

# Pizarrón para los Maestros del Video

## Calidad de Imagen . . . . . *Por Hugo Gaggioni, Sony Electronics Inc.*

Conforme la transmisión de televisión y la comunidad productora se mueven hacia un futuro digital, nuevos aspectos están surgiendo...

¿Cómo sirven las estructuras de muestreo de video para sistemas de compresión para aplicaciones de radiodifusión, transmisión e industriales?

¿Qué tan buena debe ser la calidad de imagen de video? ¿Cuánto se deteriora la calidad de la imagen cuando se comprimen las señales digitales de video? ¿Cuánta degradación en la imagen es aceptable para una determinada aplicación? ¿Qué hay respecto a los "artifacts" de compresión que pueden ser invisibles al observador humano?

Finalmente, ¿cuánta compresión puede soportar una señal de video sin sacrificar la integridad de su resultado final y sin decrecer la satisfacción de la audiencia a quien va dirigida?

Al definir el tema de la calidad de imagen se verá claramente que algunas aplicaciones pueden darse por bien servidas mediante estructuras de muestreo, es decir, densidades de pixeles (elementos de imagen) y mediante esquemas de compresión que "visualmente no tienen pérdidas (lossless)." Sin embargo, en otras aplicaciones la calidad de la imagen deberá comprometerse en grados diversos.

Entender las diferencias de las características de calidad de imagen entre diversos sistemas de compresión puede hacer toda la diferencia al momento de determinar cómo manejar una producción y decidir cuáles son los sistemas que mejor pueden servir a las realidades económicas de la actualidad, así como a las nuevas oportunidades del mañana.

### **PORQUE "SUFICIENTEMENTE BUENO" PUEDE NO SER SUFICIENTEMENTE BUENO**

En los estudios de transmisión y producción para televisión de hoy en día, los profesionales están llegando a buenos términos con la tecnología digital. Nuevos servidores de video y sistemas de edición no-lineales están siendo constantemente probados y evaluados. El uso de compresión de video en estos sistemas está diseñado para lograr objetivos diversos, como aumentar la eficacia en el almacenamiento o el número de canales de entrada/salida del sistema, sin embargo la calidad de la imagen puede comprometerse en el proceso.

Algunos podrán asumir que un estándar de calidad de imagen inferior es suficiente para el mundo NTSC de hoy. El sistema NTSC oculta algunas fallas e ignora muchos errores. Los efectos de arco iris y "dot-crawl" de los sistemas NTSC son familiares para los usuarios, debido a que han sido visibles en las pantallas de TV del hogar durante cuarenta años. Sin embargo, las nuevas imperfecciones (artifacts) no les serán familiares a los consumidores, quienes podrían rebelarse y objetar la nueva tecnología.

A fin de lograr una mayor eficiencia en la reducción de la velocidad de los bits (bit rate), la calidad de la imagen podría comprometerse. Para el consumidor de hoy, la diferencia de algunas aplicaciones de televisión puede no ser relevante.

Sin embargo, nuevos sistemas de transmisión y almacenamiento de video llegarán pronto: transmisión directa desde satélite, cassettes digitales de video para el consumidor y discos digitales de video. Estos sistemas crearán una nueva norma para medir la calidad de las imágenes en el hogar. En este nuevo y valiente mundo digital de la Televisión Avanzada ATV (Advanced Television), la calidad NTSC no será lo suficientemente alta y el término "aceptable para NTSC", no será suficientemente bueno. ¿Cuáles son las implicaciones en calidad de imagen para la producción de televisión?

¿Cuánta calidad de imagen necesitamos realmente y cómo podemos mantener de la mejor forma posible la calidad de imagen necesaria en un mundo en el que la compresión de audio/video es ya una realidad?

### **EFICIENCIAS DE COMPRESION Y ARTIFACTS**

Para entender el tema de la calidad de la imagen debemos empezar por examinar las razones por las cuales la compresión es necesaria y cómo la calidad de la imagen es afectada por los diversos muestreos de video y esquemas de compresión.

El video digital implica una gran cantidad de información o "bits". El envío de esta información desde un punto hacia otro requiere de la creación de un flujo de bits. En este flujo de datos, la velocidad en que se transmiten los bits en un segundo es conocida como velocidad de bits (bit rate).

La digitalización de la señal de video análogo por componentes crea una velocidad de los bits (bit rate) sumamente alta. Para diversas clases de señales de video, la velocidad de bits puede variar desde 30 Mbps (Millones de bits por segundo) hasta 210 Mbps.

Desafortunadamente, existen limitantes en las capacidades para manejar la velocidad de los bits en los canales de transmisión de la actualidad y de los dispositivos de almacenamiento y/o

grabación de video. Estas limitantes hacen que sea deseable e incluso necesario encontrar formas para reducir la velocidad de esos bits de la señal de video digital. Para eso se ha diseñado la compresión de video. El truco consiste en comprimir la señal en una forma en que no introduzca un nivel "no aceptable" de degradación de la calidad de la imagen final.

¿Qué define un nivel de degradación "no aceptable"? Eso depende de la aplicación. Presentar imágenes al filtro pasabajos del ojo y el cerebro es muy diferente a someter esa misma señal a los rigores de la manipulación digital en los procesos de producción y post-producción.

Los esquemas para la reducción de la velocidad de los bits aprovechan dos tipos de oportunidades diferentes creados por la naturaleza del medio de video: las redundancias que existen en la señal de video por si misma y las limitaciones fisiológicas del sentido de la vista humana.

Las señales de video exhiben grandes cantidades de información que se repiten: similitudes en valores de píxeles a lo largo del campo de visualización o "redundancias espaciales" y similitudes en valores de píxeles de un momento al siguiente o "redundancias temporales". Algunos esquemas de compresión operan únicamente en la dimensión espacial y son llamados sistemas "intra-campo/cuadro". Otros operan durante el tiempo y se les llama sistemas "inter-campo/cuadro".

El papel de todos los esquemas de compresión es descartar estos pedazos redundantes de información visual sin distorsionar la imagen. Si se introduce cierta distorsión en la imagen, el objetivo del esquema de compresión es lograr que estas imperfecciones (artifacts) no sean detectables al ojo humano y que sean tan invisibles como sea posible explotando las limitaciones de procesamiento espacial, temporal y de color del sistema visual humano. Esto es lo que se entiende por un esquema de compresión "visualmente sin pérdidas" (lossless).

A la forma en que un esquema de compresión logre satisfactoriamente este objetivo se le puede llamar "eficiencia de compresión", es decir, la cantidad de reducción de información que es posible lograr mientras se mantiene una calidad de imagen dada. Para una determinada reducción de la velocidad de los bits, las imperfecciones visibles en la imagen variarán dependiendo de las técnicas usadas por el sistema de compresión y de las demandas de codificación del contenido de la imagen en una escena particular. Mientras más eficiente sea un esquema de compresión, menores serán las distorsiones de codificación que serán producidas a una

velocidad de los bits determinada o menor será la velocidad de los bits requerida para producir un nivel aceptable de calidad de imagen.

De manera que al diseñar un esquema de compresión eficiente, debe efectuarse una consideración cuidadosa de cómo balancear de la mejor forma posible tres factores de rendimiento: la calidad de la imagen, la reducción de velocidad de los bits y las características de funcionalidad del flujo de bits comprimido resultante. la figura 1)

Un esquema de compresión puede producir imágenes de alta calidad a un cierto índice de compresión dado (la relación entre la velocidad de los bits de video que entra y la velocidad de los bits de video comprimido). Pero inclusive en un aumento ligero en el índice de compresión, el mismo esquema de compresión puede producir imperfecciones de imagen inaceptables para la aplicación en cuestión. Este "umbral de sensibilidad" es típico de los sistemas de compresión intra-campo/cuadro que dependen de explotar únicamente las redundancias espaciales que existen dentro de una imagen.

Pocos esquemas de compresión en uso en la actualidad logran salir libres de problemas de los rigores que significa la producción de estudios. Para mantener el alto nivel de calidad de imagen requerido en las aplicaciones de producción y post-producción de televisión, se requieren sofisticadas máquinas de compresión que puedan operar en componentes de video 4:2:2 para estudio. Usando únicamente técnicas intra-campo, el rango del índice de compresión que puede mantener imágenes con alto nivel de calidad y un rendimiento multigeneracional robusto es típicamente muy pequeño no mayor de 2-4 a 1. (vea la figura 2)

Si la tasa de compresión está limitada a consideraciones sobre la calidad de la imagen, ¿por qué no empezar por introducir una velocidad de los bits menor en la máquina de compresión? Esta es la forma en que algunos sistemas de video tratarán de balancear la calidad de las imágenes, la reducción de la velocidad de bits y la funcionalidad. Bajo este enfoque, otro proceso entra en juego: el sub-muestreo de video.

Este proceso funciona de la siguiente forma. En lugar de tratar de comprimir toda la señal de video completa y arriesgarse a que se presenten imperfecciones en la imagen, la señal de video es pre-filtrada y sub-muestreada. Esto reduce la cantidad de información que debe comprimirse, facilitando de esta



Figura 1  
SISTEMAS DE COMPRESION  
Cualquier sistema de compresión de video digital debe balancear tres criterios de rendimientos demandantes.

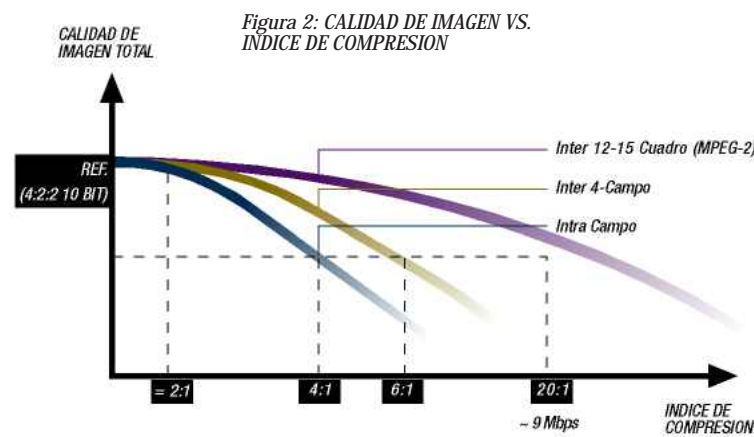


Figura 2: CALIDAD DE IMAGEN VS. INDICE DE COMPRESION

forma el trabajo del esquema de compresión. La figura 3 muestra un diagrama de cómo el pre-filtrado y el sub-muestreo entran en el proceso de compresión de video.

Esto podría representar una lectura errónea de las necesidades de las transmisoras de televisión y de los productores, para aplicaciones de adquisición y producción de alta calidad. Basándose en años de experiencia, el grupo Broadcast de Sony considera que es mucho mejor retener toda la información visual de origen en la señal de video. Para trabajos que requieren de la mayor calidad, conviene usar un esquema de compresión que sea capaz de manejar la alta velocidad de bits 167 Mbps y mayor de la señal de componentes 4:2:2 para estudio.

Primero, examinemos las diversas estructuras de muestreo de video en uso en la actualidad. Después podremos explorar su rendimiento en aplicaciones específicas.

### ESTRUCTURAS DE MUESTREO PARA SEÑALES DE COMPONENTES

En 1982 se establecieron recomendaciones internacionales para una jerarquía de señales digitales de televisión: Recomendación CCR 601. En la actualidad, un conjunto de definiciones revisado está contenido en ITU-R-BT, Recomendación 601.

El primer paso para establecer una estructura de muestreo que sirva para señales de televisión, tanto de 525 como de 625 líneas, fue seleccionar la frecuencia de muestreo para cada componente de la señal de televisión: luminancia o información de escala de grises y crominancia o información de color.

Un valor de frecuencia de 2.25 MHz es el mínimo común múltiple para frecuencias de muestreo horizontal para sistemas de televisión de 525 y 625 líneas. La frecuencia de muestreo de 13.5 MHz (2.25 x 6) conduce a una señal de luminancia de 858 muestras en total por línea para el sistema de TV de 525 líneas y de 864 muestras para sistemas de 625 líneas. La porción activa de la señal de TV en ambos sistemas, sin embargo, fue definida como 720 muestras.

Figura 4:  
ESTRUCTURA DE MUESTREO 4:2:2  
720 píxeles de luminancia por línea. 360 píxeles de crominancia por línea.

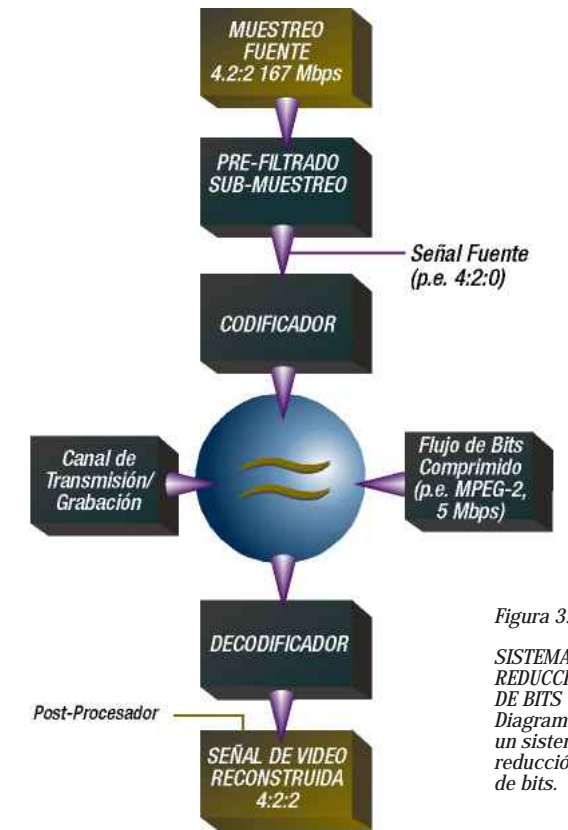
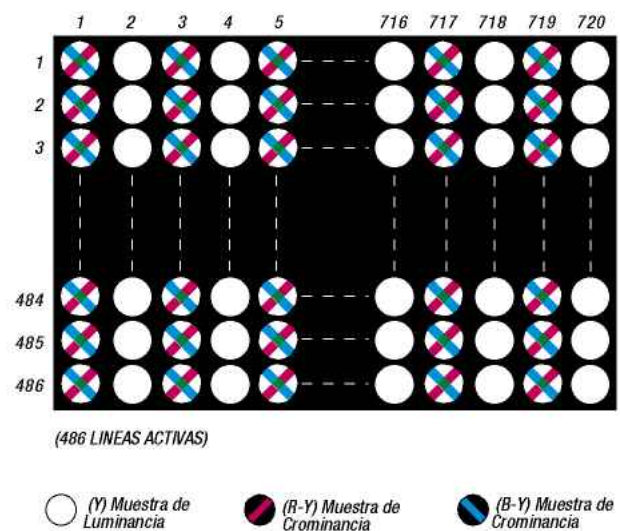


Figura 3:  
SISTEMA GENERICO DE REDUCCION DE VELOCIDAD DE BITS  
Diagrama a bloques de un sistema genérico de reducción de velocidad de bits.

Reflejando las limitaciones de la percepción humana en resolución de color, la frecuencia de muestreo para la información de crominancia, es decir, las dos señales distintas de color, R-Y y B-Y, se definió a la mitad del canal de luminancia: 6.75 MHz. Esta frecuencia proporciona 360 muestras activas para cada uno de los dos canales de color.

Lo que acabamos de definir es una estructura de muestreo 4:2:2, mostrado en la Figura 4. Los números "4:2:2" no sólo indican el índice de muestreo de los componentes de la señal (luminancia, crominancia R-Y y crominancia B-Y), sino que además implican la posibilidad de estructuras de muestreo mayores y menores que serán relacionadas integralmente en la señal de estudio 4:2:2.

Un simple cálculo muestra que para un sistema de 8 bits por muestra, se requerirá un flujo de bits de aproximadamente 167 Mbps para el área activa de la señal de componente de video. La Figura 5 muestra cómo se ha llevado a cabo este cálculo.

La señal de componente digital 4:2:2 es un formato de muestreo de televisión de alta calidad para la creación (captura) de un trabajo producción y post-producción de estudio: una señal de luminancia con 720 muestras activas por línea; acompañada por dos canales de color con 360 muestras activas por línea.

### OTRAS APLICACIONES, OTRAS ESTRUCTURAS DE MUESTREO

Muchas aplicaciones de video no requieren tener la mejor calidad de video posible. Estas aplicaciones incluyen al video industrial, TV por cable y transmisión por satélite o terrestre hacia los hogares donde las reducciones en el índice de transferencia de bits para formar interfaces con las capacidades del canal de transmisión predefinidas son más importantes que la calidad final de la imagen.

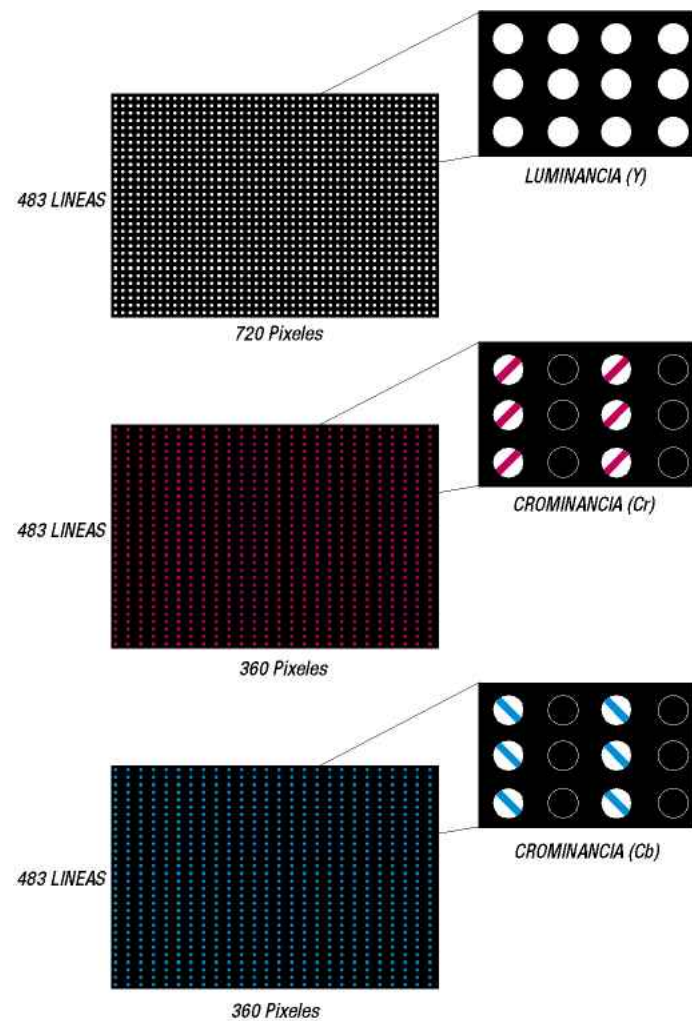


Figura 5:  
CÁLCULO ACTIVO DEL ÍNDICE DE TRANSFERENCIA DE BITS 4:2:2  
Componentes de Estudio (4:2:2) ITU-R-BT, Rec. 601.

VELOCIDADES DE BITS DE IMÁGENES ACTIVAS  
8 bits:  $(720+360+360) \times 483 \times 8 \times 30 = 167 \text{ Mbps}$   
10 bits:  $(720+360+360) \times 483 \times 10 \times 30 = 209 \text{ Mbps}$ .

4:2:0, 4:1:1 y 3:1:1 son ejemplos comunes de estructuras de muestreo usadas en estas aplicaciones.

En comparación con el video de componente digital 4:2:2, la estructura de muestreo 4:2:0 contiene el mismo número de píxeles (para las señales de luminancia y crominancia) en la dirección horizontal. En la dirección vertical, sin embargo, la señal de luminancia emplea únicamente 480 líneas activas (de las 483 líneas que llevan video) y las dos señales de crominancia son pre-filtradas y sub-muestreadas por un factor de 2. En otras palabras, primero la información de color se "suaviza verticalmente" y después se descarta esa información de cada línea.

La Figura 6 muestra que después del pre-filtrado y sub-muestreo, la señal 4:2:0 requiere un flujo de bits de aproximadamente 125 Mbps, alrededor de un 25% menos que los 167 Mbps requeridos por la señal original 4:2:2. Esto facilita el proceso de compresión al reducir el índice de transferencia de bits de la señal de video antes de entrar a la máquina de compresión.

La imagen que resulta es visualmente agradable. En la mayoría de las aplicaciones, puede parecer subjetivamente cercana a

la calidad de la señal de componente 4:2:2. Sin embargo, no dará buenos resultados en trabajos complejos de producción y post-producción. Una señal 4:2:0 introduce "chroma bleeding" y ciertas distorsiones en la imagen como "desvanecimiento del borde de color", los cuales pueden comprometer seriamente la calidad del producto final de video después del trabajo multigeneracional.

Otro ejemplo común de un esquema de muestreo es 4:1:1, mostrado en la Figura 7. En este proceso, los componentes de croma son pre-filtrados y sub-muestreados en dirección horizontal: cada otro píxel en la línea de muestreo horizontal de cada canal de croma es descartado. La señal resultante tiene únicamente la mitad de ancho de banda horizontal en cada uno de los dos canales de crominancia. Es decir, una señal de componente de video 4:1:1 tendrá menos información de color en la dirección horizontal.

La señal 4:1:1 también requiere un flujo de bits de 125 Mbps, una vez más, una reducción de aproximadamente 25% en velocidad de bits, comparada con los componentes originales 4:2:2.

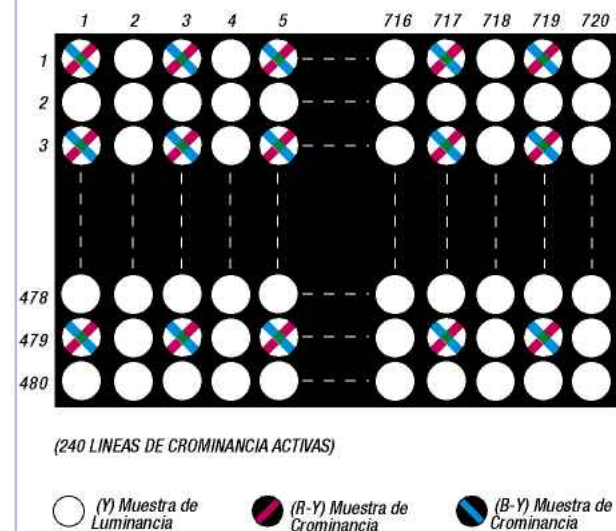
Tanto los componentes de video 4:2:0 como 4:1:1 son opciones populares para aplicaciones de distribución de video. Una de estas aplicaciones es el recientemente introducido formato Digital Video Cassette (DVC) para sistemas de video al consumidor, el cual emplea señales de entrada 4:2:0 para el mercado de televisión de 625 líneas y señales 4:1:1 para el mercado de 525 líneas. El sub-muestreo vertical se favorece en sistemas de 625 líneas, donde se tienen más líneas disponibles para describir los canales de croma.

Estos sistemas, aunque adecuados para aplicaciones de distribución, pueden no ser lo suficientemente buenos para producción en televisión. Aún utilizando 4:1:1 como herramienta de alta calidad para la adquisición, puede no satisfacer los requerimientos de calidad de imagen de aplicaciones de producción y post-producción. Una vez que la información de croma se ha perdido, nunca puede recuperarse.

Algunas aplicaciones de producción de video semi-profesional en donde se utilizan computadoras, no requieren la alta resolución de luminancia de 720 píxeles por línea, de manera que se pueden lograr aún mayores ahorros en el índice de transferencia de bits al sub-muestrear no sólo las señales de croma, sino también el canal de luminancia.

Figura 6:

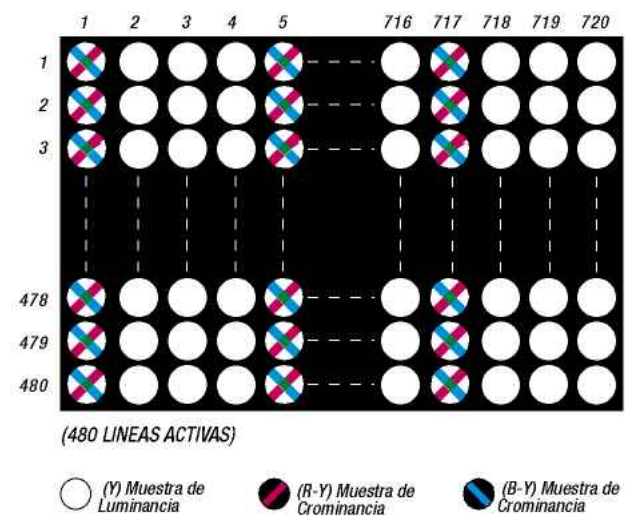
ESTRUCTURA DE MUESTREO 4:2:0  
720 píxeles de luminancia por línea. 360 píxeles de crominancia por línea.



(240 LÍNEAS DE CROMINANCIA ACTIVAS)

○ (Y) Muestra de Luminancia  
● (R-Y) Muestra de Crominancia  
● (B-Y) Muestra de Crominancia

Figura 7:  
4:1:1 ESTRUCTURA DE MUESTREO  
720 píxeles de luminancia por línea.  
180 píxeles de crominancia por línea.



En un sistema 3:1:1 por ejemplo, la señal de luminancia está representada por 540 píxeles por línea activa, en comparación con 720 píxeles para video por 4:2:2 por componentes. Una línea activa de 540 píxeles produce un ancho de banda equivalente de aproximadamente 4.5 MHz, comparada con 5.75 MHz para 4:2:2. Esto conduce a un 25% de reducción en la resolución horizontal del canal de luminancia, además del 50% de pérdida de resolución horizontal en crominancia. A pesar de sus limitaciones en ancho de banda horizontal, el sistema de muestreo 3:1:1 logra una reducción significativa de la velocidad de bits aún antes de que la compresión se lleve a cabo: 104 Mbps, representando un ahorro en velocidad de bits de casi el 40%, en comparación al flujo de bits a 167 Mbps de una señal 4:2:2.

Estos esquemas diversos para pre-filtrado y sub-muestreo de la información de crominancia y luminancia permiten que el índice de transferencia de bits de la señal de video digital se reduzca antes del proceso de compresión. Aunque el pre-filtrado y el sub-muestreo pueden ser las mejores formas de retrasar en un principio las imperfecciones (artifacts) debidas a la compresión, estos procesos resultan inevitablemente en señales de video que pueden no ser adecuadas para operaciones de producción o post-producción en todos los tipos de material con imágenes.

Los formatos de sub-muestreo de video son más adecuados para aplicaciones de distribución y almacenamiento, donde el resultado final es para consumo visual por un observador humano, no para un mayor procesamiento o manipulación mediante técnicas de producción en el estudio.

### ¿POR QUÉ HACER UNA PRODUCCIÓN DE 4:2:2?

Sólo las características de banda ancha de las señales de componente 4:2:2 producen el alto nivel de calidad de imagen necesario para aplicaciones de producción y post-producción de televisión.

En nuestro sistema de televisión actual de 525 líneas, las señales 4:2:2 muestran 483 líneas activas de las 486 líneas posibles (la

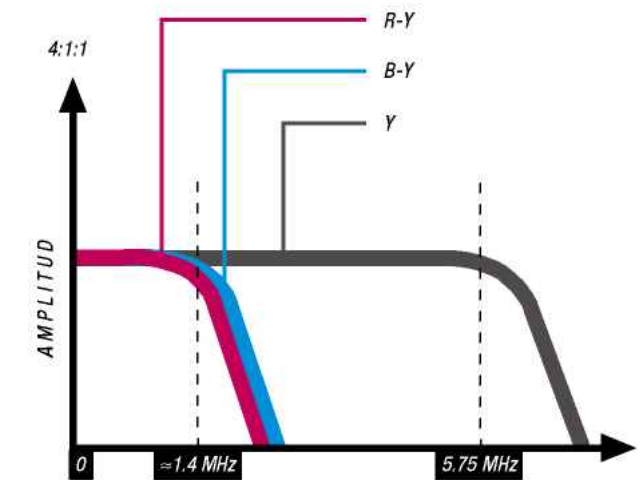
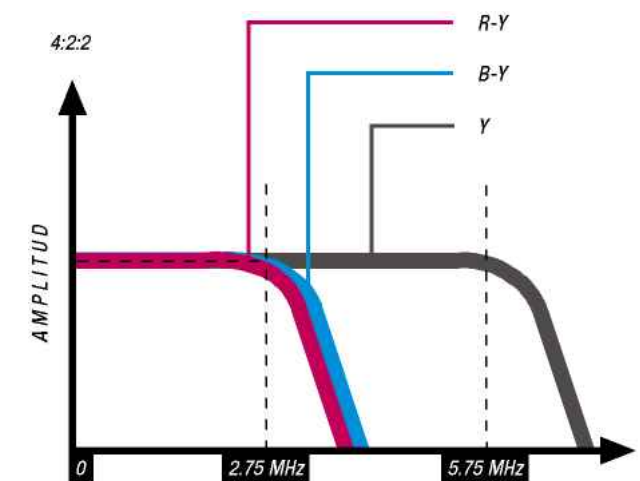
línea 21 ha sido reservada por la FCC para información de "closed-captioned"). La mayoría de los sistemas de compresión comprimen únicamente 480 líneas para facilitar el procesamiento. Mientras que estos sistemas son perfectamente adecuados para distribución, son inaceptables para la producción, pues los broadcasters también buscan información en el "blanking" del intervalo vertical.

Como lo muestra la Figura 8, la señal de luminancia 4:2:2 tiene una respuesta en frecuencia recta hasta 5.75 MHz. Cada señal de diferencia de color se extiende a 2.75 MHz. Estas características de banda ancha permiten a una señal de video 4:2:2 lograr la alta calidad de imagen que es necesaria para aplicaciones de producción y post-producción.

Los procesos de producción demandantes como chromakeying, composición blue-screen, edición multigeneracional, efectos especiales, mattes, transconversión entre esquemas de compresión, conversión entre estándares 525/625 y conversión ATV hacia arriba o hacia abajo son llevados a cabo mejor con componentes de video 4:2:2.

Dependiendo de la cantidad de compresión aplicada, un flujo de bits 4:2:2 puede imponer una seria carga en un esquema de compresión, ya que los requerimientos de manejo de datos son muy altos. Y debido a que muchos algoritmos de compresión

Figura 8:  
RESPUESTA EN FRECUENCIA 4:2:2 vs. 4:1:1



usados no son lo suficientemente eficientes para manejar señales 4:2:2 completas a tasas de compresión altas sin degradar significativamente la imagen, están forzados a depender del pre-filtrado y el sub-muestreo.

Con limitaciones en el ancho de banda de crominancia y problemas con wipes, fades y efectos especiales, las imágenes que resultan pueden ser marginalmente adecuadas para las necesidades de transmisión de la actualidad, pero notoriamente deficientes para las demandas del futuro.

Afortunadamente, estas limitaciones se están superando.

Nuevos algoritmos de compresión que se encuentran ya en el proceso de estandarización son completamente capaces de manejar el peso de señales de componentes 4:2:2 y producir imágenes de calidad de transmisión que salen bien libradas del rigor de la edición y post-producción en estudio.

Figura 9:

**SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE VIDEO:**  
La más alta calidad de imagen es requerida para proporcionar nuevos sistemas de distribución de audio/video a los consumidores.

### HEADROOM EN EL PRESENTE PUEDE CURAR DOLORES DE CABEZA EN EL FUTURO

La imagen de TV se está transformando y cambios aún más dramáticos están por venir en los próximos años.

Como muestra la Figura 9, los Sistemas Digitales por Satélite están ya presentes, programados para entrar en escena muy pronto. También lo están las transmisiones SDTV terrestres, los sistemas digitales por cable, los Cassettes de Video Digital para consumidores, los formatos en Discos de Video Digital y los Sistemas de Televisión Avanzada, incluyendo la Televisión de Alta Definición (HDTV).

Las comunidades de producción y transmisión pueden enfrentar mejor el reto de estos sistemas de video de alto desempeño que están emergiendo, si sus materiales originados están en componentes digitales 4:2:2. La banda ancha de la señal de crominancia en un sistema 4:2:2 ayuda a reducir la degradación en calidad que puede ser ocasionada al moverse hacia adelante y hacia atrás entre sistemas comprimidos y basados en banda base.

El tema de la calidad de imagen se vuelve en realidad un asunto que está sumamente relacionado con la protección de una inversión muy valiosa. No sólo se trata de una inversión en hardware, sino del material fuente de video con el que se crea actualmente la programación televisiva, la producción comercial y los documentales de televisión; además del material de referencia archivado que está siendo tomado, editado y producido en la comunidad creativa del presente. Para lograr un alto nivel de calidad de imagen después de complejas etapas de procesamiento de señal (conversión hacia arriba "upconversion", transconversión, manipulaciones de codificación/decodificación, etc.), se requiere de un estándar superior de creación de la imagen. Un "headroom" más alto brindará una calidad de imagen visualmente superior en el futuro.

Para el futuro digital, la calidad de la imagen será un factor de importancia crítica. Dentro de cinco años, las transmisoras de televisión podrán subir los materiales actuales y archivados a HDTV. Pueden suministrar múltiples señales a los sistemas por cable digitales, los sistemas digitales por satélite, sistemas de transmisión terrestre digital/análogo y distribuidores trabajando dentro de un amplio rango de formatos para duplicación de discos y cassettes.

Para mantener el valor y proteger la inversión, los materiales de programación para archivo necesitarán tener una calidad de imagen así de alta.

