en la línea de alimentación de antena, para poder realizarla es necesario apagar el transmisor y por lo tanto cesar la emisión al aire. Es por ello que se considera conveniente la medición de otro parámetro más útil desde el punto de vista del monitoreo del espectro como lo es la medición de la Potencia Efectiva Radiada por medio de un medidor de intensidad de campo y por los métodos habituales.

8.1.3. C) ANCHURA DE BANDA OCUPADA

El propósito de esta prueba es medir la anchura de banda ocupada al 99% de la potencia transmitida.

C.1. Sistema de medición:



C.2. Método de medición:

C.2.a) Insertar un acoplador direccional en el punto de medición, y luego conectar un analizador de espectro a la salida del acoplador direccional.

C.2.b) Medir el ancho de banda que contiene 99% de la energía de la señal OFDM utilizando el analizador de espectro.

C.2.c) La configuración del analizador de espectro debe ser la siguiente:

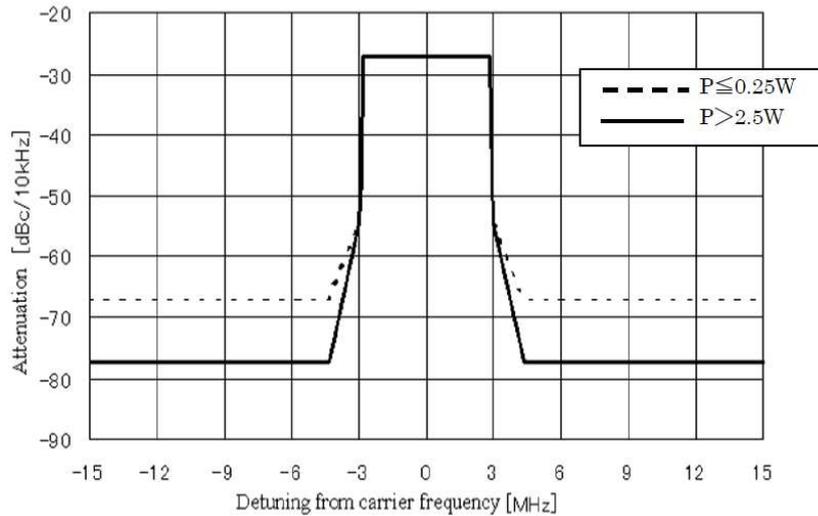
Center frequency	SPAN	RBW	VBW	Detect mode
Center frequency of modulated wave	20 MHz	10 kHz	300 Hz or less	Positive peak detection

Este parámetro es perfectamente determinable por el método β % con el instrumental actualmente disponible en los centros de comprobación.

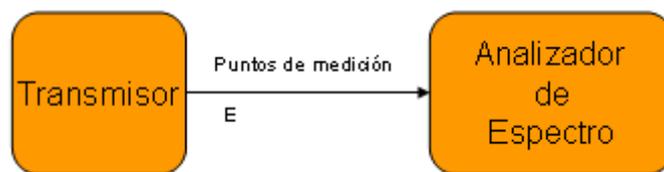
8.1.4. D) ESPECTRO DE EMISIÓN

El propósito de esta medición es determinar el espectro de potencia de salida y verificar si satisface la máscara que establece la regulación para evitar la interferencia con otros canales.

Cabe aclarar que por no haber sido aún establecida en Argentina una norma al respecto, se estaría considerando como supletoria la máscara especificada en el documento "Ordinance Regulating Radio Equipment" de Japón. En tal caso, la medición puede ser realizada con instrumental ordinario. Dicha máscara se muestra a continuación:



D.1. Sistema de medición:



D.2. Método de medición:

D.2.a) Medir la potencia de salida promedio del transmisor P_c (dBm) usando un analizador de espectro siguiendo el método descrito en el punto B) (potencia de señal)

D.2.b) Medir el espectro de potencia P_s (dBm) en el punto de medición E con el analizador de espectro.

$$\text{Espectro de Potencia (dB)} = P_s - P_c$$

D.2.c) El rango de frecuencia para la medición se encuentra dentro del rango de $\pm 15\text{MHz}$ de la frecuencia central.

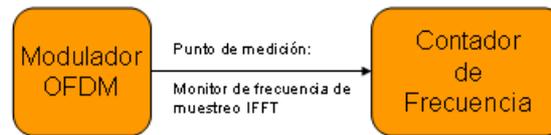
D.2.d) La configuración del analizador de espectro debe ser la siguiente:

Center frequency	SPAN	RBW	VBW	Detect mode
Center frequency of modulated wave	30 MHz	10 kHz	300 Hz or less	Positive peak detection

8.1.5. E) DESVIACIÓN DE FRECUENCIA DE MUESTREO DE LA TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER INVERSA (IFFT)

El propósito es medir la desviación de frecuencia de muestreo IFFT del modulador OFDM.

E.1. Sistema de medición:



E.2. Método de medición:

El espaciamiento de la señal portadora OFDM se determina a partir de la frecuencia de muestreo FFT en el modulador. La frecuencia de muestreo IFFT depende de la señal de entrada TSP del modulador OFDM. La señal TSP debe, por lo tanto, ser suministrada en efecto desde el sistema de radiodifusión en uso.

E.2.a) Ingresar la señal TSP al modulador OFDM.

E.2.b) Conectar el contador de frecuencia al punto de medición y luego medir la frecuencia de muestreo IFFT.

El contador de frecuencia debe tener una precisión de la medición de 0,1 Hz o menos.

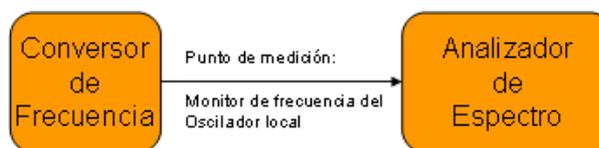
Desviación de frecuencia de muestreo IFFT (Hz) = Frecuencia medida (Hz) - 8126984 Hz.

8.1.6. F) RUIDO DE FASE

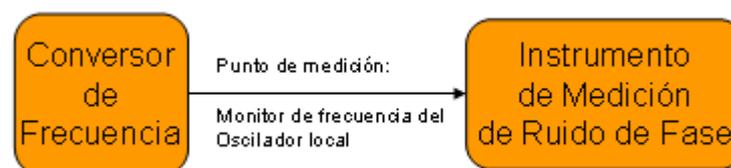
El ruido de fase es una de las causas de la degradación de la calidad de la señal OFDM. El ruido de fase del transmisor se genera en el modulador OFDM y en el convertidor de frecuencia, pero la que se genera en el convertidor de frecuencia es dominante. Por lo tanto, la medición del ruido de fase del transmisor conduce a la medición del oscilador local (LO) empleados en el convertidor de frecuencia.

F.1. Sistema de medición:

F.1.1. Uso de un analizador de espectro



F.1.2. Uso de un instrumento de medición de ruido de fase.

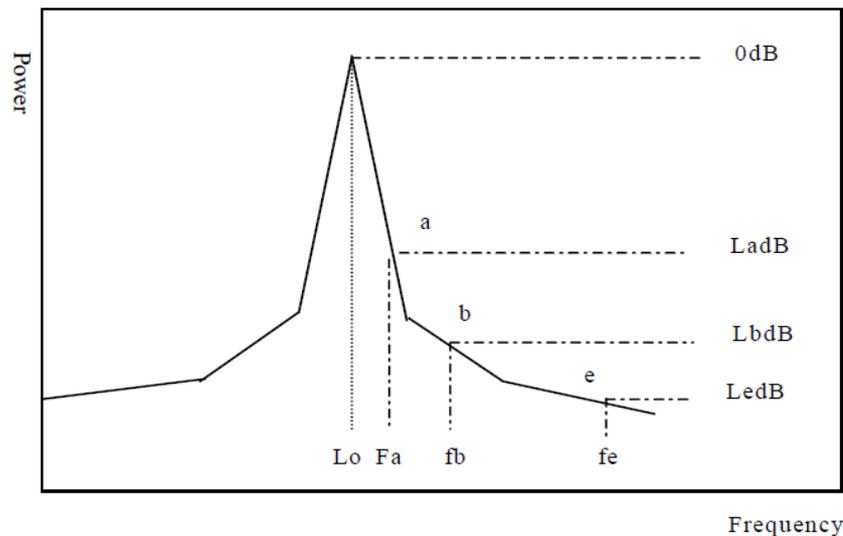


F.2. Método de medición:

El ruido de fase se define como la diferencia entre la potencia del oscilador local y la densidad de potencia de ruido en un punto de frecuencia lejos de la frecuencia del oscilador local para una frecuencia específica. La unidad es dBc / Hz. En el caso de que el mismo transmisor tenga dos convertidores de frecuencia, el ruido de fase se define como la suma de potencia del ruido de fase de cada oscilador local. En esta medición, la señal de salida del modulador OFDM no se especifica. La medición sigue siendo posible, incluso cuando un amplificador de potencia está apagado.

Frecuencia especificada para la medición del ruido de fase significa la desviación de frecuencia de la frecuencia del oscilador local, y debe ser como se describe a continuación:

	f_a	f_b	f_c	f_d	f_e
Specified frequency	1.0 kHz	2.0 kHz	4.0 kHz	10 kHz	100 kHz



F.2.1) Uso de un analizador de espectro

F.2.1.a) Conectar un analizador de espectro al conector del monitor de frecuencia del oscilador local del convertidor de frecuencia.

F.2.1.b) Medir la potencia de la señal del oscilador local P_i (dBm) usando el analizador de espectro.

F.2.1.c) Medir la densidad de potencia de ruido P_n (dBm) en un punto de frecuencia lejos de la frecuencia del oscilador local para una frecuencia específica. La medición de frecuencia, ya sea superior o inferior de la frecuencia del oscilador local está permitida.

F.2.1.d) La configuración del analizador de espectro para la medición de la densidad de potencia de ruido debe ser la siguiente:

Center frequency	Specified frequency	SPAN	RBW	VBW	Detect mode
Local oscillator frequency	fa = 1 kHz	2.5 kHz	30 Hz	10 Hz	Sample detection
	fb = 2 kHz	5 kHz	100 Hz		
	fc = 4 kHz	10 kHz	300 Hz		
	fd = 10 kHz	25 kHz	300 Hz		
	fe = 100 kHz	250 kHz	3 kHz		

F.2.1.e) Determinar el ruido de fase usando la siguiente ecuación:

$$\text{Ruido de Fase (dBc/Hz)} = P_n - 10 \times \log_{10}(1.2 \times \text{RBW(Hz)}) + 2.5 - P_I$$

Nota: Algunos analizadores de espectro tienen una función para medir el valor integrado del ruido de fase. En el caso de que el ruido de fase esté especialmente especificado como el valor de integración, la función puede ser utilizada. (Cuando el rango de integración del analizador de espectro sea más estrecho que el de la especificación, no se permitirá que se utilice.)

F.2.2) Uso de un instrumento de medición de ruido de fase.

F.2.2.a) Conectar un equipo de medición de ruido de fase al conector del monitor de frecuencia del oscilador local del conversor de frecuencia.

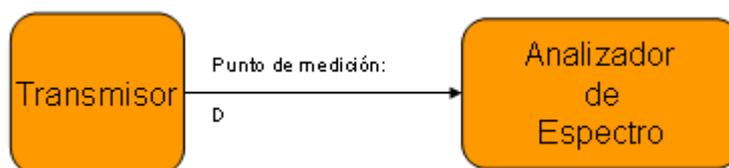
F.2.2.b) Ajustar la frecuencia de la medición a la frecuencia del oscilador local y luego medir el ruido de fase.

F.2.2.c) Algunos instrumentos de medición de ruido de fase indican la cantidad total de los ruidos de fase generadas a ambos lados de la frecuencia del oscilador local. Cuando se utiliza dicho instrumento, el ruido de fase medido debe ser reducido en 3 dB.

8.1.7. G) INTERMODULACIÓN

La intermodulación es una de las causas de la degradación de la calidad de una señal OFDM. Como el filtro máscara del transmisor elimina la distorsión por intermodulación fuera de banda, es necesario realizar la medición antes de dicho filtro.

G.1. Sistema de medición:

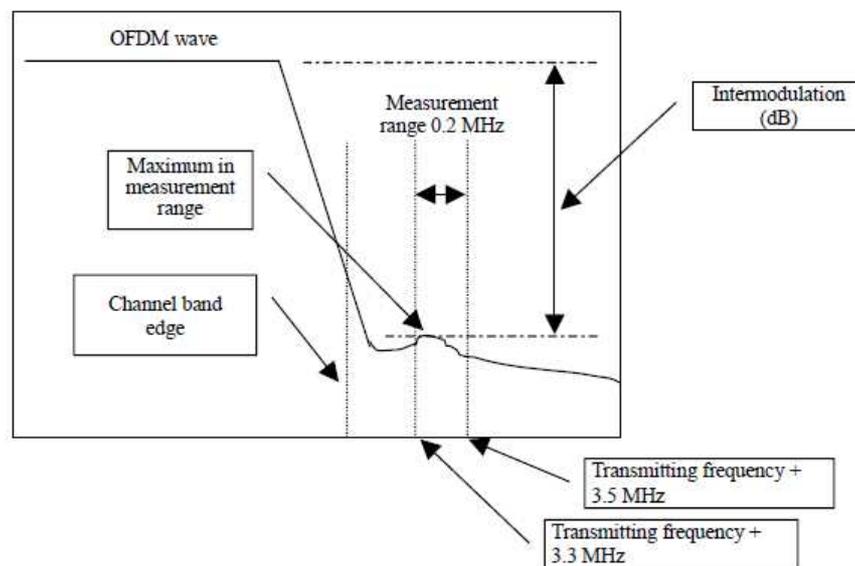


G.2. Método de medición:

G.2.1) Insertar un acoplador direccional en el punto de medición, y luego conectar un analizador de espectro a la salida del acoplador direccional.

G.2.2) Medir el nivel máximo en el rango de frecuencia de 3,3 a 3,5 MHz lejos de la frecuencia central. La intermodulación se define como la diferencia entre el nivel máximo de la señal OFDM y el nivel máximo medido en el rango frecuencia especificado, como se muestra a continuación. La medición debe realizarse en ambos lados de las ondas de transmisión, y el más grande de ellos será adoptado como el valor medido de intermodulación.

En el caso de que el transmisor trabaje con dos o más ondas de radiodifusión simultáneamente, la medición debe hacerse en ambos rango de frecuencia de -3,3 a -3.5MHz lejos de la frecuencia central del canal más bajo y de 3,3 a 3,5 MHz lejos de la frecuencia central del canal más alto.



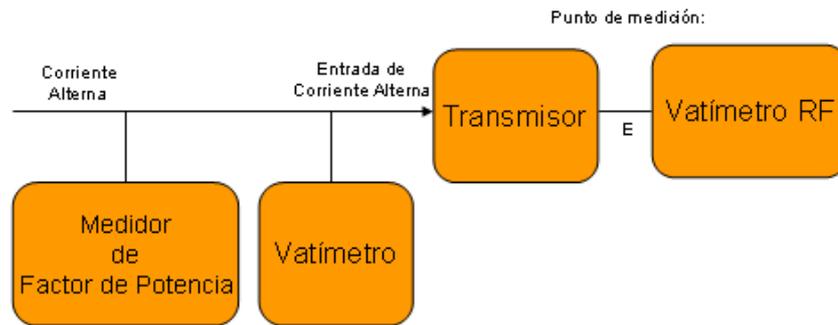
G.2.3) La configuración del analizador de espectro debe ser la siguiente:

Center frequency	SPAN	RBW	VBW	Detect mode
Band edge frequency of the channel	4 MHz	10 kHz	300 Hz	Positive peak detection

8.1.8. H) CONSUMO DE ENERGÍA

El propósito es medir el consumo de energía y el factor de potencia. La relación de la potencia de salida del transmisor y el consumo de energía se define como la eficiencia total.

H.1. Sistema de medición:



H.2. Método de medición:

Cuando se mide la eficiencia total, los siguientes equipos deben ser incluidos como dispositivos de consumo de potencia: modulador OFDM / amplificador de potencia / convertor de frecuencia / dispositivo control remoto / enfriador.

Los dispositivos que no hayan sido mencionados anteriormente pero que sean requeridos para satisfacer el rendimiento del transmisor deberán ser incluidos.

H.2.a) Bajo la condición de que la potencia de salida nominal y el rendimiento nominal se satisfacen, medir el consumo de energía y el factor de potencia del transmisor, mediante un vatímetro y un medidor de factor de potencia.

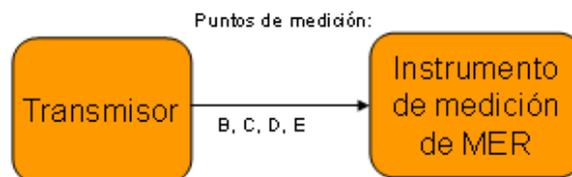
H.2.b) Calcular la eficiencia total como la relación de la potencia de salida del transmisor y el consumo de potencia.

H.2.c) Si el modulador OFDM está instalado en el estudio, medir el consumo de potencia y el factor de potencia del modulador OFDM solo. Luego, calcular el rendimiento total después de sumar el consumo del modulador OFDM al consumo de potencia del transmisor.

8.1.9. I) CARACTERÍSTICA DE TASA DE ERRORES DE MODULACIÓN (MER)

Uno de los métodos de evaluación de la calidad de la señal del transmisor, se determina mediante el análisis de la constelación de la señal demodulada.

I.1. Sistema de medición:



I.2. Método de medición:

I.2.a) Conectar un analizador de señales ISDB-T en el punto de medición.

I.2.b) Determinar el MER usando la función de medición de MER del analizador de señales ISDB-T.

8.1.10. J) CALIDAD DE AUDIO Y VIDEO PERCIBIDA POR EL USUARIO

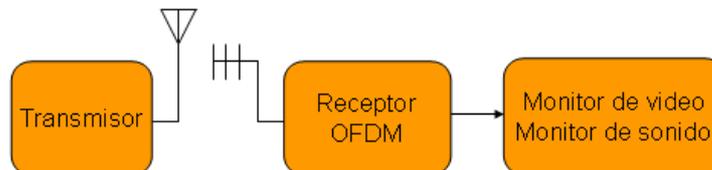
Es necesario evaluar la calidad de vídeo y audio para comprobar la calidad final de las ondas de radiodifusión. Tenga en cuenta que esta prueba no se ocupa de la degradación de la calidad producida en el compresor MPEG-2. La radiodifusión digital terrestre incluye la emisión de datos, sin embargo, los asuntos en materia de datos de radiodifusión no están incluidos en esta prueba.

J.1. Sistema de medición:

J.1.1. Medición de la salida del filtro máscara



J.1.2. Medición del campo



J.2. Método de medición:

J.2.1) Conectar TSP, TMCC y AC al modulador OFDM. Los datos de vídeo y sonido en TSP deben ser los correspondientes para esta prueba.

J.2.2) Conectar un receptor OFDM para al punto de medición.

J.2.3) De acuerdo a los criterios de evaluación a continuación descriptos, evaluar la calidad de vídeo y sonido usando un monitor de vídeo y un monitor de sonido.

Clasificación	Criterios de evaluación
5	Imperceptible
4	Perceptible, pero no molesto
3	Un poco molesto
2	Molesto
1	Muy molesto

Sería conveniente evaluar la calidad de audio y video para verificar la calidad final de la emisión de radiodifusión. Si bien la percepción del usuario es siempre subjetiva, a los efectos de cuantificarla, el documento de la JEITA propone un criterio que establece 5 niveles de "incomodidad". Esta comprobación resulta fácil de efectuar porque sólo requiere un simple receptor de TV compatible con la norma adoptada en Argentina.

De los todos los parámetros descriptos anteriormente para poder evaluar la calidad de las ondas de radiodifusión digitales terrestres, se eligió el parámetro MER (TASA DE ERRORES DE MODULACIÓN) para profundizar sobre su concepto, ya que el mismo es muy útil para evaluar el deterioro de las señales digitales.

Antes de comenzar a hablar sobre el MER, debemos mencionar algunos conceptos relacionados con la conformación de las señales digitales.

8.2. Señales digitales

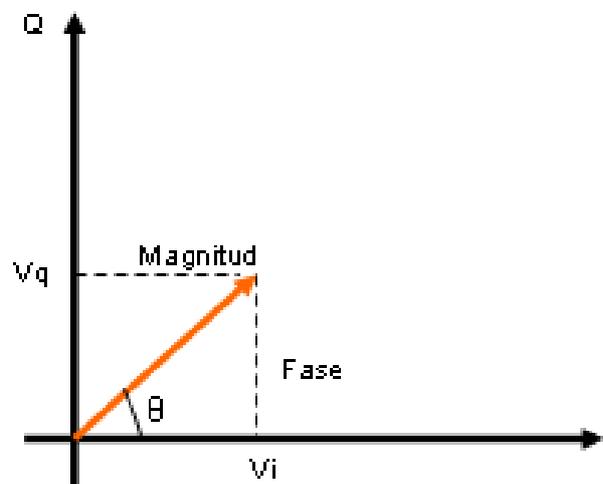
La señal digital tiene una distribución espectral uniforme semejante al ruido. No es posible realizar mediciones de potencia o de nivel de señal utilizando el mismo instrumento que para las señales analógicas.

Debemos integrar las contribuciones de potencia en toda la banda considerando pequeños intervalos.

Las señales digitales son más robustas que las analógicas por eso es posible transmitir las señales digitales con menor nivel. Al transmitir las señales digitales con menor nivel evitamos sobrecargar los amplificadores y se reducen los problemas de no linealidades y distorsión. Usualmente se transmiten las señales digitales entre 6 y 12 dB por debajo de las analógicas. Las analógicas se miden tomando como base la potencia pico de la portadora de video y las digitales la potencia promedio en todo el canal.

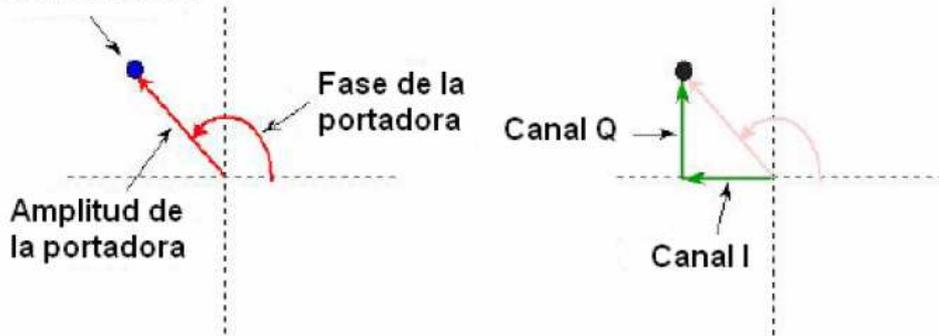
Las señales analógicas generan distorsiones que afectan a las señales digitales y viceversa. La distorsión que generan las señales digitales tiene una distribución espectral uniforme y se evidencia como un empeoramiento de la relación señal a ruido en las señales analógicas.

8.2.1 Representación vectorial de una señal digital



8.2.3. Descomposición componentes I & Q

Localización de la constelación



En lugar de trabajar con módulo y fase del vector usualmente se descompone en dos componentes en cuadratura: I & Q

8.2.4. Modulación digital – Visualización de la señal

Diagrama de Ojo:

I: $f(t)$
Q: $f(t)$

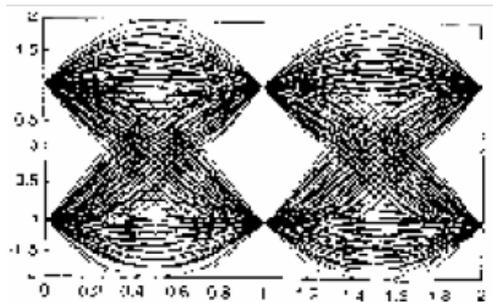


Diagrama Vectorial:

Q:f(I)

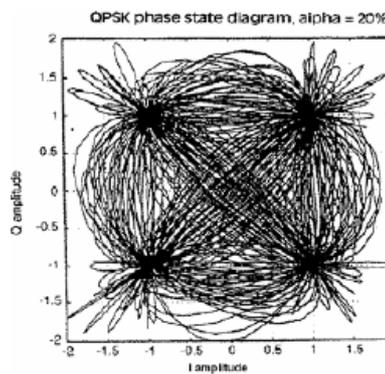
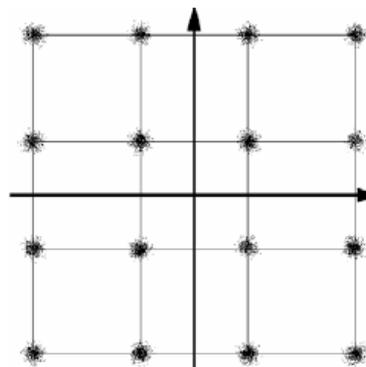
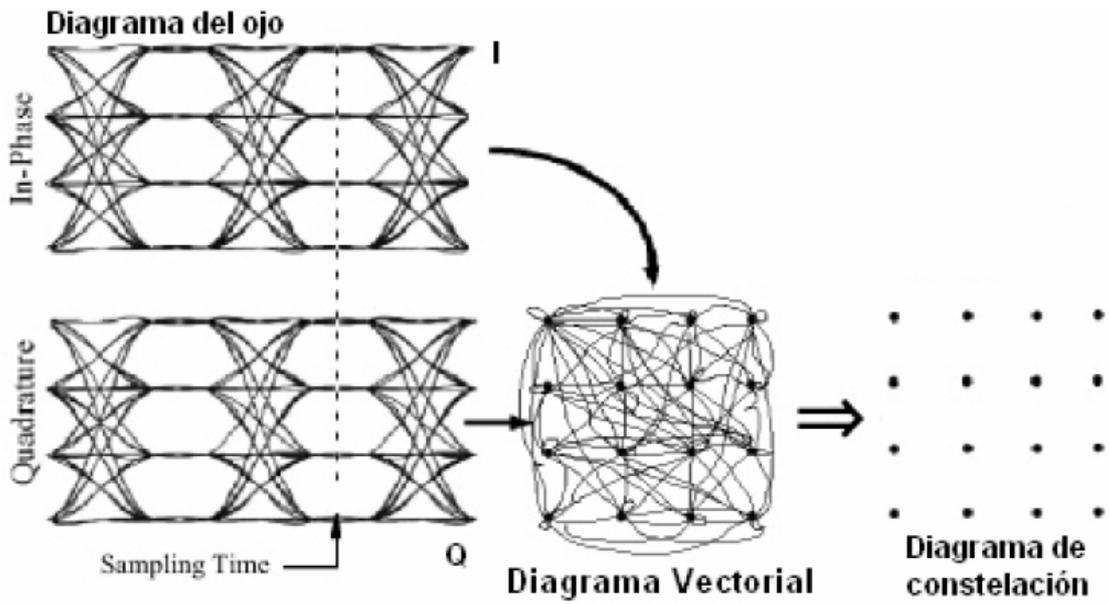


Diagrama Vectorial:

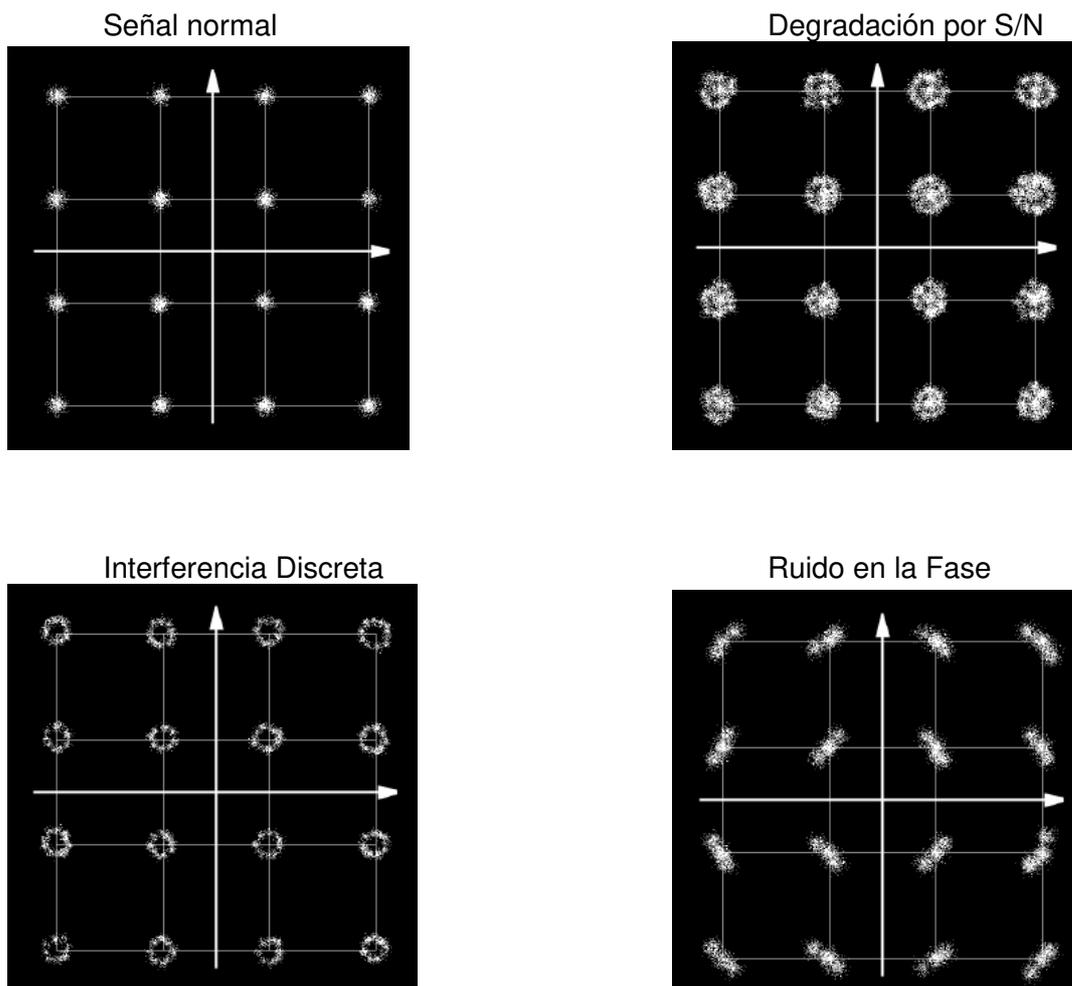
I:f(Q)



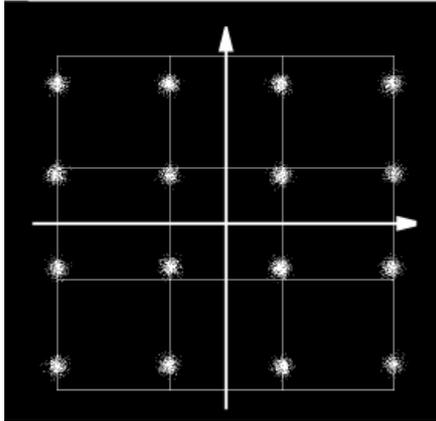
Relación entre diagramas



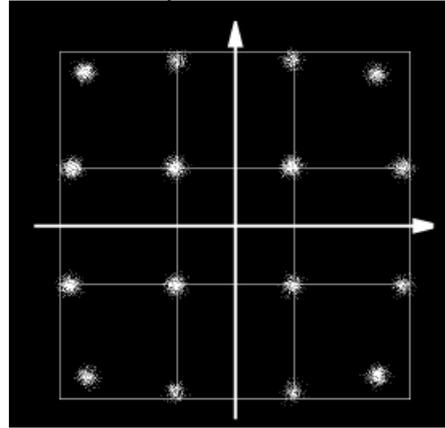
8.2.5. Análisis de diagrama de constelaciones



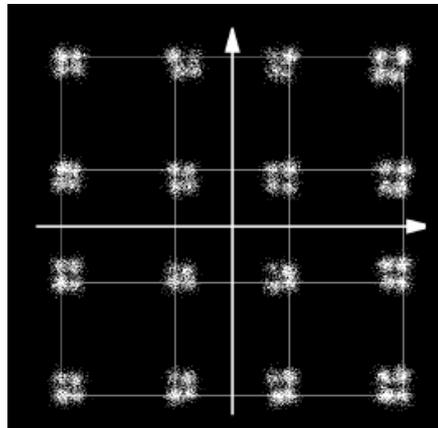
Asimetría entre I y Q



Compresión



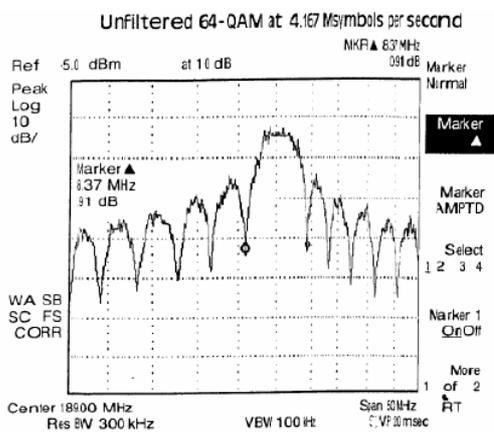
Micro – reflexiones en la red



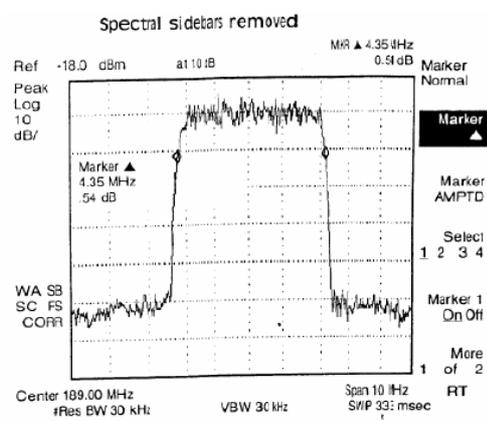
8.2.6. Ancho de banda y filtrado

Teóricamente la transmisión de señales digitales requieren un ancho de banda infinito. Técnicas de filtrado permiten reducir el ancho de banda requerido sin perder el contenido de la información. Se combina el filtrado de la señal a nivel banda base con filtrado de la señal una vez que ha sido modulada.

Señal 64-QAM sin filtrar



Señal 64-QAM filtrada



8.3. BER: Bit Error Rate

El BER expresa la relación entre el número de bits erróneos y el número total de bits transmitidos. Típicamente es una medición de tipo intrusiva. La medición es no intrusiva cuando se basa en información del FEC.

El rango usual está entre 10^{-4} y 10^{-9} .

Diferenciamos dos valores de BER, uno antes y otro después del FEC.

No sirve para identificar la causa del problema.

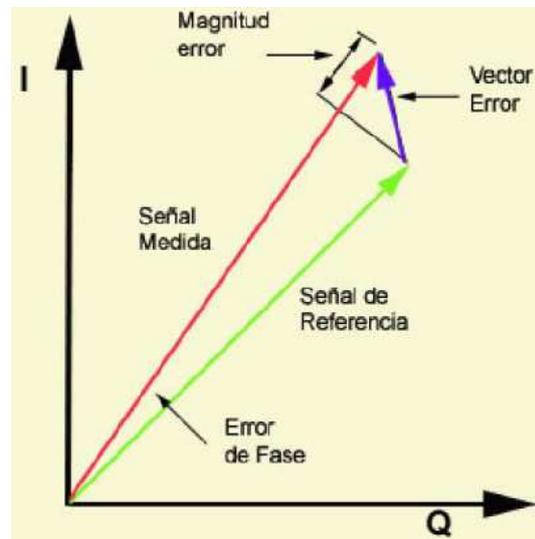
8.4. MER: Modulation Error Rate

MER = Valor rms del vector error / Valor promedio del vector magnitud

Usualmente se expresa en dB y resulta similar a la relación S/N.

Es una medición no intrusiva. Incluye todos los deterioros.

DVB Measurement Group lo adopta como figura de mérito.



El MER asigna un valor a la dispersión de los puntos correspondientes a cada símbolo. Cuánto más dispersos estén los puntos, menor resultará el MER. Cuanto más apartado esté de la ubicación ideal que corresponde a ese símbolo, menor será el MER.

Constelación con buen MER

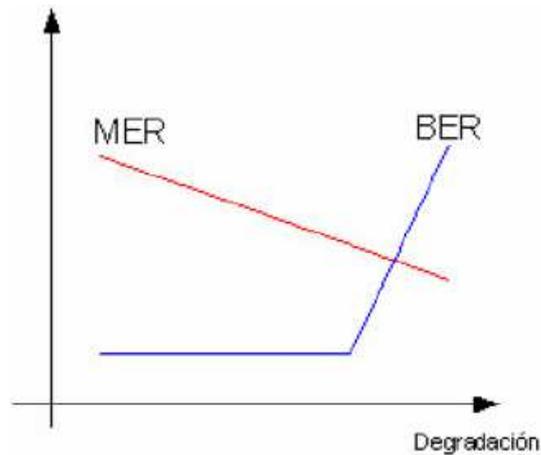


Constelación con MER pobre

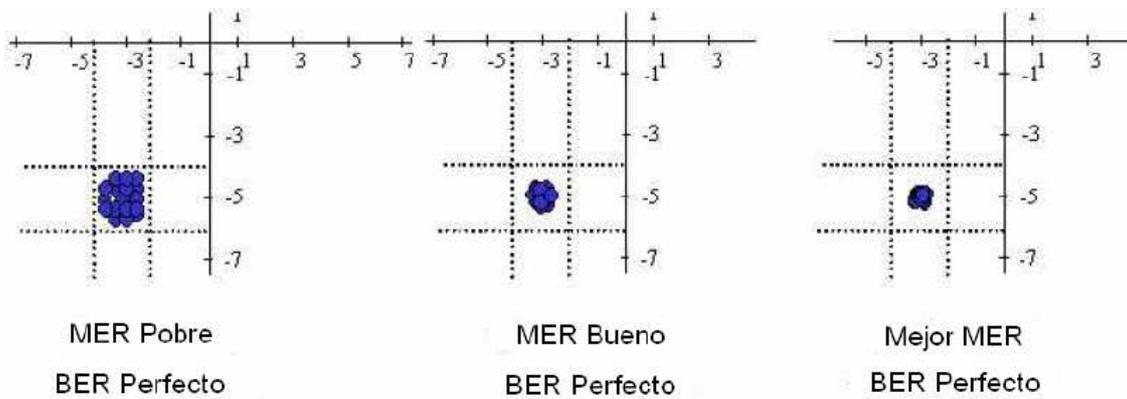


8.5. MER vs BER

El MER permite anticiparnos al problema ya que se va degradando gradualmente mientras que el BER crece abruptamente a último momento.



Todos los casos mostrados no presentan errores porque los puntos caen dentro de los límites de decisión. La constelación de la derecha tiene un MER mucho más elevado, los puntos están más juntos.



Entonces surge la pregunta de porque medir el BER si el MER nos permite evaluar el deterioro de la señal aún cuando todavía no se producen errores.

La respuesta es que la mayor limitación del MER está en que no refleja el efecto de transitorios rápidos, entonces una señal puede tener un buen valor de MER pero mala tasa de BER debido a la acción de interferencias transitorias o intermitentes.

9. Conclusión

A mediados de 2012 en Argentina, en materia de televisión, nos encontramos en un período de transición, en el cual, además de la emisión de los programas analógicos actuales, se emiten en forma simultánea nuevos programas digitales (por ejemplo los de los canales 22, 23, 24 y 25). La emisión de estos programas digitales se logra gracias a los nuevos desarrollos tecnológicos implementados en los diferentes estándares de televisión digital terrestre, entre los cuales se encuentran el ATSC estadounidense, el DVB-T europeo, el DTMB chino y el ISDB-T japonés.

El 1 de septiembre del 2009, en nuestro país, se aprobó mediante Decreto Presidencial la creación del Sistema Argentino de Televisión Digital Terrestre (SATVD-T) el cual fue desarrollado en base al estándar de televisión digital terrestre ISDB-Tb (versión brasileña). También se estableció un lapso de 10 años para completar la transición de la TV analógica a la digital.

En el presente trabajo se buscó profundizar, desde tres puntos de vistas distintos, sobre las cualidades técnicas del estándar ISDB-T adoptado en nuestro país que logran generar señales de audio y video digital con calidad SD y HD. Se profundizó desde el punto de vista del sistema de compresión utilizado por el estándar nacional adoptado (MPEG-4) para lograr comprender los potentes sistemas digitales y herramientas matemáticas utilizadas en los compresores de audio y video, obteniéndose relaciones de compresión desde 50:1 hasta 200:1 con respecto al ancho de banda de la señal de televisión analógica.

También se ha profundizado sobre los diversos métodos de medición de señales digitales de televisión, para poder determinar la calidad de las mismas. Se hizo especial énfasis en las mediciones de los parámetros MER y VER, ya que los mismos son los más evaluados por los operadores que realizan mediciones de señales de transmisores de televisión digital.

Por último, se describieron las características más importantes de los receptores de televisión digital (SET TOP BOX). Estos, a parte de servir como simples conversores de señales, poseen diversas funcionalidades como interactividad, guía electrónica de programas, navegadores de Internet, grabadores de video digital entre otras, que ofrecen al televidente un uso más placentero de la televisión.

Quisiera destacar el hecho de que el estándar ISDB-T ha sido adoptado hace muy poco tiempo en nuestro país y hoy en día se encuentra en proceso de integración. Por lo tanto, el presente trabajo puede llegar a ser de utilidad para ampliar la currícula correspondiente a la materia "Sistemas de televisión" de la Universidad Católica Argentina cuyo profesor titular es el Ingeniero Cayetano Grossi, a quien a su vez, con el rol de tutor, le doy las gracias por su ayuda brindada para la realización del presente trabajo final.

10. Glosario

AC: Auxiliary Channel
AES/EBU: Audio Engineering Society / European Broadcasting Union
ATSC: Advanced Television Systems Committee
BER: Bit Error Rate
BTS: Broadcast Transport Stream
COFDM: Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing
CP: Continual Pilot
DCT: Discrete Cosine Transform
DTT: Digital Terrestrial Television
DVB: Digital Video Broadcasting
EDT: Estacion Digital Terrestre
EOB: End of Block
FFT: Fast Fourier Transformer
GOP: Group of Pictures
HDTV: High Definition Television
IFFT: Inverse Fast Fourier Transform
ISDB-T: Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting
MPEG: Moving Picture Experts Group
OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PES: Packet Elementary Stream
PRBS: Pseudo Random Binary Sequence
QAM: Quadrature Amplitude Modulation
QPSK: Quadrature Phase Shift Keying
RF: Radio Frequency
RFM: Red de Frecuencia Múltiple
RFU: Red de Frecuencia Única
RS: Reed Solomon
RTA: Radio y Televisión Argentina
SDI: Serial Digital Interface
SFN: Single Frequency Network
SP: Scattered Pilot
TDA: Televisión Digital Abierta
TDT: Televisión Digital Terrestre
TMCC: Transmission and Multiplexing Configuration Control
TS: Transport Stream
TSP: Transport Stream Packet

11. Bibliografía

JEITA (Japan Electronics and Information Technology Industries Association).
"Methods of Measurement for Digital Terrestrial Broadcasting Transmitters Ver2.2"
Octubre 2006

Ing. José Simonetta "Televisión Digital Avanzada" 2002

Ing. Edwin Panchi "Equipos de medición y calibración"

Francisco Gindre – Universidad de Palermo "Set Top Box"

Transmission System for ISDB-T - MASAYUKI TAKADA, MEMBER, IEEE, AND
MASAFUMI SAITO

<http://www.consumosculturales.gov.ar/>

www.tda.gob.ar/

[www.forumsbtvd.org.br/materias.asp?id=112.](http://www.forumsbtvd.org.br/materias.asp?id=112)

www.inti.gov.ar

www.asenmac.com/tvdigital2/influencia.htm

www.tvpublica.com.ar/tvpublica/institucional?m=10&t=TV%20P%C3%BAblica&tag=tvpublica.institucional.acercade&opt=1&order=fecha_asc