

Evolución de la televisión (I)

En este artículo se trata de ofrecer una rápida visión del proceso evolutivo, que la televisión ha seguido, desde sus inicios en blanco y negro, hasta la aplicación de técnicas digitales que permiten mejoras sustanciales de la calidad ofrecida por los actuales y futuros receptores de televisión.

Pedro Vicente del Fraile.

El artículo completo consta de cuatro partes dos de las cuales se presentan en este primer capítulo: en una 1a. se describen los principales motivos que dieron lugar a la elección de los parámetros en los distintos sistemas actuales. En la 2a., se hace una somera descripción de la TV. en el dominio frecuencial, que ayudará a entender mejor el empleo de técnicas digitales. En la 3a. se hace una introducción de las técnicas digitales en el receptor actual (TV. mejorada). Por último en la 4a. parte se comentan las distintas propuestas de TV. de alta definición (HDTV).

ELECCION DE PARAMETROS

Cuando se introdujo el servicio de TV. en blanco y negro (B/N) hubo que elegir una serie de parámetros para configurar el sistema. Desgraciadamente, por desacuerdos mas o menos justificados en la elección de estos parámetros, no surgió un sistema universal, sino varios sistemas locales; lo cual ha obligado a sufrir muchas penalidades cuando hubo que transmitir informaciones televisivas entre países con diferentes sistemas. Veamos el proceso de elección de parámetros.

Para disminuir en lo posible la percepción de los defectos en las imágenes reproducidas, causados por falta de regulación de la fuente de alimentación, era recomendable tomar un número de imágenes por segundo (frecuencia de imagen) que fuera múltiplo de la frecuencia de red. Al mismo tiempo, para tener una sensación de parpadeo (flicker) tolerable, se han de visualizar más de 40 imágenes por segundo. Esto llevó a

adoptar una frecuencia de imagen F_i igual a la de red (50 Hz. ó 60 Hz. según el país).

En la elección del número de líneas para explorar la imagen, se tuvo en cuenta que este número de líneas N_L , determina la máxima definición de la imagen en sentido vertical y que fijada la frecuencia de imagen, N_L también determina la frecuencia de líneas $F_L = N_L * F_i$ número de (líneas/segundo). Debido a fenómenos de magnetostricción, tanto la bobina de desviación, como los transformadores de salida de líneas, vibran produciendo un sonido apreciable y molesto si no se toma la frecuencia de líneas en el extremo alto de la gama audible. Considerando el poder de resolución del sistema visual humano, la distancia mas probable del espectador a la pantalla y las características del oído, todos los sistemas de TV. eligieron una frecuencia de líneas de alrededor de 15'6 Khz., teniendo 525 líneas/imagen el grupo de 60 imag./seg. y 625 el de 50 imag./seg.

La relación de aspecto (anchura/altura) se tomó igual a la que el cine usaba en aquellos días, 4/3.

Actualmente en los futuros sistemas de alta definición, la tendencia es tomar una relación de aspecto de 16/9 dando una imagen más panorámica como lo ha hecho también el cine.

La definición horizontal, $D_H =$ número de ciclos por anchura de imagen (n° . máximo de cambios de blanco a negro a lo largo de una línea de exploración), junto con los parámetros definidos anteriormente,

determina la anchura de banda de transmisión B necesaria:

$$B = n^\circ \text{ de ciclos/línea} * n^\circ \text{ de líneas/imagen} * n^\circ \text{ imag./seg.}$$

$$B = D_H * N_L * F_i \text{ ciclos/seg.}$$

Si tomamos para F_i valores de 50 ó 60 imágenes por segundo, la anchura de banda resulta demasiado grande, por lo que se recurrió a hacer una exploración entrelazada 2:1, que consiste en descomponer una imagen en dos campos, uno formado por las líneas impares y otro por las líneas pares y enviarlos secuencialmente, tomando para cada campo 1/50 ó 1/60 segundos, lo cual permite dividir por dos el ancho de banda, puesto que en cada campo se envían $N_L/2$ líneas, conservando una sensación de parpadeo tolerable. Desgraciadamente, el entrelazado produce una sensación de «temblor de líneas» (line flicker) en las partes de imagen con variaciones bruscas de brillo en sentido vertical (bordes horizontales)

En cuanto a la transmisión de la información de audio, todos los sistemas existentes eligieron la modalidad de modular en AM o FM con la señal de sonido, a una subportadora cuya frecuencia está situada inmediatamente por encima del extremo superior de la banda de video, habiéndose elegido 4'5 Mhz. en el grupo de 60 Hz. y 5'5 Mhz. en el de los 50 Hz.

LA TV EN COLOR

A finales de la década de los 40 se iniciaron las transmisiones de TV. color. En el primer sistema usado se transmitían secuencialmente tres

campos completos, pertenecientes a cada uno de los tres componentes de color: rojo, verde y azul. Este sistema tenía el inconveniente de no ser compatible con los sistemas de blanco y negro ya existentes. Tras unos años de laboriosas investigaciones, los americanos adoptaron en 1953 el sistema NTSC (National Television System Committee) compatible con la TV. monocroma. Este sistema logra dividir la información de una imagen, en dos señales, una que contiene la información de brillantez (luminancia Y) aprovechada por la TV en B/N y otra que contiene la información de color (crominancia C). Dado que el ojo humano tiene un poder de resolución aproximadamente cuatro veces menor para discernir detalles de colorido que detalles de brillo, es posible reducir el ancho de banda de la señal de crominancia en un factor de cuatro. Con esta señal de crominancia reducida, se modula en amplitud y fase una subportadora cuya frecuencia está situada dentro de la parte superior del espectro de la señal de luminancia y se añade a ella para formar la señal compuesta Y + C.

Con objeto de disminuir la visibilidad de la subportadora, para su frecuencia se eligió un múltiplo impar de media frecuencia de líneas $f_{SC} = 455 f_L/2$.

La presencia de las subportadoras de color f_{SC} y de sonido f_a puede producir un batido visible en la imagen reproducida, para disminuir en lo posible la perceptibilidad de éste batido, se forzó a que su frecuencia ($f_a - f_{SC}$) fuese también un múltiplo impar de media frecuencia de líneas. Para que esto se cumpla basta con que f_a sea un múltiplo de f_L , puesto que $f_{SC} = (2K + 1) f_L/2$. En los sistemas pertenecientes al grupo de los 50 Hz., la frecuencia elegida para subportadora de audio 5'5 Mhz., cumple esta condición $5'5 * 10^6 = 352 * f_L$ siendo $f_L = 625 * 50/2 = 15625$.

En los sistemas pertenecientes al grupo de los 60 Hz., se optó por mantener la frecuencia de audio ya existente en TV. B/N y modificar ligeramente la frecuencia de campo f_p esperando que los márgenes de en-

ganche de los receptores de B/N absorberían perfectamente esta ligera diferencia. Las nuevas frecuencias de cuadro y de línea se calcularon de la forma siguiente:

$$\begin{aligned} N * f_L &= f_a = 4'5 * 10^6 \\ f_p &= 2 * 4'5 * 10^6 / 525 * N \\ f_L &= 525 * f_p / 2 \end{aligned}$$

(N ha de ser el número entero que dé para f_C el valor más próximo a 60 Hz).

Resultando finalmente:

$$\begin{aligned} N &= 286 ; f_p = 59.94 \\ f_L &= 15734'266 \\ f_{SC} &= 455 * f_L / 2. \end{aligned}$$

En el sistema NTSC, la fase de la subportadora de crominancia lleva la información del tinte del color recuperado, por tanto distorsiones de fase, se traducen en variaciones de tinte que degeneran la imagen notablemente.

Para evitar esta desventaja Francia propuso un nuevo sistema llamado SECAM (Sequentiel A Memoire) que transmite las dos componentes de crominancia secuencialmente línea a línea, usando una portadora modulada en frecuencia. Alemania propuso el sistema PAL (Phase Alternation on Lines) que como el NTSC usa una modulación en fase y amplitud para transmitir la crominancia, pero con la diferencia que una de las componentes cambia de signo línea a línea, con lo que logra convertir los errores de tinte del NTSC en errores de saturación mucho menos notables para el ojo humano.

Desgraciadamente, una vez más, no se llegó a un acuerdo en la adopción de un sistema único de TV. en color, coexistiendo en este momento tres sistemas mutuamente incompatibles: NTSC, SECAM y PAL.

Los tres sistemas tienen en común que las señales de luminancia «Y» y crominancia «C» comparten la misma banda de frecuencias, ver (fig.7a), aunque con distribuciones espectrales diferentes dentro de dicha banda, formando la llamada señal compuesta Y + C. Esto permite compatibilidad con los sistemas de blanco y negro, pero implica problemas de información cruzada entre Y y C (crosstalk): Las componentes de alta

frecuencia de luminancia pueden ser interpretadas como señales de crominancia (cross-color) produciendo irisaciones coloreadas superpuestas en las zonas de la imagen con detalle muy fino, la señal de crominancia puede ser interpretada como luminancia dando un granulado en la imagen (cross-luminancia).

LA TV EN EL ESPACIO FRECUENCIAL (Carácter tridimensional)

Como paso previo a la descripción de las técnicas hoy en día empleadas para mejorar la calidad de imagen en TV., haremos una rápida descripción de la distribución espectral de una imagen explorada.

Conceptos de frecuencia espacial y f frecuencia temporal

Supongamos que a lo largo de una línea L en una imagen hay una variación de brillo senoidal (fig.1). Llamaremos frecuencia espacial en esa dirección al número de ciclos de variación senoidal de brillo incluidos en una unidad de longitud. Podremos decir que en la dirección L la frecuencia espacial es de n ciclos por cm. o de N ciclos por metro. En TV., con objeto de independizar las medidas de frecuencia de las dimensiones de la pantalla, se suele tomar la frecuencia

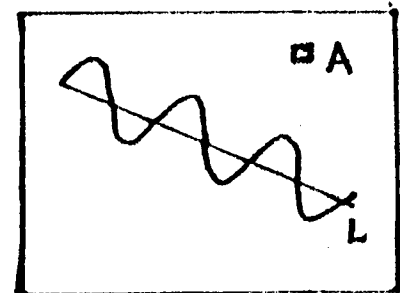


fig.1

vertical en ciclos por altura de imagen y la frecuencia horizontal en ciclos por anchura de imagen.

Si el brillo de un determinado elemento de imagen (A) varía con el tiempo de forma senoidal, diremos que la frecuencia temporal del brillo de dicho elemento es el número de ciclos de variación de brillo efectuados en una unidad de tiempo. Normal-

mente la frecuencia temporal en TV se mide en ciclos por segundo.

Llamaremos definición espacial de un sistema de TV a la máxima frecuencia espacial que dicho sistema pueda reproducir fielmente en una determinada dirección.

En TV la definición vertical suele expresarse en ciclos por altura de imagen y la definición horizontal en ciclos por anchura de imagen.

Como es sabido el proceso de exploración de una imagen llevado a cabo por la cámara, se efectúa leyendo

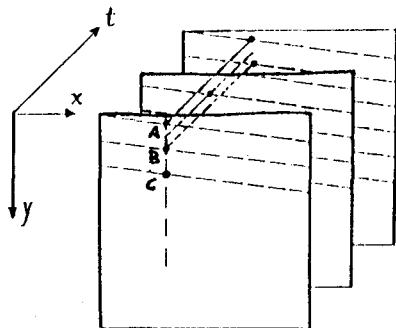


fig 2

un mapa eléctrico de la imagen línea a línea, acabada de leer una imagen, se comienza a leer la siguiente y así sucesivamente. Si observamos la figura 2, vemos que en sentido horizontal la lectura a lo largo de una línea es totalmente analógica, es decir, todas las variaciones de brillo se transforman en variaciones de señal.

No ocurre igual a lo largo de una línea vertical puesto que solo tomamos información de los puntos (elementos de imagen) A, B, C, ... sobre los cuales pasa una línea de exploración. Esto nos dice que cuando se explora la imagen se hace un muestreo en dirección vertical y que el número de muestras tomadas por altura de imagen es igual al número de líneas activas (líneas visibles en la pantalla).

Si ahora nos fijamos en un determinado elemento de imagen, su brillo, en una imagen animada, en general variará con el tiempo, sin embargo cuando se explora la imagen, solo se lee el brillo de cada uno de sus elementos cuando una línea de exploración pasa sobre él, es decir una vez cada periodo de imagen, lo

cual nos dice que en sentido temporal el brillo de cada pixel (elemento de imagen) se muestrea con una frecuencia de muestreo igual a la frecuencia de imagen (número de imágenes por segundo).

Una expresión matemática del brillo de una imagen es $B = f(x, y, t)$ donde x e y (coordenadas espaciales) representan el lugar de la imagen ocupado por un pixel y t el instante en que se lee su brillo. Si mediante una transformada de Fourier pasamos al dominio frecuencial tendremos un espectro tridimensional expresado por $S(f_x, f_y, f_t)$ (Ver figura fig.3)

Como se ha visto antes al explorar la imagen línea a línea e imagen a imagen, se hace un muestreo en sentido vertical y en sentido temporal por lo cual el espectro de la imagen explorada estará compuesto por una

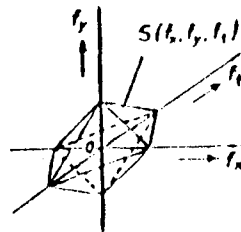


fig 3

repetición de espectros como el de la fig.3 en ambos sentidos, como puede verse en la fig.4. El periodo de repetición de espectros en sentido vertical será igual a la frecuencia de muestreo que como hemos visto es el número de líneas activas $N_{La} = f_y$. El periodo de repetición de espectros en sentido temporal será igual a la frecuencia de

muestreo temporal, o sea igual al número de imágenes por segundo f_p , cuando f_y se expresa en ciclos/altura y f_t en ciclos/segundo.

Veamos ahora la interrelación entre el contenido de una imagen y la forma de ser explorada, para lo cual observaremos la sección espectral en el plano (f_y, f_t)

En la figura 5a vemos el espectro de una imagen, cuyas variaciones de brillo en sentido vertical son suaves (no hay bordes muy definidos) y la variación de brillo de cada uno de sus pixels es lenta (no hay movimientos rápidos en la escena). Por lo cual con el n° de líneas por imagen N_{La} y la cantidad de imágenes por segundo f_p , veremos una reproducción fiel.

En la figura 5b vemos el espectro de una imagen con variaciones bruscas de brillo en sentido vertical (bordes nítidos horizontales) y poca cantidad de movimiento en la escena. Podemos observar como los espectros repetidos invaden el espectro principal (aliasing). El efecto es que en la imagen reproducida aparecen componentes no deseadas (C.N.D.) procedentes de las altas frecuencias verticales generadas por los cambios bruscos de brillo. Para evitar estos «artefactos» habría que explorar la imagen con un mayor n° de líneas o bien hacer un prefiltrado vertical que suavizase los bordes de la imagen original.

En la figura 5c vemos el espectro de una imagen con variaciones lentas de brillo en sentido vertical y gran cantidad de movimientos en la escena (imágenes muy animadas). Observamos ahora como los espec-

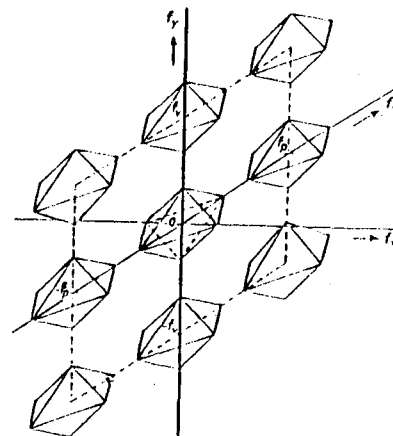


fig 4

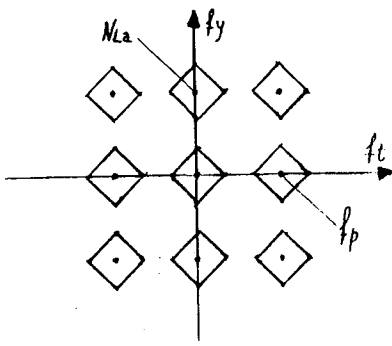


fig. 5a

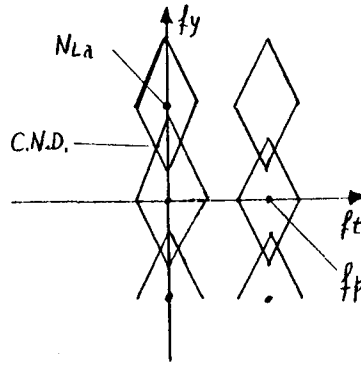


fig. 5b

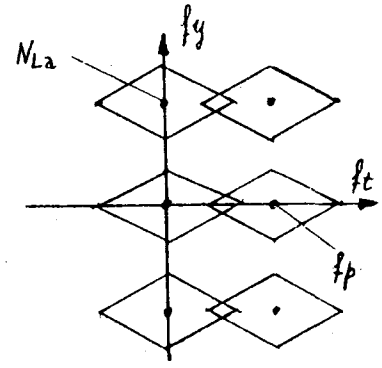


fig. 5c

ros repetidos en sentido temporal invaden el espectro principal (aliasing temporal). Esto produce «artefactos» de muy diversa índole: bordes borrosos, colas, fenómenos estroboscópicos como ruedas paradas o girando al revés, etc. Para evitar estos «artefactos» tendríamos que tomar más imágenes por segundo, con lo que evidentemente los espectros secundarios se separarían del principal hasta no solaparse.

De lo anteriormente dicho podemos ver que la máxima frecuencia vertical (ciclos/altura) que un sistema puede reproducir fielmente es igual a la mitad de sus líneas activas, es decir, la definición vertical es $N_{La}/2$ ciclos/altura.

La máxima frecuencia temporal reproducible es igual a la mitad del número de campos por segundo.

Expresando la definición horizontal D_H en ciclos/anchura o lo que es lo mismo en ciclos por línea, vemos que la anchura de banda requerida es:

$$B = D_H \text{ c/línea} * N_L \text{ líneas/imagen} * f_p/2 \text{ imagenes/seg.}$$

$$B = D_H * N_L/2 * f_p \text{ ciclos/seg.}$$

vemos que la anchura de banda del sistema es el producto de las definiciones horizontal, vertical y temporal. Esta propiedad es la que aprovecha el sistema Europeo de alta definición subdividiendo la imagen en pequeñas subimágenes o bloques y enviando las partes fijas de la imagen con alta definición espacial y baja definición temporal (no es necesaria) y las partes móviles con baja definición espacial (el ojo no la aprecia en caso de movimiento no coherente) y alta definición temporal, aprovechando así el ancho de banda disponible.

Relacionemos ahora el poder de resolución del ojo humano con el espectro de una imagen explorada. El poder resolutivo espacial del ojo humano medio es de 60 ciclos/grado, es decir es capaz de apreciar una variación senoidal de brillo a lo largo de una línea viendo 60 ciclos bajo un ángulo de 1 grado.

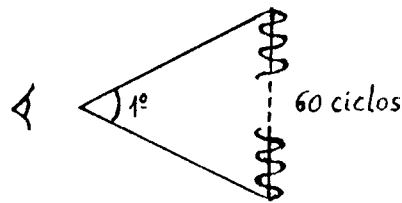


fig. 6

Si consideramos ahora una imagen plana (sin variación espacial de brillo) cuya luminosidad varía senoidalmente con el tiempo, el ojo es capaz de apreciar esta variación de brillo (parpadeo) hasta que su frecuencia alcance unos 70 ciclos/segundo, lo cual puede interpretarse como «poder de resolución temporal del ojo».

Las figuras 6a y 6b muestran el espectro de una imagen explorada

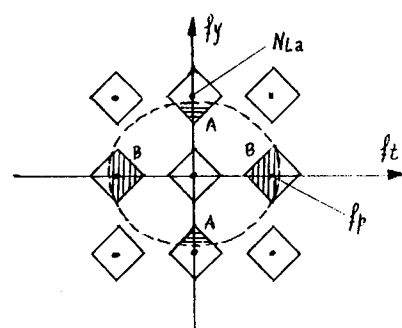


fig. 6a

con exploración progresiva y entrelazada respectivamente. La elipse superpuesta representa el poder de resolución espacio-temporal del ojo de un espectador situado a una determinada distancia de la imagen. Aunque no haya aliasing, observamos que el ojo es capaz de captar energía (no deseada) contenida en los espectros secundarios (areas A, B y C), produciendo los siguientes efectos:

Area (A) Visión de las líneas de exploración

Area (B) Parpadeo de grandes areas de imagen de alto brillo. (Large area flicker)

Area (C) Temblor de bordes horizontales (line flicker)

Estos defectos hasta ahora tolerados se hacen mas palpables con la aparición de pantallas de mayores dimensiones y mayor luminosidad.

Espectro unidimensional de la señal de TV.

Hemos visto que la distribución de brillo de una imagen puede expresarse analíticamente por la función $B = f(x, y, t)$ la cual tiene un carácter tridimensional. Para transmitir esta información por un único canal, tenemos que, de alguna manera, transfor

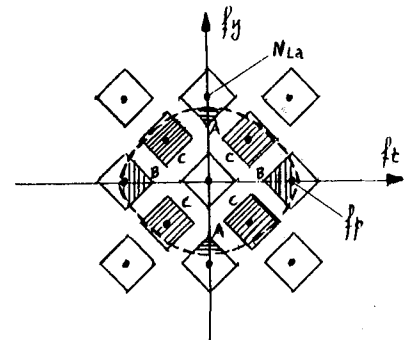


fig. 6b

mar $f(x,y,t)$ en una función unidimensional. Esta transformación se lleva a cabo en la cámara mediante la exploración, haciendo $x = v_1t$ e $y = v_2t$; siendo respectivamente v_1 y v_2 las velocidades en los sentidos horizontal y vertical del punto explorador, obteniendo así una función unidimensional de brillo $B = F(t)$.

El proceso seguido en la TV en color es descomponer una imagen en sus componentes roja, verde y azul, mediante filtros ópticos; explorar cada una de las componentes obteniendo tres funciones de brillo unidimensionales $R = f_r(t)$, $G = f_g(t)$ y $B = f_b(t)$. En un codificador se combinan estas señales para obtener la señal de luminancia $Y = Y(t)$ y la señal de crominancia $C = C(t)$. Posteriormente se traslada el espectro de $C(t)$ modulando una subportadora f_{sc} y por último se suman ambas señales para formar la señal de video compuesta $Y + C$.

La fig.7a muestra los espectros unidimensionales de Y y C a nivel de envolvente. Si observamos la parte del espectro compartida por Y y C vemos (fig.7b) que las componentes de luminancia se concentran en paquetes situados alrededor de los múltiplos de frecuencia de línea $K * FL$, mientras las componentes de crominancia se concentran en paquetes situados en los múltiplos impares de media frecuencia de línea $(2K + 1) FL/2$ en el NTSC y en $(K/4)FL$ en el PAL; si observamos

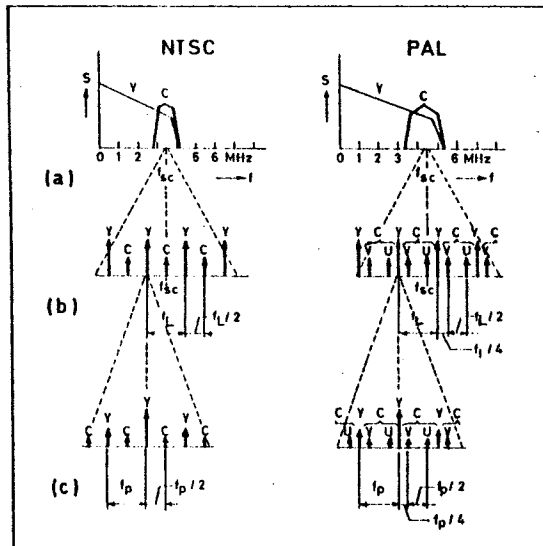


fig.7

la estructura de cada paquete (fig.7c) vemos que las componentes de luminancia están separadas entre sí por intervalos equivalentes a una frecuencia de campo f_p estando las componentes de crominancia intercaladas a $f_p/2$ en NTSC y a $(K/4)f_p$ en PAL. La causa de que en PAL, las componentes espectrales de las señales U y V de crominancia ocupen posiciones distintas es debido a la conmutación V efectuada línea a línea en este sistema.

Pedro Vicente del Fraile .

Doctor Ingeniero de Telecomunicación. Empezó su carrera profesional en 1961 en la empresa Iberia Radio, donde ocupó el cargo de Jefe de la División de Radio y Jefe de Laboratorio, sucesivamente. En 1967 se incorpora a Copresa S.A. también como Jefe de laboratorios; desde 1978 es Asesor Técnico de Dirección en dicha empresa, dedicándose al estudio y promoción de nuevas tecnologías, en especial las relacionadas con la TV.

Director de la revista Miniwatt, ha escrito más de 60 artículos en esta y otras publicaciones especializadas. Es miembro del consejo Asesor de Mundo Electrónico.

Profesor de la asignatura de TV en la ETSIT de Barcelona.

En la actualidad es miembro de la junta Directiva y Presidente de la comisión de Tecnología, Normalización y Homologación de ANIEL, así como miembro del Comité organizador de Expotrónica.

