
DV vs. Betacam SP: 4:1:1 vs. 4:2:2, "Artifacts" y otras Controversias

[Nota: esto es una traducción del documento, respetando incluso el formato. Los comentarios entre corchetes son aclaraciones de mi cosecha. He reducido ligeramente algunos párrafos, demasiado técnicos o bien orientados al mercado USA. Este es un documento bastante espeso, que requiere cierta atención y estudio]

El formato Betacam SP de Sony, es el formato estándar de comparación entre sistemas de vídeo. [Recordad : Betacam SP es un formato analógico profesional]. A principios de 1997, más de 350.000 dispositivos Betacam SP habían sido vendidos en todo el mundo. La mayoría de las agencias de noticias y cadenas de TV usan actualmente Betacam o Betacam SP cámaras y vídeos. La mayoría de los clientes de las productoras requieren el uso de Betacam. Virtualmente todas las cadenas de TV prefieren o exigen, programas hechos con Betacam SP. A pesar de que el sistema M-II de Panasonic proporciona, al menos, la misma calidad, Sony y Betacam SP tienen un reconocimiento y status "intocable". Todo esto implica que los demás sistemas son clasificados como "mejor" , "igual" o "peor" que Betacam SP. Estas comparativas, basadas en la calidad de imagen obtenida, llevan a términos tan poco consistentes como los de "broadcast quality" (calidad TV) o "estudio quality", que figuran en los folletos de las cámaras de vídeo de aficionados y semiprofesionales. [Sony tiene una presencia en el mercado profesional impresionante. Si visitáis una unidad móvil de TVE, veréis que la gran mayoría de los equipos son Sony]

La llegada del vídeo digital (DV) ha generado una gran controversia sobre el futuro de los formatos digitales. La mayor fuente de controversia ha sido la comparación entre el formato DV con su muestreo 4:1:1 (4:2:0 para el PAL) frente a la especificación de vídeo digital "D-1" BT.601-4 (muestreo 4:2:2).

[Nota : Muestreo 4:1:1 significa que la señal de crominancia se muestrea a cuatro veces menos ancho de banda que la de luminancia. Por tanto, el DV tiene menos ancho de banda dedicado a la señal de crominancia que el estándar de vídeo digital D-1]

Este documento trata de clarificar estos puntos y de contestar a la pregunta ¿ es DV (o miniDV) mejor que Betacam SP ?

Horizontal Resolución y ancho de banda de los sistemas analógicos

Tradicionalmente, la resolución de los sistemas analógicos se ha expresado en "líneas horizontales" que somos capaces de contar en una pantalla de TV. Está directamente relacionado con el ancho de banda de la señal de vídeo. Como regla de oro, podemos decir que tenemos 80 líneas por cada megahercio de ancho de banda. La siguiente tabla, muestra la resolución de diferentes sistemas, basada en la regla anterior.

<i>Formato</i>	<i>Horizontal Líneas</i>	<i>Ancho de banda MHz</i>
<i>VHS y 8-mm VCRs</i>	<i>240</i>	<i>3.0</i>
<i>U-matic (3/4-inch) VCRs (Betacam)</i>	<i>250</i>	<i>3.1</i>

<i>U-matic SP VCRs Betacam SP</i>	330	4.1
<i>Señal de TV NTSC</i>	330	4.1
<i>S-VHS y Hi8 VCRs</i>	400	5.0
<i>Laserdisc</i>	425	5.3
<i>DVD Video</i>	500	6.3
<i>DV Formats</i>	500	6.3

Nota: formato DV, incluye miniDV, DVCPRO (25 Mbps), and DVCAM, todos los cuales usan el mismo formato digital. La resolución horizontal de las cámaras dotadas de 3 CCD profesionales (750 o más líneas) está relacionado con el número de pixels del CCD, su tipo y tecnología, y el sistema de procesado interno. Si mejoramos el CCD y la óptica, obtendremos mejor resultado, independientemente del sistema de grabación usado. Por otra parte, la resolución de un monitor depende de la apertura (tamaño del pixels) y así como del ancho de banda. Otra regla de oro, es que el monitor deber tener una resolución del 25% mayor que el sistema que queremos analizar.

Los folletos publicitarios de las cámaras Betacam SP han dejado de hacer público el dato de la resolución horizontal. ¿Por qué? Está claro. Con un ancho de banda de 4.1 Mhz (Betacam SP) tenemos menos resolución que los sistemas domésticos S-VHS o Hi8. Sin embargo, es un hecho, que Betacam SP proporciona mayor calidad que los sistemas citados. La clave está en que en Betacam, la luminancia y la crominancia van por separado, mientras que en S-VHS y Hi8 van sub-moduladas. Lo que hizo Sony es especificar la calidad en forma de ancho de banda de luminancia y crominancia así como en relación señal/ruido (SNR).

<i>Product Line</i>	<i>Luminancia ancho de banda</i>	<i>Crominancia Ancho de banda</i>	<i>Lum. SNR</i>	<i>Cromin. SNR</i>
<i>Sony UVW</i>	<i>30 Hz – 4.0 MHz +1.0/-4.0 dB</i>	<i>30 Hz – 1.5 MHz +1.0/-4.0 dB</i>	<i>> 49 dB</i>	<i>> 52 dB</i>
<i>Sony PVW/PVV</i>	<i>30 Hz – 4.5 MHz +0.5/-4.0 dB</i>	<i>30 Hz – 1.5 MHz +0.5/-3.0 dB</i>	<i>> 51 dB</i>	<i>> 53 dB</i>
<i>Betacam SP 2000</i>	<i>30 Hz – 4.5 MHz +0.5/-4.0 dB</i>	<i>30 Hz – 1.5 MHz +0.5/-4.0 dB</i>	<i>> 51 dB</i>	<i>> 53 dB</i>
<i>Panasonic M-II W-Series</i>	<i>30 Hz – 4.5 MHz +1.0/-4.0 dB</i>	<i>30 Hz – 1.5 MHz +0.5/-3.0 dB</i>	<i>> 49 dB</i>	<i>> 52 dB</i>

El ancho de banda viene dado por la modulación empleada, el tamaño de las partículas magnéticas de la cinta, el diseño de los cabezales y la circuitería interna. El ancho de banda máx. de la luminancia se especifica como el punto donde la señal cae un 63% (-4 dB) de su valor inicial. El contenido de alta

frecuencia (pequeños objetos con contornos muy definidos, como hojas de árboles, etc ... en definitiva, el detalle) son atenuados en el proceso de grabación. Como consecuencia, se obtienen detalles menos luminosos y más borrosos. El ojo humano es mucho más sensible a la luminancia que a la crominancia. Por tanto, se puede tener menos ancho de banda para ella, sin que se degrade apenas la imagen percibida. Betacam SP y Panasonic MII proporcionan la max. calidad y permiten varias copias sin que se perciva un deterioro.

La SNR (relación señal ruido) afecta a las señales pequeñas: por tanto es importante para las escenas con poca luz y para aumentar el contraste. La especificación en decibelios nos puede llevar a equívocos. 51 dB es unas 1.3 veces mejor que 49 dB. Los sistemas Hi8 profesionales llegan a los 45 dB y los S-VHS a los 46. Los niveles de ruido son acumulativos. Por tanto, los 51 dB del Betacam SP van a contribuir mucho a la poca degradación en múltiples copias (importante para la edición).

Muestreo digital, ancho de banda y señal/ruido (SNR)

En el video digital sin comprimir, el concepto de "frecuencia de muestreo" (sampling rate) es sinónimo de ancho de banda. El estándar digital sin compresión "D-1", ITU-R BT.601-4 [ITU: International Telecommunication Union], la frecuencia de muestreo para la luminancia es de 13.5 Mhz (tanto para PAL como para NTSC), mientras que la de crominancia es la mitad, 6.75 Mhz. Hay dos componentes de crominancia (Cr y Cb) [luminancia menos rojo y luminancia menos azul], por tanto, la señal digital se compone de igual cantidad de datos de luminancia y de crominancia. Esto se expresa con la relación famosa 4:2:2 [el 4 corresponde a la proporción de luminancia] [se podía haber dicho 2:1:1 pero no deja margen para expresar reducciones de color]. Hay un [famosísimo] teorema que se puede aplicar tanto a video como a audio digital, el teorema de Nyquist, que establece que la frecuencia de muestreo de cualquier señal, debe ser, al menos, el doble que la de la máxima señal que queremos codificar. [Por ejemplo, en audio se maneja una banda auditiva de 20 Hz a 20 KHz. Aplicando este teorema, la frecuencia de muestreo debe ser el doble que la máxima, es decir, $f=2 \times 20.000$ de 40.000 Hz. De hecho, la frecuencia de muestreo para audio digital es 41KHz aprox.]

Por tanto, para el estándar D-1 (4:2:2), el ancho de banda máximo de luminancia es $13.5 / 2 = 6.75$ Mhz, y para la crominancia pues la mitad de su frecuencia de muestreo 3.375 Mhz. El teorema de Nyquist, como todo teorema, no es realista, y hay que dejar una cierta banda de margen si queremos reconstruir la señal sin problemas [Por eso en audio digital se muestrea a 41KHz, un poquito más que el límite teórico de 40KHz]. Usando filtros digitales muy potentes se puede dejar el ancho de banda práctico de luminancia en 6.0 Mhz y el de crominancia en 3.0 Mhz.

[Me repito un poco: el estándar D-1 es un formato digital de calidad máxima con un gran ancho de banda, sin comprimir, que requiere unas capacidades de almacenamiento enormes. Es la "crem de la crem"]

DV [y miniDV] muestrea la señal de luma igual que el estándar D-1, a 13.5 Mhz, mientras que la de croma, lo hace a la mitad del D-1, 6.75 Mhz. Por tanto, para el sistema NTSC la relación quedaría en 4:1:1, con muestras de croma tomadas una vez cada cuatro muestras horizontales de luma. El DV para el PAL usa un muestreo 4:2:0, tomando el valor medio de la señal de croma entre sucesivas líneas de luma. [4:2:0 no significa que la señal de croma Cb no se muestrea, es una manera de expresar la alternancia en el muestreo]. De acuerdo con el Consorcio Japonés de Video Digital, 4:2:0 proporciona mejor percepción de la imagen. (Panasonic DVCPRO usa 4:1:1 tanto para NTSC como para PAL.) El ATSC MPEG-2 formato para DTV, [DVD] y HDTV, usa 4:2:0 sampling. En la siguiente figura se muestra todo esto.

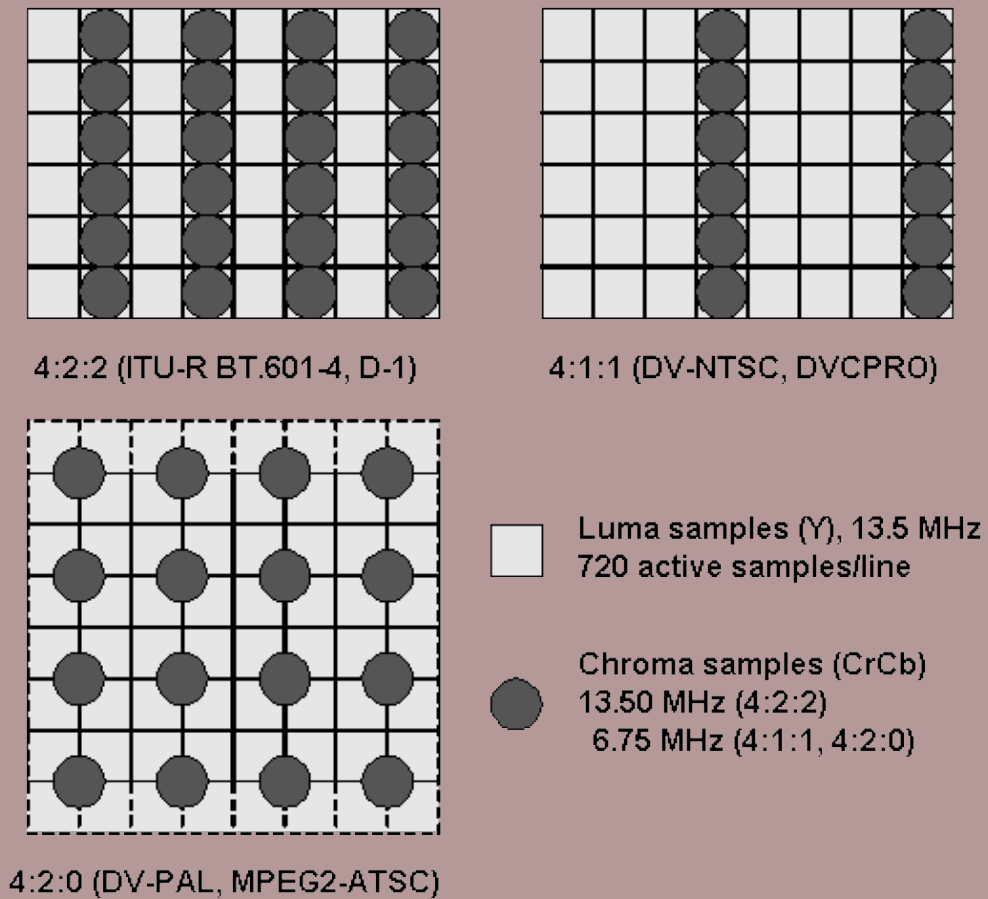


Figura 1. Comparación del muestreo del color 4:2:2, 4:1:1, y 4:2:0

La reducción en la frecuencia de muestreo del color en DV, le lleva a un valor práctico de 1.5MHz. Actualmente, todos los sistemas digitales deber ser pasados a analógico para permitir su teledifusión. A continuación hay unas tablas de anchos de banda publicados por los fabricantes de equipos de alta gama DVCPRO y DVCAM, los cuales usan el mismo formato digital que las cámaras miniDV.

DVTR Modelo	Ancho de banda Luma	Ancho de banda Cromo	Señal/ruido
Sony DSR-85 (DVCAM)	5.0 MHz +1.0/-1.0 dB	1.5 MHz +0/-5.0 dB	> 55 dB YCrCb I/O
Panasonic AJ-D750 (DVCPRO)	30 Hz - 5.5 MHz +0.5/-0.5 dB 30 Hz - 5.75 MHz +0.5/-2.0 dB	30 Hz - 1.3 MHz +0.5/-0.5 dB 30 Hz - 1.5 MHz +0.5/-5.0 dB	> 60 dB DV → YCrCb > 55 dB YCrCb I/O

Los datos de esta tabla, comparados con los de la tabla de más arriba, dan unos resultados muy favorables a los formatos DV comparados con el Betacam SP o el popular grabador de edición UVW-1800. Dándole la vuelta a los datos, tendríamos que Betacam SP se puede considerar un sistema 3:1:1 [peor que el 4:1:1 del miniDV]

Nota: La conversión de ancho de banda en MHz a velocidad binaria en megabits, no es válida. Existen diversos sistemas de modulación capaces de meter más bits por ancho de banda [ejemplo típico, los modems actuales]. Por ejemplo, el sistema de televisión digital

por cable utiliza modulación 64-QAM metiendo 27Mbits en 6Mhz de ancho de banda

Teóricamente, la relación señal /ruido (SNR) de un convertidor analógico-digital ideal (o digital-analógico) responde a la [famosa] fórmula aproximada $SNR=6.02n + 1.76$ dB, siendo n el número de bits [sería complejo justificarla, pero es así. Para audio digital, 16 bits, nos sale una $SNR = 6.02 \times 16 + 1.76 = 98$ dB]. Para video DV tenemos 8 bits por muestra de señal, lo que corresponde a $SNR=6.02 \times 8 + 1.76 = 49.92$ dB, similar a lo que proporciona Betacam SP. Sin embargo, con un sistema simple de conversión obtenemos resultados inaceptables debido a que se "notan los escalones" dando lugar a bandas de luminosidad cuando se graban escenas en superficies reflectantes, etc. Para evitarlo, se añade ruido Gaussiano, que de algún modo redistribuye los errores, a costa de perder un poco de relación señal/ruido. Para este caso, la fórmula queda $SNR=6.02(n-1) + 1.76 = 44$ dB. Podemos asumir o imaginar que los sistemas de adquisición con sobremuestreo (oversampling) y otras "magias" digitales elevan esta SNR hasta los valores reseñados (y medidos) por Sony y Panasonic de 55 dB aprox. [La verdad es que esto no está muy bien justificado que digamos].

El valor de SNR no es aplicable cuando se hacen copias digitales. Usando el Firewire se obtiene "clónicos" del original. Tampoco es un factor cuando se crean transiciones, títulos, etc ya que la conversión al espacio RGB de 24 bits y viceversa es una manipulación matemática con resultados predecible. [¿ Seguro ?]

4:1:1 [4:2:0] Chroma Key Incertidumbre

Asumiendo todo lo anterior, referente a la equivalencia entre el 4:1:1 del miniDV (NTSC) y del Betacam SP, el problema de la incertidumbre espacial de las muestras de color , permance sin aclarar. Un primer vistazo del dibujo anterior podría llevar a la conclusión de que la incertidumbre en las muestras de un espacio RGB de una fuente 4:1:1 sería el doble que la de una fuente tipo 4:2:2 [vamos, que el DV es el doble de peor o menos resolutivo en cuanto al color, que el D-1 4:2:2]. Sin embargo, esto no es necesariamente cierto, ya que la definición de luminancia, en función de las componentes RGB , tiene en cuenta la sensibilidad humana a los diferentes colores. [El ojo es más sensible a los amarillos-verdosos]. La definición es : $Y = 0.299R + 0.587 G + 0.114 B$. [Vemos como el verde (G=green) está más ponderado.]

Un calculo de la "incertidumbre" tomando el verde como color de referencia nos da, para el 4:1:1 un valor de 2.761 y para el 4:2:2 , 3.174 [no es "el doble" como presuponíamos].

Un cálculo más preciso, nos lleva a la conclusión de que la "incertidumbre" [o error de color] es de un 15% mayor para los sistemas que muestrean con la relación 4:1:1 sobre los sistemas de referencia 4:2:2 y muy parecido al que proporciona el Betacam SP.

La compresión DV y sus defectos (artifacts)

[Recordad que el estandar DV comprime con una relación 5:1. El estandar D-1, no comprime y el Betacam SP, es analógico, por tanto, sin compresión]

La compresión DV y sus defectos ha generado bastantes polémicas. La primera, es sobre el "efecto escalera" que se puede observar en algunas ocasiones.



Figura 2. 200 x 300 pixel, trozo de una captura que muestra "luma undershoot (arriba)" y "escalones" (abajo) tomada con una Sony DCR-VX1000 durante un zoom y con autofocus apagado.

Este "dramatico" efecto aparece ocasionalmente, con imágenes bien iluminadas y de alto contraste, en tomas con un ángulo de unos 15 grado con la horizontal. Movimientos relativos, como un zoom, incrementa la posibilidad de ocurrencia. Otros intentos de repetir el fenómeno no han tenido éxito. Suelen ser defectos de implementación del CODEC, no del sistema en sí mismo.

Otros defectos más sutiles aparecen en la parte de alta frecuencia de la imagen ["mosquito noise"]. Se dá en imágenes con hojas de árboles en el fondo, cespéd en movimiento, etc. La compresión DTC (Discrete Cosine Transform) rechaza la información de más alta frecuencia [el detalle], que los ojos poco entrenados apenas notan. El efecto es un "mosaico cuadrado" de 8x8 pixels. Es un defecto dado por el alto ancho de banda de la señal de luminancia.

Para alcanzar una compresión DV de 5:1, con una velocidad binaria constante de 25 Megabits, el sistema usa "cuantización adaptativa". Figura 3 demuestra que la palabra "Ishmael" en la portada del libro (a 6 metros de la cámara) y "Abiding ..." en el poster (a pesar del reflejo) son perfectamente legibles. La claridad de la imagen es muy buena, considerando que la Sony VX1000 usa las lentes y CCD , no tan buenas, de la vieja y venerable Sony Hi8 VX3. [De lo que se entera uno ...]



Figura 3. 320 x 260-píxel trozo de una captura con la CR-VX1000 mostrando detalles de alta frecuencia en un libro y un poster.

¿Cuánta compresión es "demasiada compresión" ?

Mucha gente contraria al DV, dice de forma arbitraria que una compresión 5:1 es "demasiado" para teledifusión y videos profesionales. Pero Sony está proponiendo un sistema con mucha más compresión para equipos de alta gama. Betacam SX, así se llama, es un sistema con compresión MPEG-2 derivado del estándar MPEG-2 4:2:2. El objetivo es reemplazar al Betacam SP. Es la competencia del Panasonic DVCPRO, adoptado recientemente por varias cadenas importantes, tales como la CBS para tareas de reportajes en vivo y noticias. Betacam SX usa cuantización adaptativa y un sistema especial de MPEG-2 con "frames" I y B. Al final, obtiene 18 Mbits con un muestreo 4:2:2. Parece como si los 18 Mbits hubieran sido adaptados para que cupiesen dos canales en un solo transpondedor de un satélite. Un simple cálculo nos da una compresión 7:1, pero uno más detallado teniendo en cuenta que utiliza 4:2:2 nos da un resultado de 9.25:1. El uso de "frames" B durante la compresión [compresión interframe, como en el DVD. La compresión DV no es interframe, es intraframe, sin tener en cuenta el parecido con fotogramas anteriores o posteriores] y el hecho de que el audio también va comprimido [no así en DV o miniDV] le deja un poco más de margen, pero al final, parece que la compresión es superior al 5:1 del DV. Sony Europe dice en su web sobre Betacam SX que "DV está diseñado para un uso profesional "de empresa", donde la "calidad de teledifusión" no es un requisito fundamental". Si el formato DV no proporcionase "calidad de teledifusión", ¿por qué la CBS lo ha aceptado para sus emisiones y reportajes?

El sistema Digital-S de JVC y el nuevo DVCPRO-50 de Panasonic, usan compresión 3.3 (en vez de 5) y un muestreo tipo 4:2:2 con una velocidad binaria de 50 Mbps [el doble que el DV, miniDV]. Estos sistemas tratan de competir con el Betacam Digital de Sony (que usa una compresión 2:1, 4:2:2). Los precios de Digital-S y DVCPRO-50 deben ser similares al Betacam SP [los precios de Betacam Digital deben ser mayores, intuyo yo] [No confundir Betacam Digital con Betacam SX]

Hablemos de dinero

Muchas de las comparaciones entre DV y Betacam SP, en realidad han comparado las ópticas y CCD en vez del sistema en sí. Comparar los resultados de una cámara miniDV Sony VX1000 (3000\$) con una Betacam SP DXC-637 (21.000 \$) equipada de una lente Fujinon (15.000 \$) es un absurdo.

La adquisición y edición de video, debe tener en cuenta la relación precio/prestaciones. Cámaras profesionales con lentes de calidad salen por más de 20.000\$ mientras que una miniDV de alta gama, sale

por los 3000\$. Los grabadores digitales D-1 salen por la astronómica cifra de 150.000\$. Las cámaras Betacam Digital están en los 50.000\$ mientras que los sistemas de edición Betacam se adquieren por 11.000\$. Los videos miniDV salen por solo unos 3.500\$ y los DVCAM por 4000\$. Las cintas miniDV son bastante más baratas que las Betacam SP.

El formato DV [y miniDV] ofrece una relación precio/prestaciones imbatible. La producción en masa de cámaras y VCR miniDV se traduce en un abaratamiento de los sistemas profesionales, ya que usan muchos componentes similares. Como ejemplo, el video DV doméstico de Sony DHR-1000 sale casi igual de precio que el profesional DVCAM DSR-30. Al final, la presión de los bajos precios dará la razón al DV, sobre todo cuando los Koreanos empiecen la fabricación en masa de productos DV.

Note: Sony se aprovecha muy bien de los componentes comunes entre DV y DVCAM, ya que solo se diferencian en el ancho de las pistas (15 micras frente a 10 del miniDV). Según Sony, se necesitan 15 micras para la edición, etc, pero todo apunta a que el motivo es una más fiable intercambiabilidad de la cinta en diferentes equipos.

El IEEE-1394 (FireWire) incrementa "dramáticamente" la relación prestaciones/precio de los sistemas de edición no-lineal [que nos lo digan a nosotros, haciendo edición no lineal por dos duros]. Se evitan los caros conversores analógico/digital. Además, la velocidad binaria de 3.6 Mbits del DV está dentro de los márgenes de los discos SCSI. Recientemente [1998] se ha demostrado que se puede capturar a discos IDE Ultra DMA sin problemas.

Actualmente [¿1998?], virtualmente todas las emisoras de TV, productoras, agencias de noticias y publicidad y servicios de duplicación, aceptan Betacam SP. Muy pocas emisoras y, menos aún, agencias, tienen equipos DV o DVCPRO. Los primeros en comprar equipos DV serán los servicios de duplicación. Más tarde, las cadenas locales de TV. Las agencias, tal como demuestra la historia, serán los últimos en aceptar el DV (tal como se resistieron a aceptar el Betacam SP).

Sony está viendo claro que los sistemas de video DV son una amenaza para su Betacam SP. Su respuesta, es un sistema propietario (no un sistema estándar) llamado Betacam SX (MPEG-2) sin interface Firewire (usa la profesional SDDI). Pero también ofrece su DVCAM. El escenario más probable, es que el Betacam SX se quede reducido a ciertos "nichos" de mercado y los DV (DVCAM, DVCPRO, miniDV) se impongan. EL tiempo lo dirá.

En mayo del 1997, las cadenas americanas estaban haciendo el doble de pedidos sobre DVCPRO que sobre Betacam Digital. Ver la tabla adjunta.

1998 Rank	1997 Rank	1996 Rank	VTR Recording Format	% Facilities Purchasing
1	2	4	DVCPRO (D7)	44%
2	4	2	Digital Betacam	22%
3	1	1	Betacam SP	19%
4	7	-	DVCAM	17%
4	3	3	S-VHS	17%
6	5	8	Betacam SX	15%
7	9	7	Consumer DV	11%
8	6	8	Digital-S	7%
8	-	-	HD D5	7%
10	8	5	U-matic SP	4%

10	–	–	D5	4%
----	---	---	----	----

Television Broadcast (mayo 98) incluye un informe sobre la [Canon XL1 Camcorder](#). El autor la ha usado durante un par de semanas, tanto en interiores como en exteriores y tomas complicadas. La XL-1 es claramente superior a la Sony VX1000, tanto en imagen como en sonido. Incluso bate a la versión pro de la VX1000 [DSR200 DVCAM camcorder](#), que usa las lentes y CCD de la VX1000. La XL-1 tiene un diseño muy ergonómico, con todos los controles a mano, pero son las lentes intercambiables Canon, las que marcan la diferencia. También incluye un estabilizador de imagen óptico, increíblemente efectivo. Esta cámara, puede reemplazar a las Betacam SP en productoras y cadenas de TV con presupuestos ajustados.

Acknowledgments: FireWire® is a registered trademark of Apple Computer, Inc. Betacam, Betacam SP, and Betacam SX are trademarks or registered trademarks of Sony Corp. 24-bit color screen captures were made with a DPS Spark DV2000 (Adaptec AHA-8940) FireWire adapter card.