

# Digitalització del senyal de televisió

Javier Gago Barrio

PID\_00196632



*Els textos i imatges publicats en aquesta obra estan subjectes –llevat que s'indiqui el contrari– a una llicència de Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada (BY-NC-ND) v.3.0 Espanya de Creative Commons. Podeu copiar-los, distribuir-los i transmetre'ls públicament sempre que en citeu l'autor i la font (FUOC. Fundació per a la Universitat Oberta de Catalunya), no en feu un ús comercial i no en feu obra derivada. La llicència completa es pot consultar a <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/legalcode.ca>*

# Índex

<b>Introducció</b> .....	5
<b>1. Inici de la televisió digital</b> .....	7
1.1. Avantatges i aplicacions de la televisió digital .....	7
1.2. Opcions de digitalització estàndard .....	8
<b>2. Digitalització del senyal de vídeo segons la norma CCIR 601</b> .....	10
2.1. Filtratge antialiàsing .....	11
2.1.1. Elecció dels senyals que s'han de digitalitzar .....	11
2.1.2. Necessitat del filtre antialiàsing .....	11
2.1.3. Disseny del filtre antialiàsing .....	12
2.2. Mostreig .....	12
2.2.1. Elecció de la freqüència de mostreig .....	13
2.3. Quantificació .....	15
2.3.1. Rang dinàmic dels senyals de crominància .....	16
2.3.2. Ajust al rang dinàmic d'1 V .....	18
2.3.3. Nombre de bits per mostra .....	19
2.4. Codificació .....	19
2.5. Distribució de mostres per línia en la norma 4:2:2 i altres .....	20
2.5.1. Multiplexatge de dades .....	22
2.5.2. Normativa 4:2:2 CCIR-601 .....	23
2.5.3. Altres formats de mostres (4:2:0, 4:1:1) .....	24
2.5.4. Formats SIF, CIF i QCIF .....	25
<b>3. Normes SMPTE per a interfícies de senyal de vídeo digital</b> ....	26
3.1. Interfícies digitals de connexió entre equips de vídeo .....	26
3.2. Interfície paral·lela SMPTE 125M .....	27
3.2.1. Distribució dels bytes en una línia activa .....	28
3.3. Interfície en sèrie SMPTE 259M. Senyal SDI .....	29
3.3.1. Convertidor SDI .....	30
3.3.2. Distribució de paraules de dades per línia en SDI de nivell C .....	31
3.3.3. Distribució de paraules de dades per línia en SDI de nivell D .....	33
3.3.4. Diferències entre transmissió en paral·lel i en SDI .....	34
3.4. Àudio digital en el senyal SDI .....	34
3.4.1. Estàndard d'àudio SMPTE 272M .....	34
3.5. Formats de televisió digital segons la qualitat d'imatge .....	36
<b>Bibliografia</b> .....	39



## Introducció

En aquest mòdul es volen mostrar els avantatges que ofereix la televisió digital enfront de l'analògica i descriure el procés de digitalització del vídeo que converteix els tres formats analògics incompatibles entre ells en un de digital universal, detallant com és la interfície de transport per cable de la informació digital de televisió. També es descriuen els diferents formats de televisió digital amb qualitat estàndard i d'alta definició, i per a diferents relacions d'aspecte de les pantalles en què es reproduceix.

En la figura 1 s'indica el bloc de la cadena televisiva que es desenvolupa en aquest mòdul:

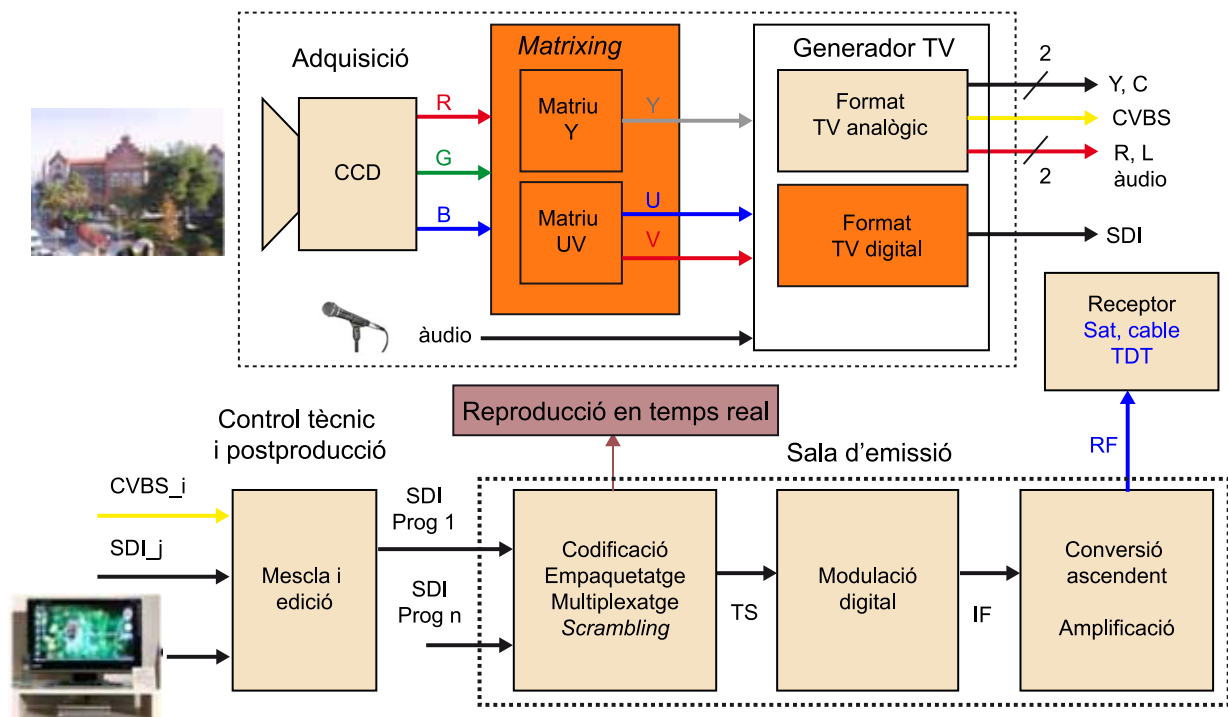


Figura 1. Cadena televisiva. En taronja s'indiquen els blocs que es desenvolupen en aquest mòdul.

La digitalització del senyal de televisió analògica ofereix nombrosos avantatges a l'hora de processar i afegir serveis a la informació multimèdia. Des de bastant temps abans d'estandarditzar la transmissió de la televisió digital, els estudis professionals de vídeo i de televisió usaven algun dels formats digitals següents per a gravar i editar els senyals de vídeo:

- D1. Es digitalitzava el senyal en components.
- D2. Es digitalitzava el senyal en vídeo compost.

Amb vista a una compatibilitat del senyal entre diferents estàndards analògics, es va optar per desenvolupar estàndards basats en el format D1. Per raons d'optimització d'amplada de banda, i de minimització dels efectes que produeixen els errors de transmissió, és preferible digitalitzar els components YUV en lloc dels RGB. D'aquesta manera, s'obté un senyal en sèrie estàndard que es transmet per cable coaxial, la interfície del qual es denomina *SDI (serial digital interface)*. No obstant això, en estudis professionals en què no hi ha limitacions en l'amplada de banda i les distàncies són prou curtes perquè no hi hagi problemes d'errors en la comunicació, es pot optar per digitalitzar amb més qualitat a partir dels components RGB.

La facilitat de maneig dels senyals digitals ha permès elaborar estàndards que unifiquen els diferents formats analògics (NTSC, SECAM, PAL, etc.) en un únic format digital, amb variants com, per exemple, el nombre de bits emprats.

## 1. Inici de la televisió digital

Històricament la televisió digital es va plantejar com una digitalització del senyal analògic que ja existia. Molts anys abans de la implantació de la transmissió digital de televisió, els professionals del vídeo i dels estudis de televisió usaven formats digitals per a gravar i editar senyals de vídeo, la qual cosa permetia gravar infinites còpies sense degradar la qualitat del senyal i crear efectes especials impossibles d'imaginar en format analògic. La digitalització del senyal també facilita l'intercanvi de continguts audiovisuals arreu del món independentment de l'estàndard que usi cada país per a difondre el senyal (NTSC, PAL, SECAM, etc.).

L'únic inconvenient del senyal digital era la gran amplada de banda que necessitava, a causa de la gran quantitat de bits per segon necessaris per a obtenir una qualitat acceptable. No obstant això, el progrés tecnològic de les últimes dècades ha permès disposar de tècniques de compressió i modulació de dades que han fet possible la difusió del senyal de televisió digital amb una qualitat superior a l'analògica i amb prestacions molt superiors per a l'usuari final.

### 1.1. Avantatges i aplicacions de la televisió digital

Els avantatges principals que ofereix l'ús de senyals digitals enfront de l'ús de senyals analògics són els següents:

- El senyal es pot emmagatzemar sense pèrdues i és robust al soroll.
- Hi ha processos que solament es poden dur a terme en digital, com per exemple els relacionats amb la memorització de línies i camps.
- El processament digital és, en general, més econòmic que l'analògic.
- Permet separar luminància i crominància.
- S'amplia l'amplada de banda de resolució de la imatge.
- Millora la qualitat del so.
- Permet la interactivitat entre l'usuari i l'empresa generadora de continguts.

Hi ha tres camps en què la introducció de la televisió digital ha tingut una incidència especial:

- La producció de programes, des de l'adquisició fins a la postproducció de les imatges.
- La transmissió o enllaços punt a punt amb radioenllaços o satèl·lits de telecomunicació des dels centres productors de televisió fins a les emissores de difusió directa als usuaris.

- Emissió o difusió directa al públic mitjançant satèl·lits de radiodifusió, distribució per cable i per terra, etc.

## 1.2. Opcions de digitalització estàndard

En el trànsit de la televisió analògica a la digital s'han considerat dues opcions:

- La codificació del senyal compost (format digital D2).
- La codificació del senyal en components (format digital D1).

La diferència entre aquestes dues opcions es pot veure en la figura 2:

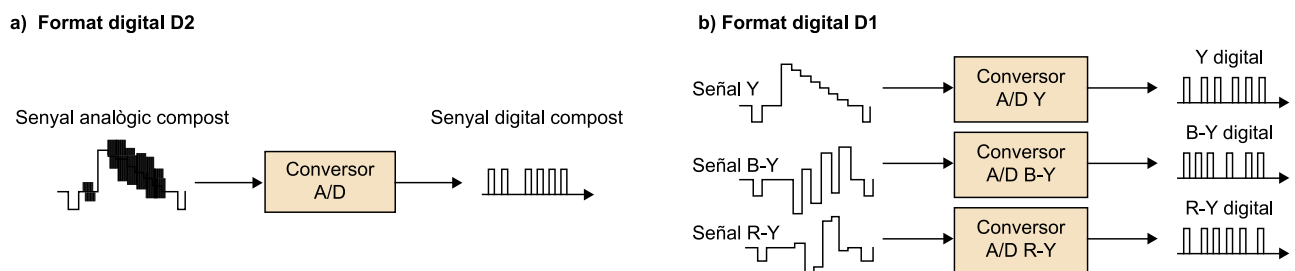


Figura 2. Digitalització del senyal de televisió

Per a aprofitar tots els recursos obtinguts amb els processos analògics, tant tècnics com humans, era millor apostar pel format en vídeo compost D2. No obstant això, aquest presenta greus inconvenients deguts principalment a la incompatibilitat entre senyals PAL, NTSC i SECAM.

D'altra banda, el format D2 no resol el problema de la interferència entre luminància i crominància que es dona en el format analògic, ja que es digitalitza el senyal compost.

A més, encara que les operacions de fosa, barreja i encadenament de vídeo es puguin fer senzillament en format D2 amb senyals NTSC i PAL, no és possible fer-les amb senyals SECAM. Per a senyals NTSC i PAL, en els quals els components en color estan modulats en amplitud, n'hi ha prou de multiplicar les mostres per un coeficient i sumar-les. Mentre que amb SECAM, per la seva modulació en FM, és necessari descompondre prèviament el senyal en components Y, R-Y, B-Y.

Totes aquestes raons han fet que finalment s'aposti pel format D1 de digitalització en components. D'aquesta manera s'aconsegueix una compatibilitat total regulant internacionalment els paràmetres de mostreig, codificació i descodificació. En aquest sentit hi ha la norma CCIR 601, també coneguda com a ITU-R 601, per a digitalitzar la televisió amb format 4:2:2, que veurem més endavant, i la norma CCIR 656, que defineix la interfície d'aquests senyals.



Els estudis de televisió analògics han evolucionat cap a la digitalització total (format D1) a mesura que han incorporat equips digitals de processament d'imatge. No obstant això, els primers passos van consistir a digitalitzar les fonts analògiques en format D2 per a aplicar processos digitals. Aquests es combinaven amb altres processos analògics ja establerts, per als quals encara no es disposava d'equips digitals equivalents. L'esquema del tractament d'imatges en aquella època de transició es presenta en la imatge següent:

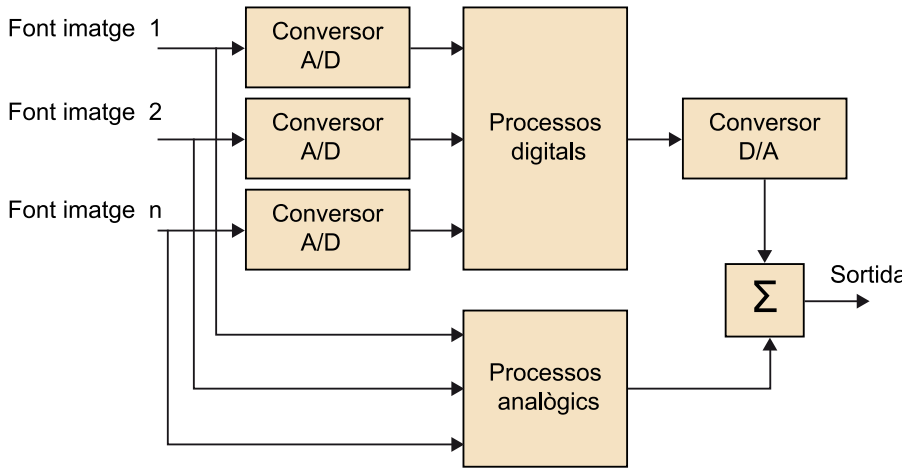


Figura 3. Tractament de senyals analògics durant la transició a digital amb format D2

En els apartats següents es descriu tot el procés de digitalització en format de components D1 i la normalització CCIR del senyal digital obtingut.

## 2. Digitalització del senyal de vídeo segons la norma CCIR 601

La digitalització de qualsevol senyal analògic passa per tres processos:

- Mostreig
- Quantificació
- Codificació

En el cas de la televisió, en manejar tres senyals, també es requereix un multiplexatge temporal i, per a completar el procés, al flux de dades de vídeo obtingudes s'han d'afegir les corresponents a la sincronització de línia i camp, l'àudio digital i altres dades auxiliars que permetin operacions extra sobre el senyal (teletext, codificació per a canals de pagament, interactivitat amb l'usuari, etc.). L'esquema global del procés de digitalització es mostra a continuació:

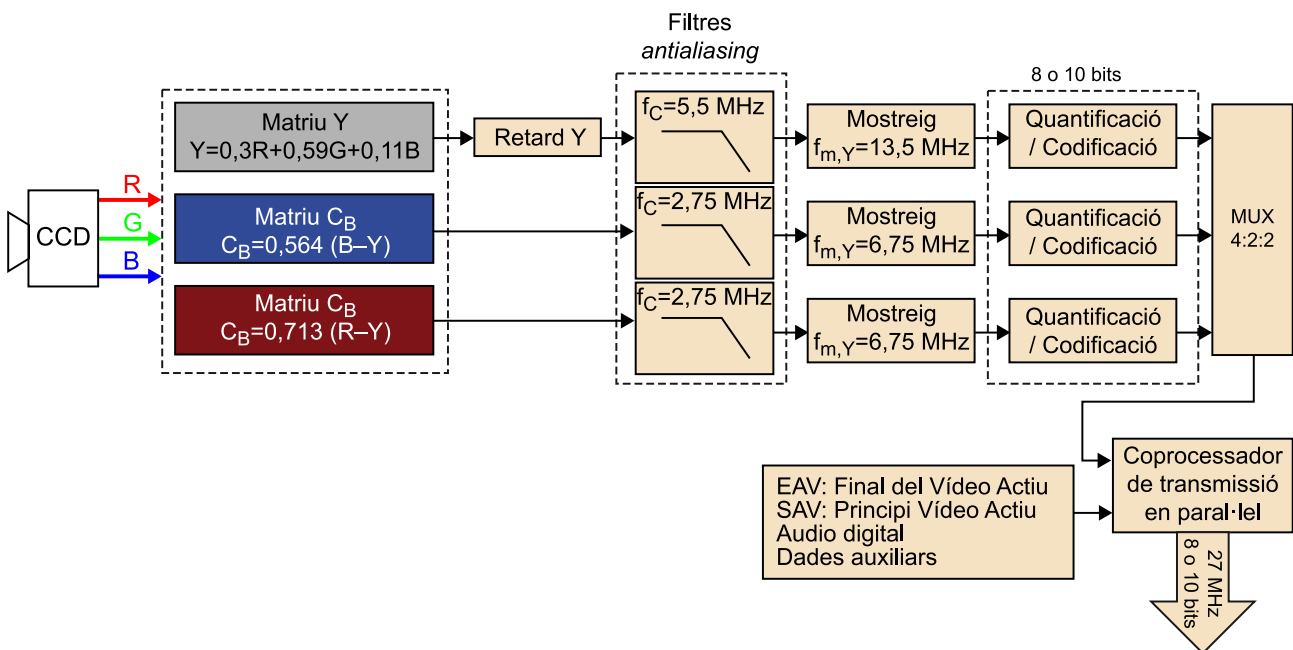


Figura 4. Esquema de la digitalització en components del senyal de televisió segons la norma CCIR 601 (4:2:2)

Els sistemes electrònics que fan aquestes funcions estan integrats en tots els equips de vídeo que tinguin sortida digital, com càmeres de televisió, reproductors multimèdia, receptors de televisió, ordinadors, etc. En qualsevol cas, és necessari conèixer els paràmetres de disseny d'aquests sistemes i, per això, es descriuen a continuació.

## 2.1. Filtratge antialiàsing

El primer pas consisteix a filtrar el senyal analògic per a evitar la superposició (aliàsing) en el procés posterior de mostreig. No obstant això, abans de dissenyar el filtre antialiàsing, cal escollir el tipus de senyal en components que es digitalitzarà: els RGB o els YUV.

### 2.1.1. Elecció dels senyals que s'han de digitalitzar

La digitalització en components, tant si és en els originals RGB com si es tracta de les matriciadas YUV, elimina el problema d'interferències entre luminància i crominància, perquè es tracten per canals diferents. No obstant això, la suma de l'amplada de banda dels tres components és més gran que l'amplada de banda del senyal en vídeo compost. Per això, el senyal digital tindrà més resolució, però s'ha de conèixer el valor de l'amplada de banda per a poder implementar correctament el filtre antialiàsing.

Cada senyal RGB necessita 5,75 MHz; els YUV necessiten 5,5 MHz per a la luminància Y i 2,75 MHz per a cadascun dels components de crominància, U i V.

D'altra banda, tal com es descriu més detalladament en l'apartat "Reducció d'errors en transmetre diferència de colors" del mòdul "Televisió analògica", els senyals RGB són més sensibles als errors de transmissió que els senyals YUV. Concretament, una atenuació de dos dels senyals que no afecti de la mateixa manera el tercer provoca errors de luminància, saturació i tint en senyals RGB. No obstant això, en segons quins casos, solament provoca errors de saturació de color en YUV, però no de tint, que són els més apreciats per l'espectador. Per tots aquests motius, es va optar per digitalitzar els senyals YUV.

### 2.1.2. Necessitat del filtre antialiàsing

En mostrejar els components de vídeo, l'espectre freqüencial del senyal s'expandeix al llarg de tot l'eix freqüencial, i tots els seus components es repeteixen a múltiples de la freqüència de mostreig.

Per a evitar mostrejar el soroll d'alta freqüència del senyal i que distorsioni l'espectre del senyal mostrejat, s'ha d'implantar un filtre antialiàsing que limiti l'amplada de banda a mostrejar a l'amplada de banda del senyal de vídeo (figura 5). D'aquesta manera, quan es reproduïx el senyal analògic es podrà recuperar el senyal original, una vegada s'hagi filtrat amb un filtre passabaix en el convertidor digital-analògic (D/A).

#### Aliàsing

L'aliàsing és la superposició de les bandes espectrals d'un senyal digitalitzat que es produeix quan la freqüència de mostreig és inferior al doble de l'amplada de banda del senyal analògic original.

#### Nota

Els motius són similars als aduïts per a triar-los per a la transmissió en la televisió analògica en color.

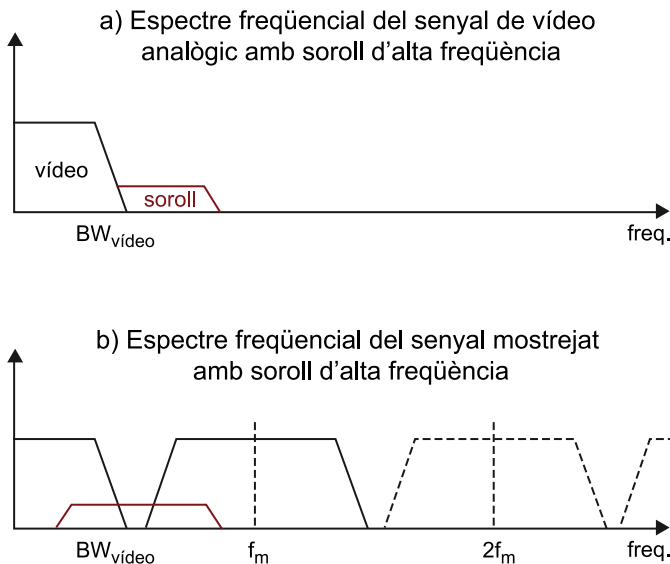


Figura 5. Efecte del soroll d'alta freqüència del senyal de vídeo en la seva digitalització

### 2.1.3. Disseny del filtre antialiàsing

Les característiques del filtre antialiàsing han de tenir en compte, a més de l'efecte aliàsing, altres efectes com la relació senyal-soroll o les sobremodulacions. La recomanació de la UER (Unió Europea de Radiotelevisió) és que els filtres per a la luminància (Y) i per la crominància (U i V) s'ajustin a les plantilles de la figura 6:

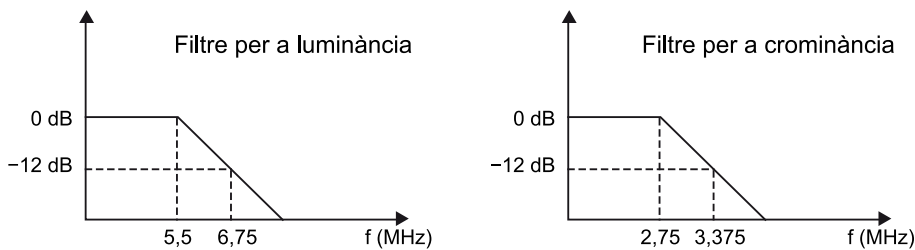


Figura 6. Plantilles per als filtres de luminància i crominància segons la UER

## 2.2. Mostreig

Encara que es parli de senyals YUV, els components que es digitalitzen són, en realitat, els senyals Y,  $C_R$  i  $C_B$ , essent aquests dos últims:

$$C_R = K_R \cdot (R - Y) \quad C_B = K_B \cdot (B - Y) \quad (1)$$

Els coeficients ponderadors  $K_R$  i  $K_B$  tenen valors diferents dels de PAL, NTSC i SECAM. També s'ha de decidir el nombre de mostres que es prendran d'una imatge. Com ja hem comentat, la televisió digital es dissenya perquè sigui compatible en tots els països i sistemes. La norma CCIR 601 indica que es prenguin 702 mostres per línia i 576 línies per imatge. Això ens dona un total de  $702 \times 576 = 414.720$  mostres per imatge (figura 7):

**Vegeu també**

En l'apartat "Elecció de la freqüència de mostreig" es calculen aquests valors a partir de les condicions de codificació.

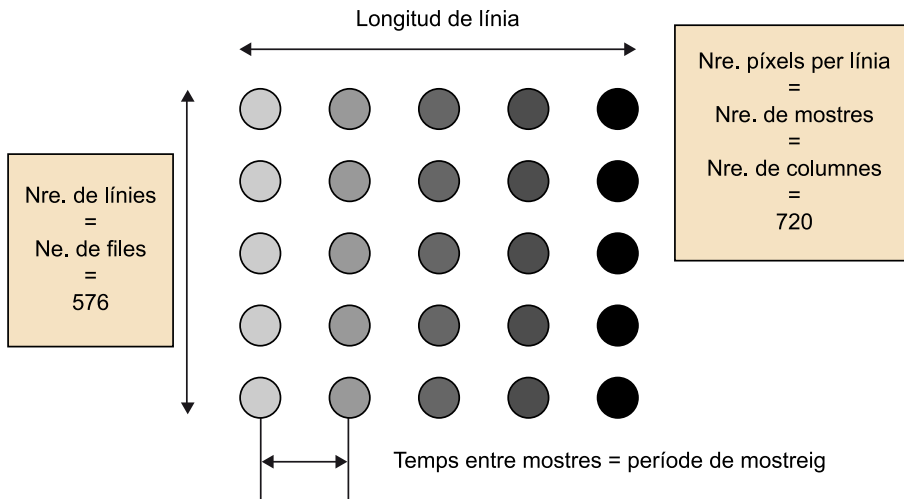


Figura 7. Nombre de mostres per imatge

Finalment, cal fer coincidir el temps que es triga a prendre les mostres d'una línia amb el temps de línia d'un senyal de vídeo analògic. Com que el temps de línia és diferent en cada sistema analògic (PAL, NTSC i SECAM), la condició és que el temps de mostres d'una línia ha de ser inferior als tres temps de línia analògics. Per a això cal escollir correctament la freqüència de mostreig que determinarà el temps de mostreig o temps entre mostres.

### 2.2.1. Elecció de la freqüència de mostreig

La freqüència de mostreig ha de complir tres condicions:

- **Criteri de Nyquist** per a evitar aliàsing. Segons el criteri de Nyquist, és obligori que la freqüència de mostreig sigui igual o superior al doble de l'amplada de banda del senyal que es vol mostrejar. Si aquest criteri no es compleix, i atès que l'espectre freqüencial del senyal mostrejat es repeteix a cada freqüència de mostreig, es produeix un fenomen d'aliàsing de les bandes de l'espectre repetit.

$$f_m \geq 2 \cdot BW_{video} \quad (2)$$

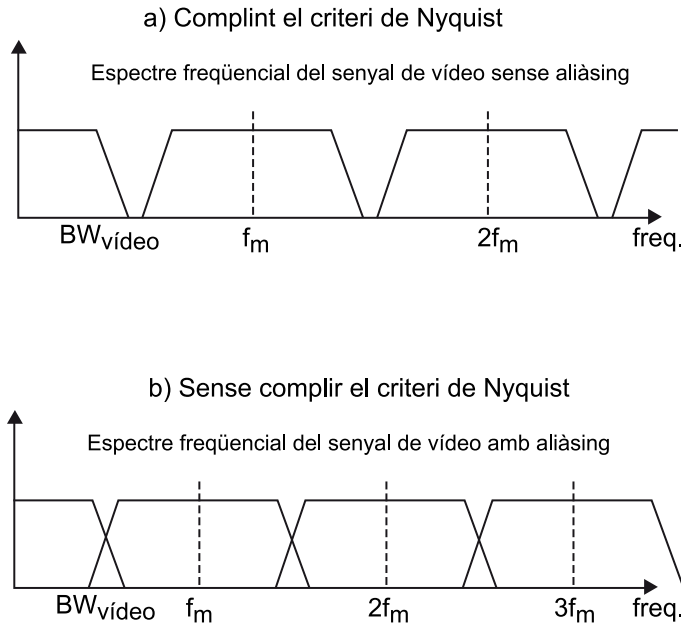


Figura 8. Espectre del senyal mostrejat

Dels tres sistemes analògics, el que utilitza una amplada de banda més gran per als seus senyals de vídeo és el SECAM, amb 6 MHz, ja que modula la crominància en FM en lloc d'AM. Per tant, la freqüència de mostreig ha de complir:  $f_m \geq 12 \cdot \text{MHz}$

- **Mostreig ortogonal** per a evitar la sensació de desplaçament entre imatges. Per a facilitar el maneig en el processament digital de les imatges, el mostreig ha de ser ortogonal, és a dir, ha de complir les condicions següents:
  - El nombre de mostres per línia ha de ser igual en totes.
  - Cada mostra ha d'estar situada al mateix lloc en cada línia de la imatge.
  - Cada mostra ha d'estar situada al mateix lloc en cada imatge.

Per a complir la condició de mostreig ortogonal, la freqüència de mostreig ha de ser múltiple de la freqüència de línia. És a dir, hi ha d'haver un nombre enter  $n$  de mostres equiespaiades per línia:  $f_m = n \cdot f_L$ .

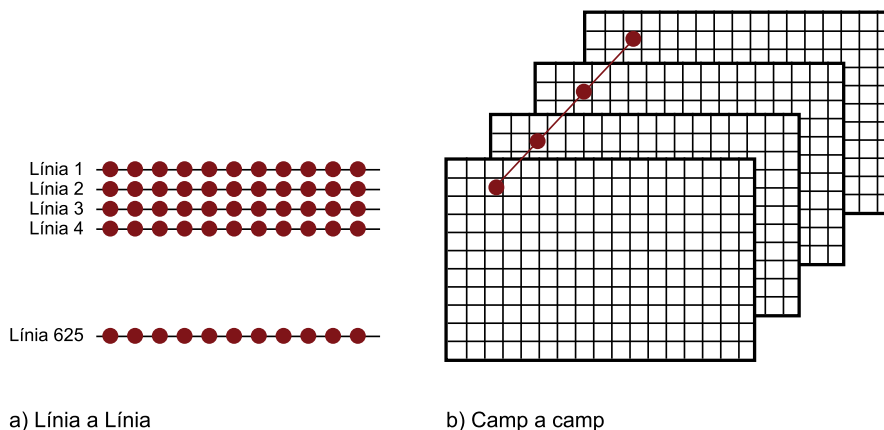


Figura 9. Mostreig ortogonal dels senyals de vídeo

- **Caràcter universal** que asseguri la compatibilitat entre tots els sistemes de televisió. Basant-nos en la condició anterior, s'ha de buscar un múltiple de les freqüències de línia dels tres sistemes analògics (PAL, NTSC i SECAM) per a complir amb el mostreig ortogonal i la compatibilitat entre sistemes o caràcter universal.

Hi ha dues normes diferents quant al nombre de línies per pantalla que determinen dues freqüències de línia diferents. Una és la que representa al PAL i al SECAM amb 625 línies, i una altra la que utilitza l'NTSC amb 525 línies. Per tant, s'ha de buscar un múltiple de les dues freqüències de línia següents:

- $f_{L,PAL} = 15.625 \text{ Hz}$  (PAL i SECAM)
- $f_{L,NTSC} = 15.734,265732 \text{ Hz}$  (NTSC corregit per a facilitar l'entrellaçament d'espectres en blanc i negre, color i so)

Amb un error inferior al  $2,7 \times 10^{-8}\%$ , el mínim comú múltiple d'aquests dos valors seria 2,25 MHz. Per tant, i tenint en compte que la freqüència de mostreig ha de ser superior a 12 MHz per a complir el criteri de Nyquist en els tres sistemes, un valor que compleix també el caràcter universal seria:  $f_m = 6 \cdot 2,25 \text{ MHz} = 13,5 \text{ MHz}$ .

Aquest valor correspon a 858 vegades la freqüència de línia en el sistema NTSC i a 864 vegades la freqüència de línia en els sistemes PAL i SECAM:

$$6 \cdot 143 \cdot f_{L,NTSC} = 858 \cdot f_{L,NTSC} = 13,5 \text{ MHz} \quad (3)$$

$$6 \cdot 144 \cdot f_{L,PAL} = 864 \cdot f_{L,PAL} = 13,5 \text{ MHz} \quad (4)$$

Això vol dir que el sistema NTSC admet 858 mostres per línia i els sistemes PAL i SECAM, 864. Però per complir la compatibilitat entre els tres, el nombre de mostres actives ha de ser inferior a aquests números. Concretament, com s'ha dit més amunt, la normativa dedica 720 mostres a la línia activa, la resta de mostres en cada sistema es dedicaran a dades auxiliars, so i capçaleres de principi i final de línia. Així mateix, la normativa indica que s'usin 576 línies.

### 2.3. Quantificació

Una vegada s'ha mostrejat el senyal s'ha de quantificar; és a dir, s'ha de definir un marge dinàmic i discretitzar el valor de la mostra al valor més proper dins del conjunt de valors possibles segons el nombre de bits. En la figura 10 es veu la corba de quantificació uniforme (tots els passos de quantificació són iguals) d'un senyal bipolar (amb valors positius i negatius).

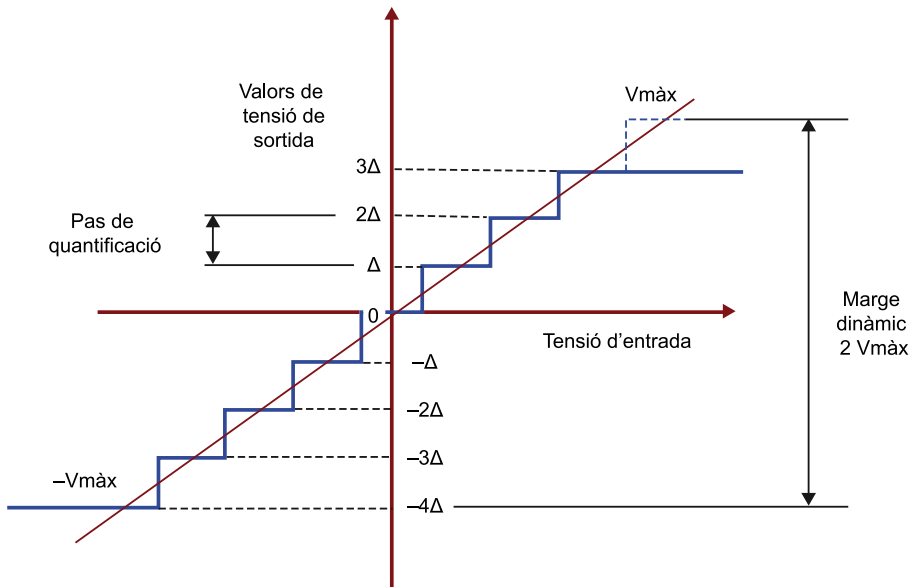


Figura 10. Corba de quantificació uniforme d'un senyal bipolar

Per a quantificar les mostres de senyal, primer s'han de calcular els coeficients ponderadors dels senyals de diferència de color ( $K_R$  i  $K_B$ ) definits en l'equació (1).

Com s'ha vist, els valors dels senyals analògics  $Y$ ,  $R$  i  $B$  varien entre 0 i 1 V. Això vol dir que el valor mínim de la luminància  $Y$  és 0 V ( $Y_{\min} = 0$ ), i el valor màxim és 1 V ( $Y_{\max} = 1$ ). No obstant això, els senyals de diferència de color ( $R-Y$  i  $B-Y$ ) no varien entre 0 i 1, ja que el valor de  $Y$  depèn dels valors de  $R$  i  $B$ . En l'apartat següent veurem en quin rang de valors es troben  $R-Y$  i  $B-Y$ .

### 2.3.1. Rang dinàmic dels senyals de crominància

A partir del diagrama de colors de la figura 11 s'observa que el color complementari del vermell és el cian, i el del blau, el groc.



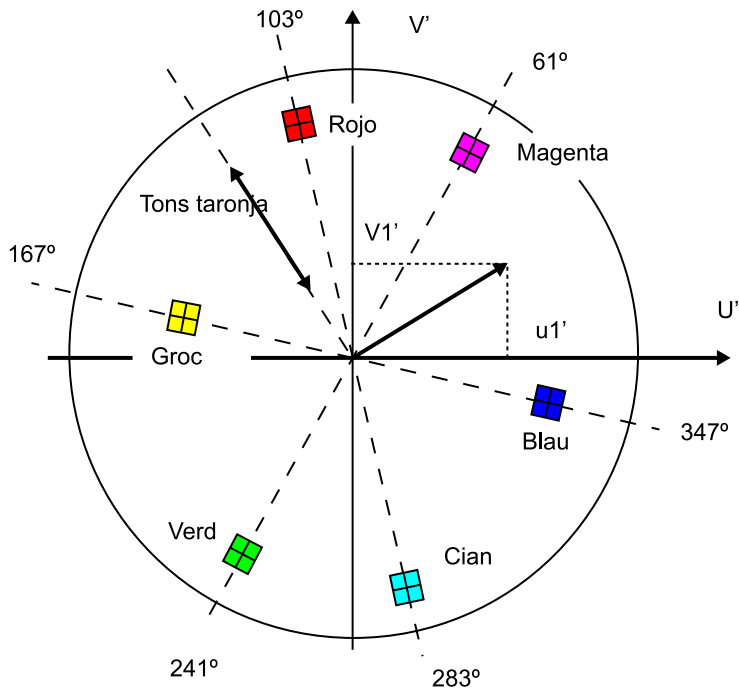


Figura 11. Diagrama polar de colors

El valor màxim de R-Y s'obté quan representem un vermell saturat. Per a això el senyal R ha de valer 1V i els senyals G i B, 0 V. A partir d'aquests valors, la luminància Y val:

$$y_{R_{\text{sat}}} = 0.3 \cdot R_{R_{\text{sat}}} + 0.59 \cdot G_{R_{\text{sat}}} + 0.11 \cdot B_{R_{\text{sat}}} = 0.3 \cdot 1 + 0.59 \cdot 0 + 0.11 \cdot 0 = 0.3 \quad (5)$$

El valor de R-Y amb vermell saturat val:

$$(R - Y)_{R_{\text{sat}}} = R_{R_{\text{sat}}} - Y_{R_{\text{sat}}} = 1 - 0.3 = 0.7 \quad (6)$$

Els valors dels coeficients en l'expressió de Y estan ajustats a dos decimals. Si es consideren tots els decimals, el valor de  $(R-Y)_{\text{sat}}$  és de 0.701 V. Aquest serà el valor màxim de R-Y, és a dir:

$$(R - Y)_{\text{max}} = 0.701 \quad (7)$$

Segons el diagrama de colors, el valor mínim de R-Y s'obté quan representem un cian saturat. En aquest cas R-Y val justament el valor oposat al del vermell saturat, és a dir:

$$(R - Y)_{\text{min}} = -0.701 \quad (8)$$

Si repetim el procés per al senyal B-Y, el blau saturat implica que el senyal B val 1 V, i els senyals R i G, 0 V. La luminància en aquest cas val:

$$Y_{B_{\text{sat}}} = 0.3 \cdot R_{B_{\text{sat}}} + 0.59 \cdot G_{B_{\text{sat}}} + 0.11 \cdot B_{B_{\text{sat}}} = 0.3 \cdot 0 + 0.59 \cdot 0 + 0.11 \cdot 1 = 0.11 \quad (9)$$

El valor de B-Y amb blau saturat val:

$$(B - Y)_{B_{\text{sat}}} = B_{B_{\text{sat}}} - Y_{B_{\text{sat}}} = 1 - 0.11 = 0.89 \quad (10)$$

Ajustant amb el valor de tots els decimals dels coeficients de l'expressió de Y valdria 0,886 V, per tant, el valor màxim de B-Y és:

$$(B - Y)_{\text{max}} = 0,886 \quad (11)$$

I el valor mínim, que coincideix amb el d'un groc saturat, és:

$$(B - Y)_{\text{min}} = -0,886 \quad (12)$$

En resum:

- El valor de Y està dins de l'interval [0, 1].
- El valor de R-Y està dins de l'interval [-0,701, 0,701].
- El valor de B-Y està dins de l'interval [-0,886, 0,886].

### 2.3.2. Ajust al rang dinàmic d'1 V

Com ja s'ha vist, el senyal de luminància Y està normalitzat de 0 V a 1 V. No obstant això, els senyals de crominància (R-Y i B-Y) no ho estan i a més són bipolars. Per tant, perquè aquests senyals s'ajustin a un rang absolut d'1 V, el rang dinàmic de cada un es defineix [-0,5 V,+0,5 V]. Sabent els valors màxims i mínims de R-Y i B-Y, es poden deduir els coeficients ponderadors corresponents per a aconseguir aquesta normalització.

Els coeficients  $K_R$  i  $K_B$  que s'aplicaran respectivament als senyals R-Y i B-Y valdran:

$$K_R = \frac{0,5}{0,701} = 0,713 \quad (13)$$

$$K_B = \frac{0,5}{0,886} = 0,564 \quad (14)$$

Per tant, els senyals que es codifiquen són la luminància i els dos components de crominància:

$$Y \quad (15)$$

$$C_R = 0,713 \cdot (R - Y) \quad (16)$$

$$C_B = 0,564 \cdot (B - Y) \quad (17)$$

### 2.3.3. Nombre de bits per mostra

En funció de la resolució dels píxels, la qual cosa redunda en la qualitat de la imatge, es preveuen dues possibilitats, 8 o 10 bits per mostra, la qual cosa comporta 256 ( $2^8$ ) o 1.024 ( $2^{10}$ ) nivells de quantificació, la codificació dels quals veiem a continuació.

### 2.4. Codificació

El pas següent a la quantificació és la codificació; és a dir, l'associació del valor de la mostra quantificada a un codi binari amb el nombre de bits corresponent.

No es codifica tot el rang dinàmic, ja que es fa una reserva del 10% per si el soroll en el transport del senyal fa que aquest prengui valors que sobrepassen el rang dinàmic. En el cas de 8 bits (256 nivells) es dediquen 220 nivells a la luminància (Y) i 224 a cadascun dels dos senyals de crominància. El zero de la crominància està situat en el nivell 128 (els valors positius per sobre d'aquesta referència, i els negatius, per sota), i els valors màxim i mínim de cada senyal són els següents:

- Luminància (8 bits)
  - Nivell 235 = nivell de blanc
  - Nivell 16 = nivell de negre

$$\bar{Y} = \text{round}(219 \cdot Y + 16)$$

- Crominància (8 bits)
  - Nivell 240 (128 + 112) = saturació 100%
  - Nivell 16 (128 - 112) = saturació 100% color complementari

$$\bar{C}_R = \text{round}(224 \cdot C_R + 128)$$

$$\bar{C}_B = \text{round}(224 \cdot C_B + 128)$$

En el cas de 10 bits (1.024 nivells), es multiplica pel nombre de valors diferents, és a dir, s'afegeixen 2 zeros en les posicions menys significatives del nombre binari. Per tant, el zero de la crominància està en 512, i el marge de la luminància i crominància és:

- Luminància (10 bits)
  - Nivell 940 = nivell de blanc
  - Nivell 64 = Nivell de negre
- Crominància (10 bits)
  - Nivell 960 (512 + 448) = saturació 100%
  - Nivell 64 (512 - 448) = saturació 100% color complementari

## 2.5. Distribució de mostres per línia en la norma 4:2:2 i altres

La informació de luminància i crominància es transporta multiplexada en el temps. Per a evitar velocitats binàries elevades s'elimina el mostreig durant el sincronisme horitzontal (període de supressió de línia), ja que la informació d'aquest interval és coneguda.

El temps total d'una línia analògica és de 64 µseg en PAL i SECAM i de 63,55 µseg en NTSC. El temps actiu de la línia analògica (sense explicar el període de sincronisme horitzontal) és de 52 µseg en PAL/SECAM i 53,33 µseg en NTSC. Per a fer compatible la transmissió digital en els tres sistemes i enviar el mateix nombre de mostres actives, s'escull un valor únic de temps de línia activa digital per a NTSC i PAL/SECAM que ha de ser el màxim possible per a enviar el màxim nombre de mostres. Per tant, el temps de línia activa digital serà el d'NTSC; és a dir,  $T_d = 53,33$  µseg.

El període de mostreig és de 13,5 MHz, per tant, el temps entre mostres serà:

$$T_m = \frac{1}{13,5 \cdot 10^6} = 0,074 \mu s \quad (18)$$

A partir d'aquesta dada, podem calcular el nombre de mostres de vídeo actiu per línia per als tres sistemes:

$$n = \frac{T_d}{T_m} = \frac{53,33 \mu s}{0,074 \mu s} = 720 \quad (19)$$

En la resta de temps fins a completar una línia, s'envien dades auxiliars com so, i altres serveis addicionals com informació de text, interactivitat, encriptació per a pagament per visió, etc. A més, també s'han d'enviar bytes que indiquin el principi i el final de línia. En NTSC hi ha 10,22 µseg (63,55 µseg – 53,33 µseg) i en PAL/SECAM 10,67 µseg (64 µseg - 53,33 µseg) per a enviar aquestes dades. Això es correspon amb:

$$n_{\text{datos\_NTSC}} = \frac{T_{L,NTSC} - T_d}{T_m} = \frac{63,55 \mu s - 53,33 \mu s}{0,074 \mu s} = 138 \quad (20)$$

$$n_{\text{datos\_PAL/SECAM}} = \frac{T_{L,PAL/SECAM} - T_d}{T_m} = \frac{64 \mu s - 53,33 \mu s}{0,074 \mu s} = 144 \quad (21)$$

En la figura 12 es veu la distribució de les 720 mostres actives de vídeo digital i de les 144 mostres corresponents als bits auxiliars, al llarg d'una línia analògica d'una imatge d'un patró de barres de color, amb la qual ha de ser compatible, en els sistemes PAL i SECAM de 625 línies.

### Vegeu també

Sobre aquest tema vegeu l'apartat "Mostreig".

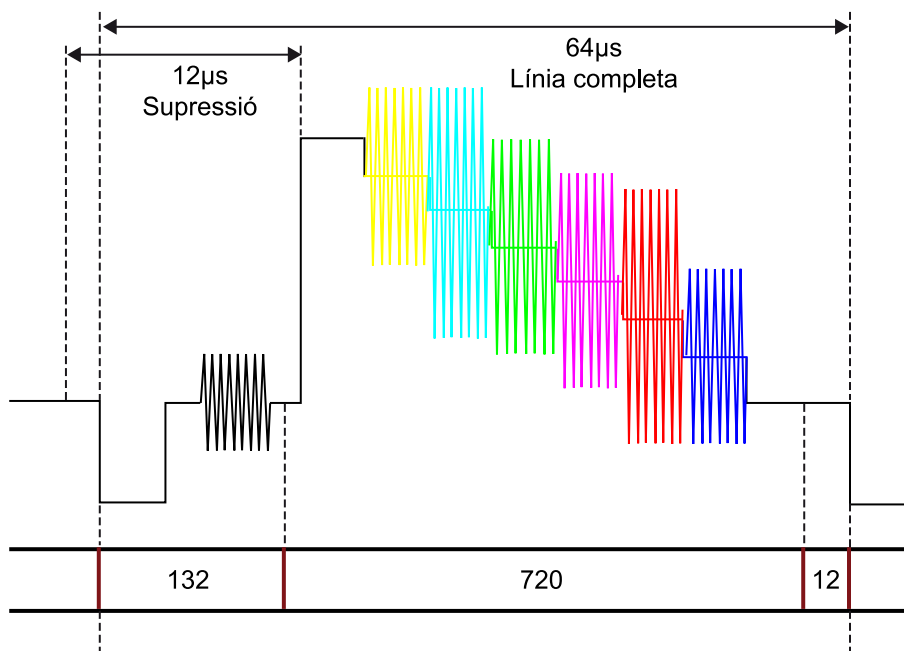


Figura 12. Distribució de mostres en un sistema PAL o SECAM de 625 línies

Per a cada línia que s'envia, 720 mostres corresponen al senyal de vídeo, 12 mostres són per a indicar el principi i el final de trama de vídeo, i 132 per a informació auxiliar com so, i altres serveis addicionals com informació de text, interactivitat, encriptació per a pagament per visió, etc. En resum, 864 mostres per línia transmesa o, el que és el mateix, 864 mostres cada  $64\mu\text{seg}$ .

En sistemes de 525 línies com l'NTSC, el nombre de mostres actives o píxels per línia (és a dir, horitzontalment) continua essent de 720, però hi ha menys bits auxiliars, concretament 138 mostres, que es reparteixen en 12 per al principi i el final de trama, i 126 per a informació auxiliar:

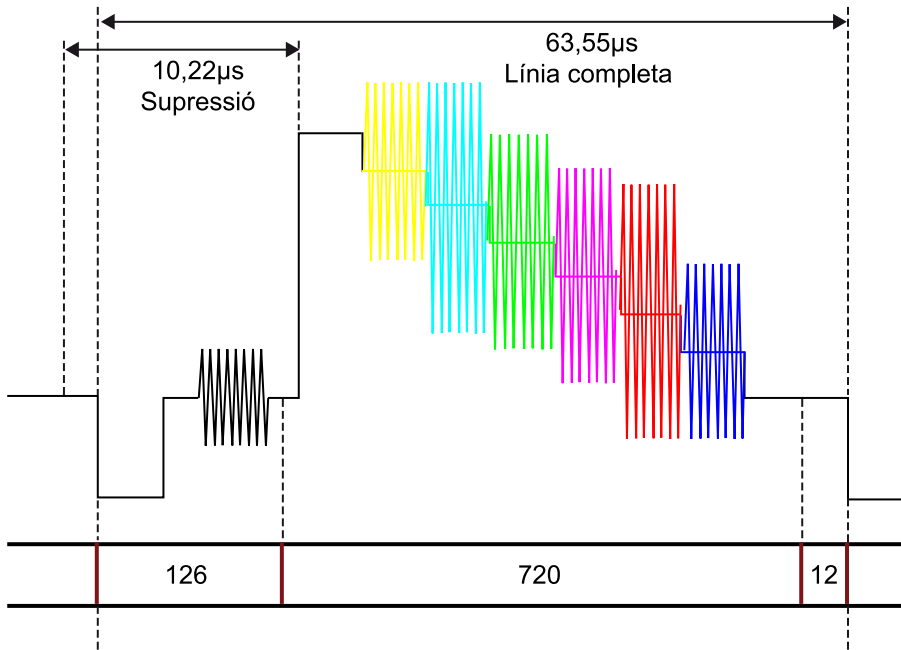


Figura 13. Distribució de mostres en un sistema NTSC de 525 línies

Tampoc no es disposa de totes les línies d'un quadre per a enviar informació de vídeo, ja que, si no, no tindríem compatibilitat amb els senyals analògics, que separen algunes línies per al sincronisme de camp. Això implica una reducció de l'àrea activa similar a la de la televisió analògica:

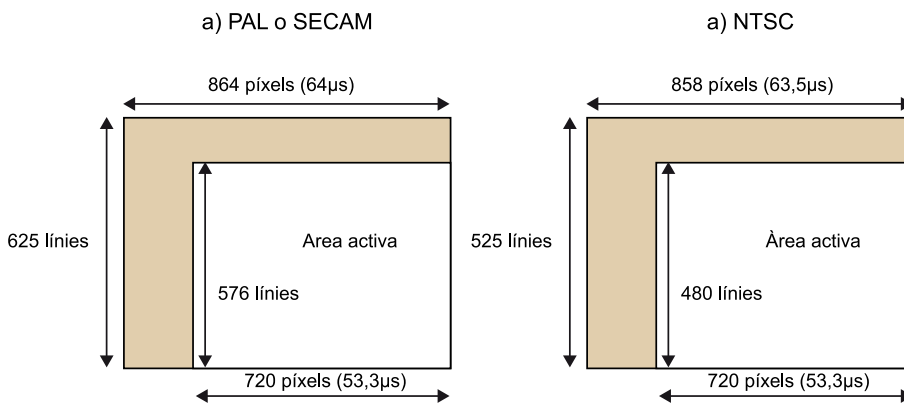


Figura 14. Àrea activa en un sistema PAL o SECAM de 625 línies i en un NTSC de 525 línies

### 2.5.1. Multiplexatge de dades

La velocitat binària del flux de vídeo depèn del nombre de bits de les mostres i del nombre de mostres que s'insereixen en cada instant de mostreig. Si en cada període de mostreig (hi ha 720 períodes de mostreig per línia), s'insereix una mostra de luminància (Y) i dues de crominància ( $C_R$  i  $C_B$ ), llavors tindrem 720 mostres de luminància i 1.440 de crominància; un total de 2.160 mostres. Si les mostres són de 8 bits, el flux contindrà 17.280 bits ( $8 \times 2.160$ ) en l'interval d'una línia activa, és a dir, 53,33 µseg. Per tant, la velocitat binària serà de:

$$v_{8\text{bits}} = \frac{17.280}{53,33 \cdot 10^{-6}} = 324\text{Mbps} \quad (22)$$

En cas de 10 bits, el flux seria de:

$$v_{10\text{bits}} = \frac{21.600}{53,33 \cdot 10^{-6}} = 405\text{Mbps} \quad (23)$$

### 2.5.2. Normativa 4:2:2 CCIR-601

Per a transmetre el flux de dades necessari, calen amplades de banda excessivament grans, equivalents a diversos canals analògics. Per aquest motiu, des d'un principi es van plantejar tècniques de compressió de dades que perseguien l'enviament de menys bits dels necessaris sense que per això disminuís apreciablement la qualitat de la imatge. Aquestes tècniques de compressió s'apliquen a tres nivells:

- Píxel
- Imatge
- Semblança entre quadres d'imatges successives

La compressió de píxels s'utilitza des del primer moment de l'adquisició, concretament en la fase de mostreig. Aquesta es refereix al fet que no és necessari prendre mostres noves de crominància en tots els píxels, ja que l'ull humà no discrimina el color tan bé com la luminància, per la qual cosa es poden tenir píxels en què només hi hagi informació de luminància. Aquest és el sentit de la normativa 4:2:2 o CCIR-601, que indica que de cada quatre mostres preses, n'hi haurà quatre de luminància, dues de cromina blava ( $C_B$ ) i dues de cromina vermella ( $C_R$ ):

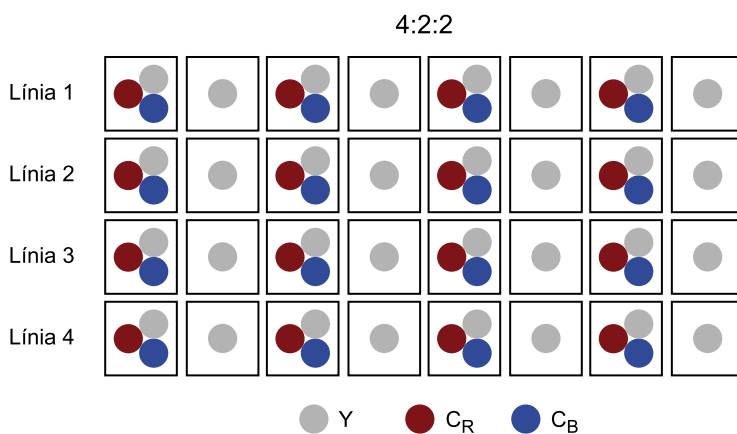


Figura 15. Distribució de mostres de luminància i crominància segons la norma 4:2:2

La velocitat binària del senyal normalitzat a 4:2:2 es pot calcular sabent que hi haurà la meitat de bits de cromina. Una altra manera de veure-ho és que el senyal de luminància es mostreja a 13,5 MHz, i els dos de cromina a la meitat, 6,75 MHz, per la qual cosa, en el cas de 8 bits, la velocitat val:

$$v_{4:2:2,8\text{bits}} = 8 \cdot 13,5\text{MHz} + 2 \cdot 8 \cdot 6,75\text{MHz} = 216\text{Mbps} \quad (24)$$

#### Vegeu també

Les dues últimes són tècniques complexes que s'expliquen més detalladament en el mòdul "Codificació del senyal de televisió" i se solen utilitzar al final del procés, quan s'ha de difondre el senyal de televisió.

I en el cas de 10 bits:

$$v_{4:2:2,10\text{bits}} = 10 \cdot 13,5\text{MHz} + 2 \cdot 10 \cdot 6,75\text{MHz} = 270\text{Mbps} \quad (25)$$

La disminució de velocitat aconseguida encara no permet transmetre els senyals per un canal analògic. S'han de sotmetre a un procés de compressió de dades que redueixi considerablement la velocitat binària.

El format 4:2:2 és el que s'usa en un estudi de televisió per a processar els senyals sense perdre qualitat. Fins i tot quan s'emmagatzemen els programes digitals, es fa en un format de compressió de dades JPEG, que comprimeix el senyal 4:2:2 però no introdueix pèrdues de les seves dades.

A continuació expliquem el format 4:2:0, que és el que utilitzen les tècniques de compressió MPEG-1 i MPEG-2 per a la transmissió dels senyals de televisió. Contràriament al JPEG, l'MPEG introdueix pèrdues de dades que equivalen a errors en la recepció, però són assumibles i amb prou feines perceptibles per l'ull humà. Aquestes tècniques de compressió formen part de la codificació de font que s'explica en el mòdul "Codificació del senyal de televisió".

### 2.5.3. Altres formats de mostres (4:2:0, 4:1:1)

Algunes empreses del sector audiovisual han desenvolupat altres formats per als seus productes, com el 4:1:1 o el 4:2:0, que, tal com acabem d'esmentar, són els estàndards MPEG1 i MPEG2:

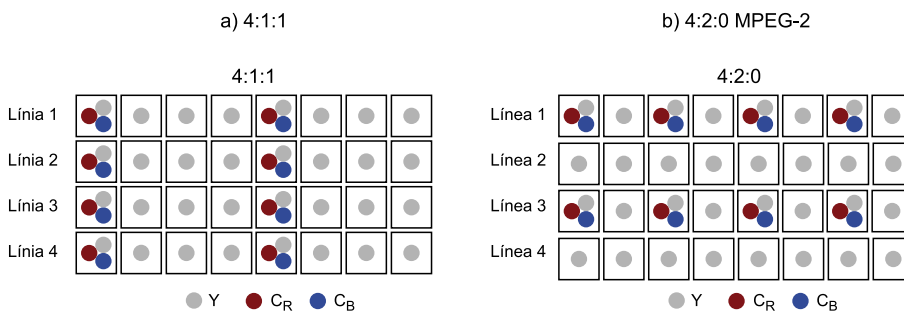


Figura 16. Distribució de mostres segons les normes 4:1:1 i 4:2:0

Tots dos tenen una velocitat binària menor que el 4:2:2:

$$8 \text{ bits: } v_{4:1:1,8\text{bits}} = v_{4:2:0,8\text{bits}} = 8 \cdot 13,5\text{MHz} + 8 \cdot 6,75\text{MHz} = 162\text{Mbps}$$

$$10 \text{ bits: } v_{4:1:1,10\text{bits}} = v_{4:2:0,10\text{bits}} = 10 \cdot 13,5\text{MHz} + 10 \cdot 6,75\text{MHz} = 202,5\text{Mbps}$$

Encara que els equips audiovisuals puguin manejar qualsevol tipus de format, la connexió externa amb altres equips ha de seguir una normativa d'interfície que s'explica en l'apartat "Normes SMPTE per a interfícies de senyal de vídeo digital".



#### 2.5.4. Formats SIF, CIF i QCIF

A part dels formats 4:2:0 o 4:1:1, s'han desenvolupat altres formats per a aplicacions que no necessitin gaire resolució d'imatge. Per exemple, els formats SIF (*source intermediate format*), CIF (*common intermediate format*) i QCIF (*quarter CIF*), que, a més de la freqüència de mostreig, afecten el nombre d'imatges per segon que s'envien.

El format SIF es va definir per a l'algorisme de compressió MPEG-1 però finalment no s'ha desenvolupat amb èxit. Els seus paràmetres són els següents:

- Es redueix a la meitat tant la resolució espacial com la temporal, passant de 50 Hz a 25 Hz l'actualització de quadre en sistemes de 625 línies, i a 29,97 Hz els de 525 línies.
- La luminància es mostreja a la meitat: es prenen 360 mostres per línia al llarg de 288 línies per quadre en sistemes de 625 línies, i  $360 \times 240$  en sistemes de 525 línies.
- La crominància també es mostreja a la meitat: o sigui, 180 mostres en cadascuna de les 144 línies d'un quadre en 625 línies, i  $180 \times 120$  en 525 línies.

El format CIF és un estàndard per a codificadors de videoconferència i altres sistemes similars. És un compromís entre els formats SIF europeus i els americans. La resolució espacial és l'europea, de 625 línies, o sigui  $360 \times 288$ , i la temporal és l'americana de 29,97 Hz, de 525 línies.

EL format QCIF divideix la resolució espacial per 4 (2 en horitzontal i 2 en vertical), i la temporal per 2 o 4 (15 Hz o 7,5 Hz). És el format per a videotelèfon que usa l'algorisme de compressió H261.

#### Nota

Aquests formats estan relacionats amb els nivells de resolució especificats per l'estàndard de compressió MPEG-2, que s'explica en el mòdul "Codificació del senyal de televisió":

- El QCIF és el nivell baix MPEG-2.
- El CIF és el nivell principal amb mostreig.
- El 4:2:0 amb resolució  $720 \times 576$  és l'SD (estàndard digital).
- El 4:2:0 o 4:2:2 amb resolució  $1.440 \times 1.088$  és el nivell HD (alta definició).

### 3. Normes SMPTE per a interfícies de senyal de vídeo digital

La connexió entre equips digitals de vídeo es pot fer amb cablejat en paral·lel o mitjançant un cable únic en sèrie. En qualsevol cas, el format dels bits o dades enviades està normalitzat per a poder dissenyar equips compatibles i amb una qualitat assegurada en les interfícies. En aquest apartat s'enumeren, en primer lloc, els formats principals d'interfícies digitals per a continuació detallar la interfície paral·lela principal i la interfície en sèrie SDI, utilitzades en els estudis de televisió per a generar els continguts televisius.

#### 3.1. Interfícies digitals de connexió entre equips de vídeo

Una vegada multiplexades les dades de vídeo amb la norma 4:2:2 o similar, s'han d'inserir els bytes de principi i final de vídeo actiu (SAV –*start of active video*– i EAV –*end of active video*–), les mostres d'àudio digital, i altres dades auxiliars que es vulguin transmetre. Aquesta acció la du a terme un coprocesador de transmissió específic per a la interfície.

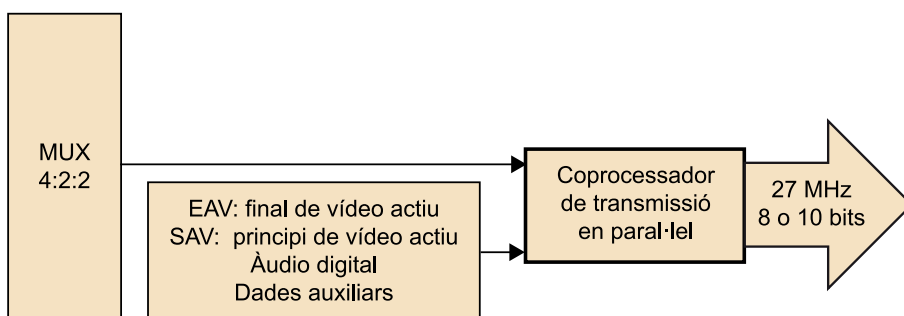


Figura 17. Diagrama de blocs de la interfície paral·lela de televisió digital estàndard SMPTE 125M

Els formats digitals estan normalitzats per l'SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers). L'SMPTE normalitza els paràmetres de digitalització (mostreig, quantificació i codificació); el senyal de vídeo sense comprimir amb interfícies en paral·lel, en sèrie i de transport, i el vídeo comprimit amb la tècnica MPEG.

#### Nota

Els bytes de SAV i EAV fan la funció del sincronisme de línia en el senyal analògic; és a dir, indiquen al receptor quan comencen i acaben els bytes de vídeo de la línia.

#### Vegeu també

La tècnica MPEG s'analitza en el mòdul "Codificació del senyal de televisió".

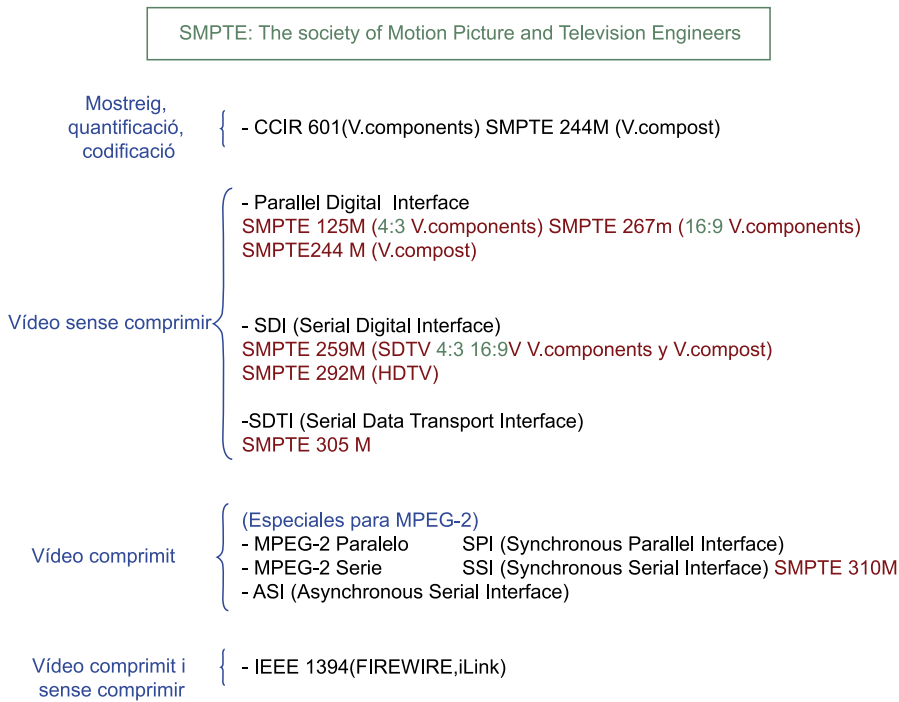


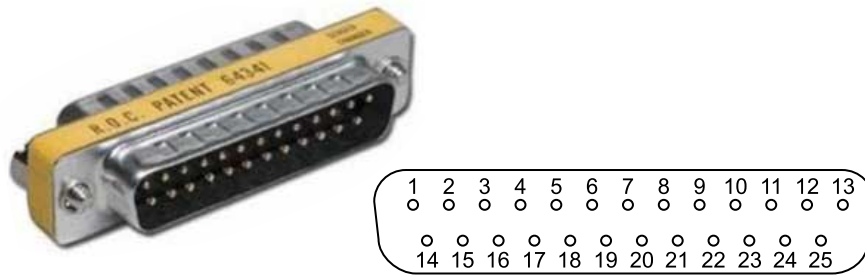
Figura 18. Esquema dels formats principals de televisió digital

A continuació es detalla el format paral·lel SMPTE 125M i el format sèrie SMPTE 259M, corresponents a les interfícies de transmissió del vídeo digital en components i format de pantalla 4:3. També es detalla l'ampliació a format de pantalla 16:9 per veure com afecta a la distribució de les mostres de vídeo i bits auxiliars en cada línia.

### 3.2. Interfície paral·lela SMPTE 125M

La interfície paral·lela SMPTE 125M preveu una connexió únicament amb dos equips i permet una longitud de 100 m a 150 m. Més enllà d'aquestes distàncies, el senyal es propaga amb una qualitat inferior a la necessària per a ser reproduït per un equip de televisió.

La connexió es fa mitjançant un connector DB-25, que és un connector unidireccional de nou parells de cables, dels quals vuit són parells simètrics de dades de vídeo, àudio o auxiliars, i un parell simètric és un senyal de rellotge síncron de 27 MHz que s'usa per a sincronitzar totes les dades. Es disposa també la possibilitat d'ampliar de vuit a deu els bits enviats:



Pin	Línia de senyal	Pin	Línia de senyal
1	Rellotge A	14	Rellotge B
2	Terra del sistema	15	Terra del sistema
3	Dades 7A (bit més significatiu)	16	Dato 7B
4	Dades 6A	17	Dades 6B
5	Dades 5A	18	Dades 5B
6	Dades 4A	19	Dades 4B
7	Dades 3A	20	Dades 3B
8	Dades 2A	21	Dades 2B
9	Dades 1A	22	Dades 1B
10	Dades 0A	23	Dades 0B
11	Reserva A-A	24	Reserva A-B
12	Reserva B-A	25	Reserva B-B
13	Blindatge del cable	-	-

Figura 19. Connector DB-25 per a interfície paral·lela SMPTE 125M i esquema de distribució de pins del connector. Les línies A es refereixen a la connexió (+) del senyal, i les B, a la (-)

### 3.2.1. Distribució dels bytes en una línia activa

De la figura 12, on s'ensenya la distribució de mostres en una línia PAL i SECAM, es pot deduir la distribució dels bytes en la línia digital. Si es tracta d'un senyal de 8 bits, cada mostra té 8 bits, és a dir 1 byte. Per tant, seguint la norma 4:2:2, cada mostra conté 1 byte de luminància (Y), i en cada dues mostres hi ha una mostra de cada component de crominància (CR i CB). Això vol dir que hi ha el doble de bytes que de mostres. Com que en la figura s'indica que hi ha 720 mostres de vídeo actiu i 144 mostres auxiliars, hi haurà 1.440 bytes en la zona de vídeo actiu i 288 bytes d'auxiliars en zona d'esborrament de línia.

Si en comptes de 8 bits el senyal fos de 10 bits (més precisió), en lloc de parlar de bytes parlariem de paraules de 10 bits. Atès que, en general, ens podem referir a 8 o 10 bits, en lloc de bytes, parlarem de **paraules de 8 o de 10 bits**.

Com que la freqüència de mostreig és de 13,5 MHz i en cada període es recullen dues paraules (una de luminància i mitja de cada crominància; és a dir, en dos períodes de mostreig es recullen dues mostres de luminància i una de cada crominància), la freqüència dels bits serà del doble, 27 MHz.

En la figura 20 es mostra la distribució de les paraules al llarg de la línia digital, i la comparem amb la distribució del senyal de vídeo en una línia analògica.

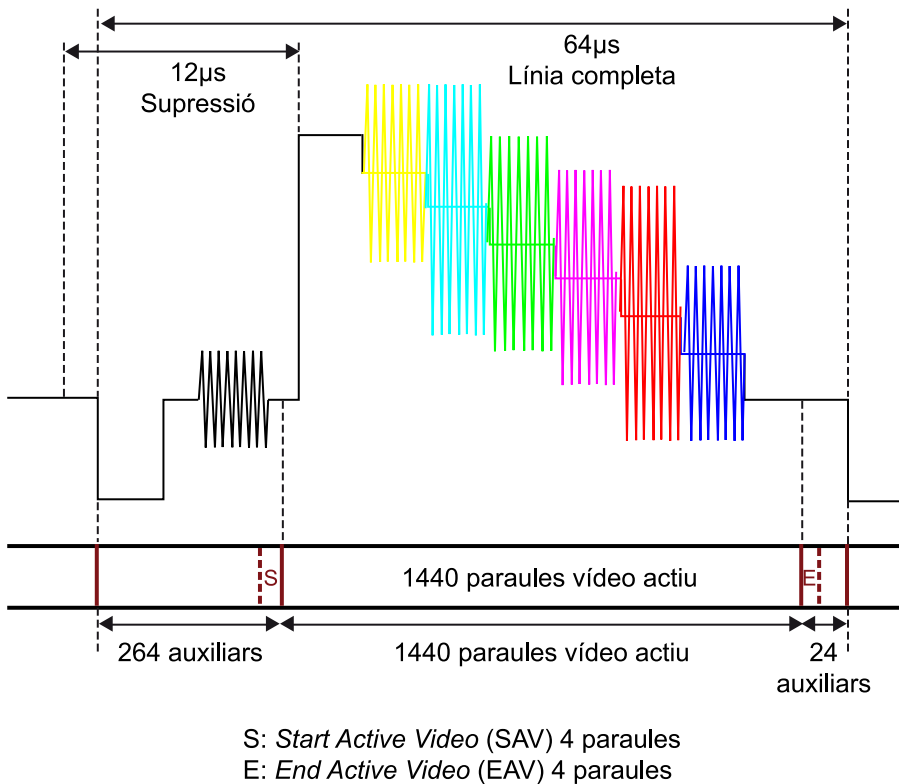


Figura 20. Comparació d'una línia analògica amb una línia digital de televisió

### Lectura de l'esquema

Comença amb 264 paraules d'auxiliars, de les quals, les 4 últimes són les que indiquen que començarà la línia activa, és a dir, les mostres de vídeo de la línia. Aquestes 4 paraules es diuen SAV (*start active video*).

A continuació vénen les 1.440 paraules de vídeo actiu i, seguidament, les 16 paraules d'auxiliars que falten per a completar un total de 288 paraules d'auxiliars ( $264 + 16 = 288$ ). Les 4 primeres d'aquestes 16 indiquen final de línia activa i es diuen EAV (*end active video*).

Sumant totes les paraules es té un total de 1.728 paraules, amb una velocitat binària de 27 MHz, distribuïdes de la manera següent:

- 4 paraules de referència temporal d'inici de línia o SAV (*start of active video*)
- 280 paraules de dades d'identificació, so i auxiliars
- 4 paraules de referència temporal de finalització de línia o EAV (*end of active video*)
- 1.440 paraules de vídeo actiu

### 3.3. Interfície en sèrie SMPTE 259M. Senyal SDI

La interfície en sèrie envia tots els bytes per un únic cable, la qual cosa implica un processament extra per al senyal en paral·lel, que se simbolitza mitjançant el bloc convertidor a SDI del diagrama següent:

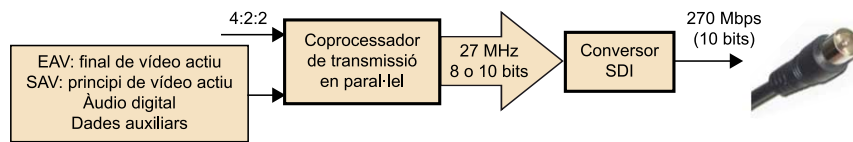


Figura 21. Conversió d'interfície paral·lela en interfície en sèrie

La connexió en sèrie es fa amb un únic cable coaxial d'impedància característica de 75  $\Omega$  (impedància normalitzada en televisió, tant analògica com digital). La norma SMPTE 259M permet la connexió entre dos equips distants entre 100 m i 150 m, però es pot "pontejar" per a connectar amb altres equips.

### "Pontejar"

Pontejar una entrada amb una sortida d'un equip significa tenir un pont que connecti interiorment totes dues connexions, de manera que es pugui connectar la sortida pontejada amb l'entrada d'un nou equip, permetent així la connexió en cascada de diversos equips.

Si la codificació és de 10 bits (com mostra el diagrama), atès que la freqüència de rellotge és de 27 MHz, les dades es mouen a una velocitat de 270 Mbps (si la codificació fos de 8 bits, la velocitat seria de 216 Mbps). No s'envia el senyal de rellotge sinó que aquest s'extreu en la recepció a partir del flux de dades.

Els avantatges de la interfície en sèrie enfront de la paral·lela són, d'una banda, l'ús d'un sol cable i, d'altra, la important reducció de les interferències entre les dades, la qual cosa permet més qualitat d'imatge.

La norma SMPTE 259M defineix quatre criteris d'operació com a nivells de suport:

- Nivell A. 143 Mbps NTSC (vídeo compost)
- Nivell B. 177 Mbps PAL (vídeo compost)
- Nivell C. 270 Mbps 525/625 components (4:3).
- Nivell D. 360 Mbps 525/625 components (16:9)

Els més utilitzats són els nivells C i D, ja que actuen sobre el senyal en components.

#### 3.3.1. Convertidor SDI

La conversió de paral·lel a sèrie no consisteix simplement a alinear els bits un darrere d'un altre, sinó que es requereix un processament extra per a la protecció de les dades, la integritat del senyal digital de transmissió i la facilitat de sincronització en recepció. Aquest processament converteix el senyal en paral·lel en un senyal SDI (*serial digital interface*). Bàsicament s'hi apliquen dos processos que es poden veure en la figura 22:

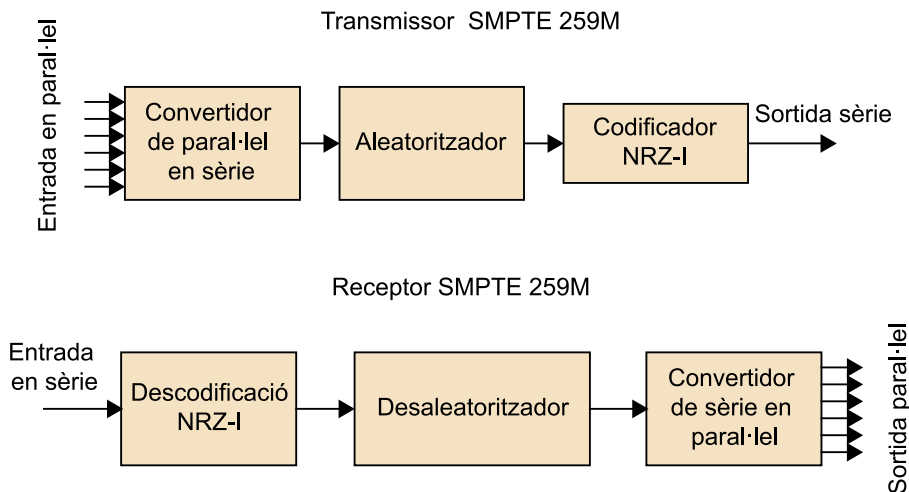


Figura 22. Transmissor i receptor de senyal SDI segons la norma SMPTE 259M

L'aleatoritzador reordena els bits que s'han de transmetre per a evitar longituds llargues d'uns o zeros seguits, que provoquen pèrdues de sincronisme en el receptor en no detectar prou transicions per a sincronitzar el rellotge. A més, amb l'aleatoritzador s'aconsegueix anivellar per trams el nombre d'uns i el de zeros, de manera que el nivell de contínua del senyal transmès és gairebé zero.

El **desaleatoritzador** fa la funció contrària en recepció per a recuperar el flux de dades original.

El **codificador NRZ-NRZI** codifica la informació en codi NRZ (sense tornada a zero) en la modalitat NRZ-I; és a dir, dóna un nivell de tensió (alt o baix) que no canvia mentre es transmeten zeros i en canvia el valor (de dalt a baix o de baix a dalt) si es transmeten uns, de manera que, en limitar el nombre de transicions, s'estalvia amplada de banda.

### 3.3.2. Distribució de paraules de dades per línia en SDI de nivell C

El senyal SDI de nivell C representa un format de pantalla 4:3 amb una distribució de mostres segons la norma 4:2:2. La freqüència de mostreig dels píxels és de 13,5 MHz per a la luminància (Y) i de 6,75 MHz per a cada senyal de crominància. Els píxels es representen mitjançant 8 o 10 bits, per la qual cosa la velocitat, en cas de considerar 10 bits, és de 270 Mbps.

#### Recordeu

Una paraula és un conjunt de bits. Si el nombre de bits és 8, la paraula es diu *byte*. En SDI es transmeten paraules de 10 bits, o paraules de 8 bits (bytes).

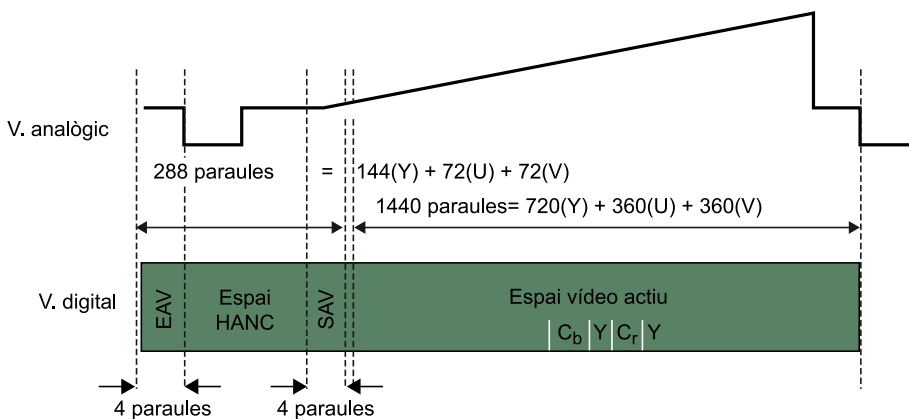


Figura 23. Temporització de les dades de vídeo digital en una línia de vídeo analògic en SDI de nivell C

L'espai de vídeo actiu, és a dir, el temps de la línia activa, consta de 1.440 paraules de 10 bits, que es corresponen amb 720 mostres de luminància (Y) més 360 de crom blau (Cb) més 360 de crom vermell (Cr).

L'espai de vídeo inactiu, o sigui, el temps de línia inactiva el componen 288 paraules de 10 bits, que contenen els espais següents:

- EAV: 4 paraules que representen el marcador de final de vídeo actiu (*end active video*).
- HANC: 288 paraules per a informació auxiliar (àudio, codi de temps, dades auxiliars).
- SAV: 4 paraules que indiquen el marcador de principi de vídeo actiu (*start active video*).

Aquestes 288 paraules es poden correspondre amb 144 mostres inexistents de luminància (Y) i 72 de cadascun dels cromes (Cb i Cr). Per tant, es pot afirmar que l'espai de vídeo inactiu correspon a 144 píxels inactius.

Les paraules EAV i SAV solament es diferencien en 1 bit (el bit H), que indica si es tracta del marcador EAV o SAV. La resta de bits són iguals i representen el que s'indica en la taula següent:

Contingut de les paraules EAV i SAV en senyal SDI de nivell C

Paraula	SDI 8 bits	SDI 10 bits
1	FF h	3FF h
2	00 h	000 h
3	00 h	000 h
4	1FVHP <sub>3</sub> P <sub>2</sub> P <sub>1</sub> P <sub>0</sub> b	1FVHP <sub>3</sub> P <sub>2</sub> P <sub>1</sub> P <sub>0</sub> 00 b

Les tres primeres paraules són bits de sincronització. La informació és en la quarta paraula, i a continuació s'explica el significat de cada bit:



- El bit F és el bit de trama.
  - $F = 0$  indica que la línia és en la trama 0, és a dir, en el camp 1 d'imatges entrelaçades. En sistemes progressius  $F = 0$  en tot el senyal.
  - $F = 1$  indica que la línia és en la trama 1, és a dir, en el camp 2 d'imatges entrelaçades.
- El bit V és el bit de supressió.
  - $V = 0$  indica que la línia és en zona activa.
  - $V = 1$  indica que la línia és en zona inactiva, és a dir esborrament/sincronisme vertical.
- El bit H és el bit indicador d'EAV o SAV.
  - $H = 0$  indica que es tracta d'un marcador SAV.
  - $H = 1$  indica que es tracta d'un marcador EAV.

**Nota**

Els sistemes entrelaçats són els que, per a enviar la imatge d'un quadre, primer envien un camp amb les línies imparelles i, a continuació, un altre amb les línies parelles. Els sistemes progressius envien un sol camp amb totes les línies.

### 3.3.3. Distribució de paraules de dades per línia en SDI de nivell D

El senyal SDI de nivell D representa un format de pantalla 16:9 amb la mateixa norma 4:2:2 que l'SDI-C. En aquest cas, la freqüència de mostreig dels píxels és de 18 MHz per a la luminància (Y) i 9 MHz per a cada senyal de crominància. La velocitat, en cas de considerar 10 bits, és de 360 Mbps.

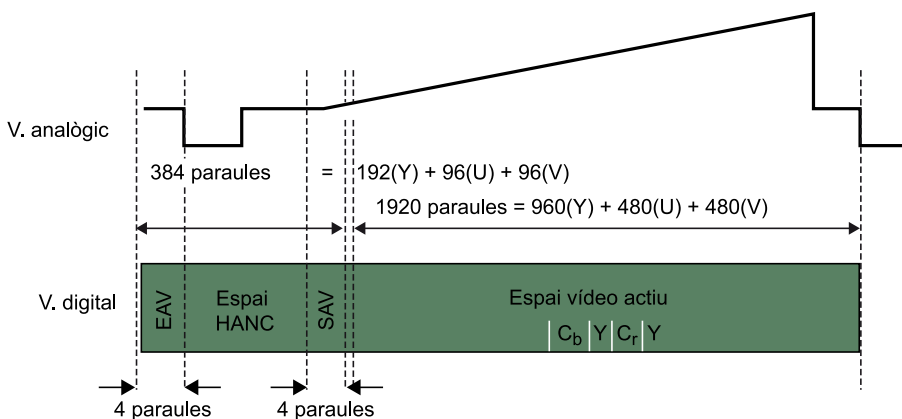


Figura 24. Temporització de les dades de vídeo digital en una línia de vídeo analògic en SDI de nivell.

Lògicament, en ser un format de pantalla més gran, en SDI-D hi ha d'haver més mostres que en SDI-C. L'espai de vídeo actiu està compost per 1.920 paraules de 10 bits, que es corresponen amb 960 mostres de luminància (Y) més 480 de croma blau (Cb) més 360 de croma vermell (Cr). I l'espai de vídeo inactiu el componen 384 paraules amb els espais següents:

- EAV: 4 paraules que representen el marcador de final de vídeo actiu (*end active video*).

- HANC: 376 paraules per a informació auxiliar (àudio, codi de temps, dades auxiliars).
- SAV: 4 paraules que indiquen el marcador de principi de vídeo actiu (*start active video*).

Les 384 paraules es corresponen amb 192 mostres inexistents de luminància (Y) i 96 de cadascun dels cromes (Cb i Cr). Les paraules EAV i SAV tenen el mateix format que en SDI-C.

### 3.3.4. Diferències entre transmissió en paral·lel i en SDI

Diferències entre transmissió en paral·lel i en sèrie SDI

	<b>Paral·lel</b>	<b>SDI</b>
<b>Distàncies</b>	Curtes	Llargues (100 m a 150 m)
<b>Economia cable i connector</b>	Car	Un sol coaxial (més barat)
<b>Interfície electrònica</b>	Simple	Complexa
<b>Velocitat</b>	Més petita (27 MHz)	Més gran (270 Mbps)
<b>Susceptible a interferències</b>	Alta susceptibilitat	Baixa susceptibilitat
<b>Connexió amb diversos equips</b>	Solament 2 equips	Diversos

### 3.4. Àudio digital en el senyal SDI

Com ja hem comentat, les dades d'àudio digital del senyal de televisió s'incrusten en l'espai HANC. El format estàndard està definit per la norma SMPTE 272M i per a àudio d'alta definició o 3G s'utilitza l'estàndard SMPTE 299M.

A continuació es descriuen les prestacions de la versió estàndard SMPTE 272M, que es basa en els formats AES/EBU.

#### 3.4.1. Estàndard d'àudio SMPTE 272M

El senyal d'àudio es mostreja a 48 kHz en lloc de 44,1 kHz com es fa per a l'enregistrament en CD. Es disposa de 20 bits de so per mostra en la versió estàndard (272M) i 24 en la d'alta definició (299M).

Cada mostra del convertidor A/D s'allotja en una subtrama de 32 bits. Hi ha dues subtrames, una per canal:

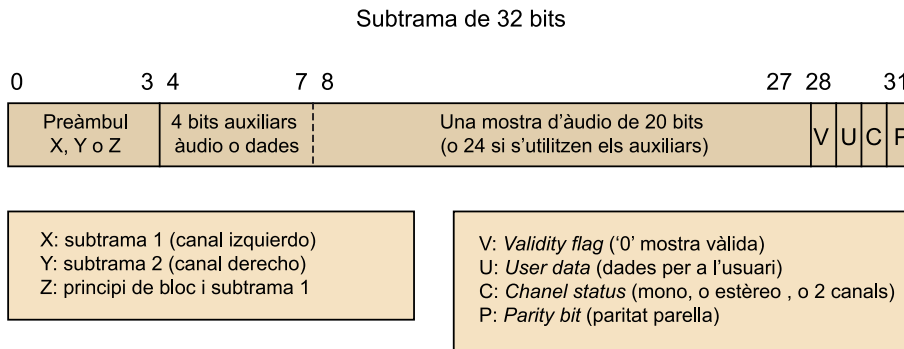


Figura 25. Estructura de la subtrama d'àudio digital segons SMPTE 272M (AES/EBU)

El flux de dades s'organitza en blocs de 192 trames (cada trama consta de dues subtrames) i, com que en cada trama hi ha 1 bit per a dades d'usuaris (*user data*) i 1 bit per a l'estat del canal (*channel status*), en cada bloc hi ha 192 bits per a dades d'usuari i 192 bits per a codificar l'estat del canal.

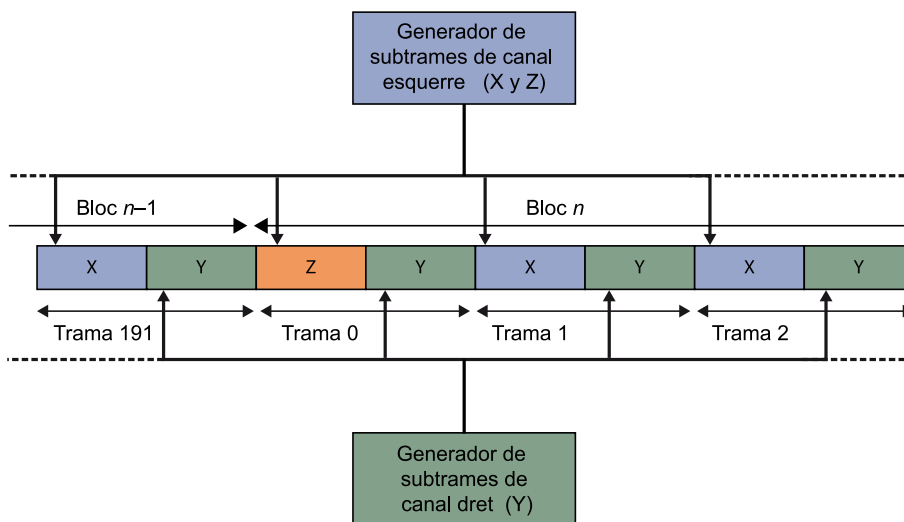


Figura 26. Estructura del flux de dades d'àudio digital segons SMPTE 272M (AES/EBU) organitzat en blocs de 192 trames de 2 subtrames cada una

Hi ha tres modes de transmissió que s'indiquen amb els bits 0 a 3 del byte 1 del *channel status*:

- **Mode dos canals.** Les mostres de tots dos canals (que corresponen a fonts diferents) es transmeten en subtrames consecutives. El canal 1 en la subtrama 1 i el canal 2 en la subtrama 2.
- **Mode estereofònic.** El canal esquerre o canal A es transmet en la subtrama 1, i el dret o B, en la subtrama 2.
- **Mode monofònic.** El so va en la subtrama 1. La subtrama 2 pot tenir repetida la subtrama 1 o bé tot zeros.

En general, en aplicacions on hi ha dos canals, un de primari i un altre de secundari, el primari ha d'anar en la subtrama 1 i el secundari en la 2.

La velocitat binària depèn de si s'usen un o dos canals d'àudio. Amb un canal, la velocitat és:

$$v_{\text{bit}} = 48 \cdot 10^3 \text{ mostres/s} \cdot 32 \text{ bits/mostra} = 1,536 \text{ Mbps} \quad (26)$$

Amb dos canals la velocitat és:

$$v_{\text{bit}} = 2 \cdot 1,536 \text{ Mbps} = 3,072 \text{ Mbps} \quad (27)$$

El temps de bit serà:

$$T_{\text{bit}} = \frac{1}{v_{\text{bit}}} = \frac{1}{3,072 \text{ Mbps}} = 0,3255 \mu\text{s} \quad (28)$$

A partir d'aquí, la durada d'una subtrama i una trama serà:

$$T_{\text{subtrama}} = T_{\text{bit}} \cdot 32 \text{ bits} = 10,4167 \mu\text{s} \quad (29)$$

$$T_{\text{trama}} = T_{\text{subtrama}} \cdot 2 = 20,83 \mu\text{s} \quad (30)$$

Un bloc dura:

$$T_{\text{bloc}} = T_{\text{trama}} \cdot 192 = 4 \text{ ms} \quad (31)$$

### 3.5. Formats de televisió digital segons la qualitat d'imatge

El senyal digital explicat en aquest mòdul, l'SDI, es correspon amb un mode de vídeo de qualitat estàndard, és a dir, amb format SDTV (*standard definition TV*).

#### Recordau

La qualitat està relacionada amb el nombre de píxels de la pantalla, que es calculen multiplicant el nombre de mostres horitzontals pel nombre de línies. En NTSC serien  $720 \times 480$ , mentre que en PAL serien  $720 \times 576$ .

Altres aspectes a considerar són el mode d'escaneig (progressiu o entrelaçat), la relació d'aspecte o relació de les dimensions de la pantalla (4:3 o 16:9) i el nombre d'imatges per segon o resolució temporal.

La qualitat SDTV té les característiques següents, que són suficients per a visualitzar les imatges en pantalles amb dimensions de fins a 21 o 25 polzades de grandària com a màxim:

- Nombre de línies: 480 (NTSC) i 576 (PAL).
- Escaneig entrellaçat.
- Relació d'aspecte normalment de 4:3, encara que també es preveu el de 16:9.
- Resolució temporal de 30 imatges per segon (NTSC) i 25 (PAL).

**Mida de la pantalla**

La mida de la pantalla és la longitud de la diagonal de la pantalla mesurada en polzades.

A mesura que es va evolucionar cap a pantalles més grans, es va fer necessari crear formats de més qualitat. El primer va ser l'EDTV (*enhanced definition TV*), utilitzat en el DVD, TDT, televisió per satèl·lit, consoles de joc i càmeres mini-DV. En aquest cas, l'augment de la qualitat es basa pràcticament en un escaneig progressiu. Les seves característiques principals són les següents:

- Nombre de línies: 480 (NTSC) i 576 (PAL).
- Escaneig progressiu.
- Relació d'aspecte de 4:3 i 16:9.
- Resolució temporal de 24, 30 i 60 imatges per segon (no es distingeix NTSC i PAL).

Actualment, el format EDTV ha estat pràcticament desplaçat pel d'alta definició HDTV (*high definition TV*), que basa la seva qualitat en l'augment de píxels o mostres horitzontals i el nombre de línies. Alguns sistemes que ja utilitzen HDTV són l'HD DVD, el Blu-ray, la TDT d'alta definició, la televisió per satèl·lit o les consoles de joc.

Hi ha diferents formats d'HDTV amb les característiques següents:

- Nombre de línies: 720 i 1.080.
- Escaneig progressiu o entrellaçat.
- Relació d'aspecte de 4:3 i 16:9.
- Resolució temporal de 24, 30 i 60 imatges per segon.

El nombre de píxels o mostres horitzontals estan determinats per la relació d'aspecte i el nombre de línies. Es calculen ajustant aquestes característiques a la forma del píxel desitjada (més quadrada o més rectangular).

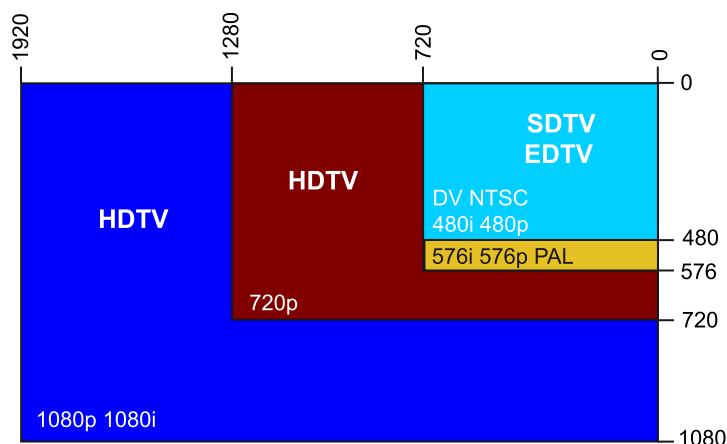


Figura 27. Píxels horitzontals i nombre de línies per a SDTV, EDTV i HDTV

El nom del format de qualitat de televisió conté el nombre de línies i l'entrellaçament:

- 480i: 480 línies entrelaçades (*interlaced*).
- 576i: 576 línies entrelaçades (*interlaced*).
- 1080p: 1.080 línies progressives (*progressive*).

Com que hi ha més aspectes a tenir en compte com les imatges per segon i la relació d'aspecte, podem tenir diversos estàndards diferents encara que tinguin el mateix nom. En la taula següent presentem alguns dels formats de televisió actuals:

Formats de TV digital

	<b>Format</b>	<b>Línies</b>	<b>Píxel horitz.</b>	<b>Rel. aspecte</b>	<b>Escaneig</b>	<b>Imatges/s</b>
<b>HDTV</b>	1080p	1.080	1.920	16×9	progressiu	24 o 30
	1080i	1.080	1.920	16×9	entrellaçament	30
	720p	720	1.280	16×9	progressiu	24, 30 o 60
<b>EDTV</b>	480p	480	720	4×3 o 16×9	progressiu	24, 30 o 60
	576p	576	720	4×3 o 16×9	progressiu	24, 30 o 60
<b>SDTV</b>	480i	480	720	4×3 o 16×9	entrellaçament	30 (NTSC)
	576i	576	720	4×3 o 16×9	entrellaçament	25 (PAL)

## Bibliografia

**Benoit, Hervé** (1997). *Digital Television MPEG-1, MPEG-2 and principles of the DVB system* (cap. 1, pàg. 3-15). Focal Press.

**Bethencourt Machado, T.** (1990). *Sistemas de Televisión clásicos y avanzados*. Departamento de Publicaciones Centro de Formación RTVE.

