

INFORME UIT-R BT.2018

**ESTUDIO DE LA SEÑAL PARA LA COMPENSACIÓN DE IMÁGENES FANTASMA
DEL SISTEMA C PARA LA EVALUACIÓN Y CORRECCIÓN DE LA
DISTORSIÓN LINEAL EN LA CADENA DE TELEVISIÓN**

(Cuestión UIT-R 55/11)

(1998)

Muchos países están interesados en mejorar la calidad de funcionamiento de las actuales redes de radiodifusión de televisión.

La corrección automática en los receptores de las distorsiones que se han acumulado en la cadena de televisión es uno de los medios más eficaces de aumentar la calidad real de la cadena. A tal efecto, la Recomendación UIT-R BT.1124 define las señales de referencia para la compensación de imágenes fantasma (GCR) a fin de corregir las distorsiones lineales en los receptores; dichas señales pueden utilizarse igualmente para la corrección de distorsiones en secciones concretas de las cadenas de televisión complejas y también sirven para evaluar dichas distorsiones.

Actualmente, se están introduciendo varios módulos de mejora en los actuales servicios de televisión. La corrección de la distorsión lineal se considera uno de los objetivos más importantes de los módulos de mejora.

Algunos países emplean hoy en día sistemas analógicos con una anchura de banda de vídeo de 6 MHz y tienen previsto introducir en el futuro el sonido digital NICAM. Por consiguiente, cabe esperar que se utilicen dos anchuras de banda para la señal de luminancia: 6 MHz (sin sonido digital) y 5 MHz (con sonido digital). De ahí el interés que tiene la cuestión relativa a señales GCR de 5 MHz y de 6 MHz.

En 1996 se publicó un Informe [Doc. 11A/42) donde figuran algunos resultados de los estudios sobre la señal GCR del Sistema C.

El presente Informe resume los resultados de otros estudios (Doc. 11A/80) sobre este tema.

1 Corrección automática de las distorsiones lineales como parte del concepto de televisión analógica mejorada

El concepto de televisión analógica mejorada supone la utilización de un formato de imagen de pantalla ancha de 16:9, sonido digital y calidad de imagen mejorada en comparación con la televisión convencional.

La realización de este concepto se basa en el empleo de procesamiento digital de la señal.

En algunos textos del UIT-R (Recomendación UIT-R BT.1118 – Televisión mejorada compatible de pantalla ancha basada en los sistemas de televisión convencionales, Recomendación UIT-R BT.1197 – Sistema de transmisión de televisión PAL de pantalla ancha mejorada (sistema PALplus) y Recomendación UIT-R BT.1298 – Sistema de transmisión de televisión NTSC mejorada de pantalla ancha y en el Doc. 11A/8) se describen los principios y se dan algunos detalles sobre la construcción de los sistemas de televisión mejorada.

Una de las características más importantes de estos sistemas es la mejora en la calidad de imagen que se logra mediante:

- utilización de fuentes de señal de alta calidad (componente de estudio digital);
- utilización de preprocesamiento y postprocesamiento de señal intratrama, lo que permite una separación más eficaz de las señales de luminancia y crominancia en el proceso de decodificación;
- corrección en el receptor de las distorsiones lineales acumuladas en el trayecto de televisión (proceso denominado en los textos del UIT-R «compensación de imágenes fantasma»).

La corrección automática de las distorsiones lineales tiene importancia tanto para la televisión mejorada como para la televisión convencional. Introduciendo un dispositivo para la compensación de imágenes fantasma en el receptor pueden eliminarse rápidamente las distorsiones lineales que se han ido acumulando en los trayectos de televisión multicadena, con las consiguientes mejoras en la resolución de luminancia y crominancia y en la decodificación del teletexto.

2 La cuestión de la normalización de la señal de prueba GCR

La Recomendación UIT-R BT.1124 (Señales de referencia para la compensación de imágenes fantasma en sistemas de televisión analógica) define tres sistemas de señal, GCR A, GCR B y GCR C.

En Europa, y en muchos otros países, la señal C es la de mayor interés. El objetivo directo de esta señal consiste en reducir las señales de eco acumuladas en el trayecto de recepción de televisión. La señal GCR también puede aplicarse para estimar y corregir rápidamente las distorsiones lineales comunes [Gofaizen, 1995a y b] y (Doc. 11A/42).

La corrección de las distorsiones es posible tanto en el receptor de televisión como a la entrada de cada enlace en la cadena de distribución y transmisión. Teniendo en cuenta que las distorsiones lineales pueden provocar efectos no lineales y empeorar las características de ruido de la imagen, la utilización de corrección automática de distorsiones no lineales no excluye la necesidad de controlar estas distorsiones en cada enlace. Por consiguiente, la estimación de las distorsiones lineales es posible utilizando varios criterios. El empleo de tecnologías de ordenador permite establecer estos criterios mediante métodos informáticos.

En los estudios llevados a cabo en Ucrania (Doc. 11A/80) se han tenido en cuenta los hechos siguientes:

- la posible utilización de la señal GCR del Sistema C utilizando funciones ventana alternativas, sugeridas en [Gofaizen, 1995a y b] y (Doc. 11A/42), con objeto de mejorar la precisión en la estimación de las distorsiones;
- reconociendo que la señal GCR ya está normalizada, toda modificación deberá ser compatible con la utilización actual de la señal en un cierto número de países; deben estudiarse los aspectos de la compatibilidad de cualquier modificación;
- una señal GCR optimizada debe tener una mayor inmunidad frente al ruido causado por la interferencia procedente de canales adyacentes que la señal GCR normalizada (la ganancia de inmunidad frente al ruido debe considerarse el resultado de la optimización);
- la introducción de una señal GCR optimizada no debe provocar un aumento en los costes de los equipos.

Por consiguiente, en el proceso de elección de una señal GCR para algunos países, se consideró que era necesario realizar nuevos estudios para buscar la solución más eficaz teniendo en cuenta estos temas.

3 Descripción matemática de la señal GCR y análisis de sus propiedades básicas

Koo [1995] describe las propiedades de lo que se conoce en el UIT-R como la señal GCR del Sistema C.

Continuaron las actividades sobre este análisis y se complementó con los trabajos cuyos resultados figuran en [Gofaizen, 1995a y b] y (Doc. 11A/42).

A continuación figura una descripción y análisis alternativos recientes de la misma señal del Sistema C, obtenidos como consecuencia de los últimos estudios:

En (Doc. 11A/42) se demuestra que la señal GCR puede representarse mediante la fórmula:

$$g(t) = \frac{A}{2\pi} \int_{-\Omega}^{\Omega} e^{j \operatorname{sign}(\omega) b \omega^2} W(\omega) e^{j\omega t} d\omega, \quad (1)$$

siendo:

$$W(\omega) = \int_{-mT}^{mT} w(t) e^{-j\omega t} dt$$

$$w(t) = q(t) s(t)$$

$$q(t) = \cos^2 \frac{\pi}{2} \frac{t}{mT}$$

$$s(t) = \frac{m-2}{mT} \operatorname{sinc} \pi \frac{m-2}{m} \frac{t}{T}$$

$$\operatorname{sign}(\omega) = \begin{cases} -1 & \text{para } \omega < 0 \\ 0 & \text{para } \omega = 0 \\ 1 & \text{para } \omega > 0 \end{cases}$$

$$\operatorname{sinc} x = \frac{\operatorname{sen} x}{x}$$

Los valores de los parámetros de esta señal que figuran en la Recomendación UIT-R BT.1124 son los siguientes:

$$A = 0,30358 \times 10^{-6} \text{ V}$$

$$b = 0,2829 \times 10^{-12} \text{ s}^2/\text{rad}$$

$$\Omega = 2\pi \times 5,5 \times 10^6 \text{ rad/s}$$

$$\Omega_1 = 2\pi \times 5 \times 10^6 \text{ rad/s}$$

$$c = 0,9121 \times 10^6 \text{ rad/s.}$$

Los parámetros T y m en la ecuación (1) son:

$$T = \frac{m - 2}{m} \frac{\pi}{\Omega_1}$$

$$m = \frac{\Omega_1}{c} + 2$$

de manera que $T = 94,5 \text{ ns}$ y $m = 36,4439$.

En esta señal existen dos funciones ventana:

- $W(\omega)$ en el dominio de la frecuencia o su transformada de Fourier, $w(t)$, presentada en la fórmula; y
- $P(\omega)$ en el dominio de la frecuencia o su transformada de Fourier, $p(t)$. Esta función ventana no se deduce de la fórmula. Consiste en una función rectangular que limita el intervalo del producto $e^{j \text{sign}(\omega)b \omega^2} W(\omega)$ al integrarlo en ω .

La estructura de cada una de estas funciones ventana se representa en las Figs. 1 y 2, respectivamente.

La ecuación para la señal GCR en el dominio del tiempo puede representarse como se indica en [Gofaizen, 1995a y b] y (Doc. 11A/42):

$$g(t) = f(t) \otimes w(t) \otimes p(t) \quad (2)$$

siendo:

$$f(t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi b}} \left\{ \cos \left[\omega(t)t - \frac{\pi}{4} \right] + \frac{1}{\pi} \text{sen} \left[\omega(t)t - \frac{\pi}{4} \right] \otimes \frac{1}{t} \right\}$$

$$p(t) = \frac{\pi}{\Omega} \text{sinc } \Omega t$$

$$\omega(t) = \frac{t}{4b}$$

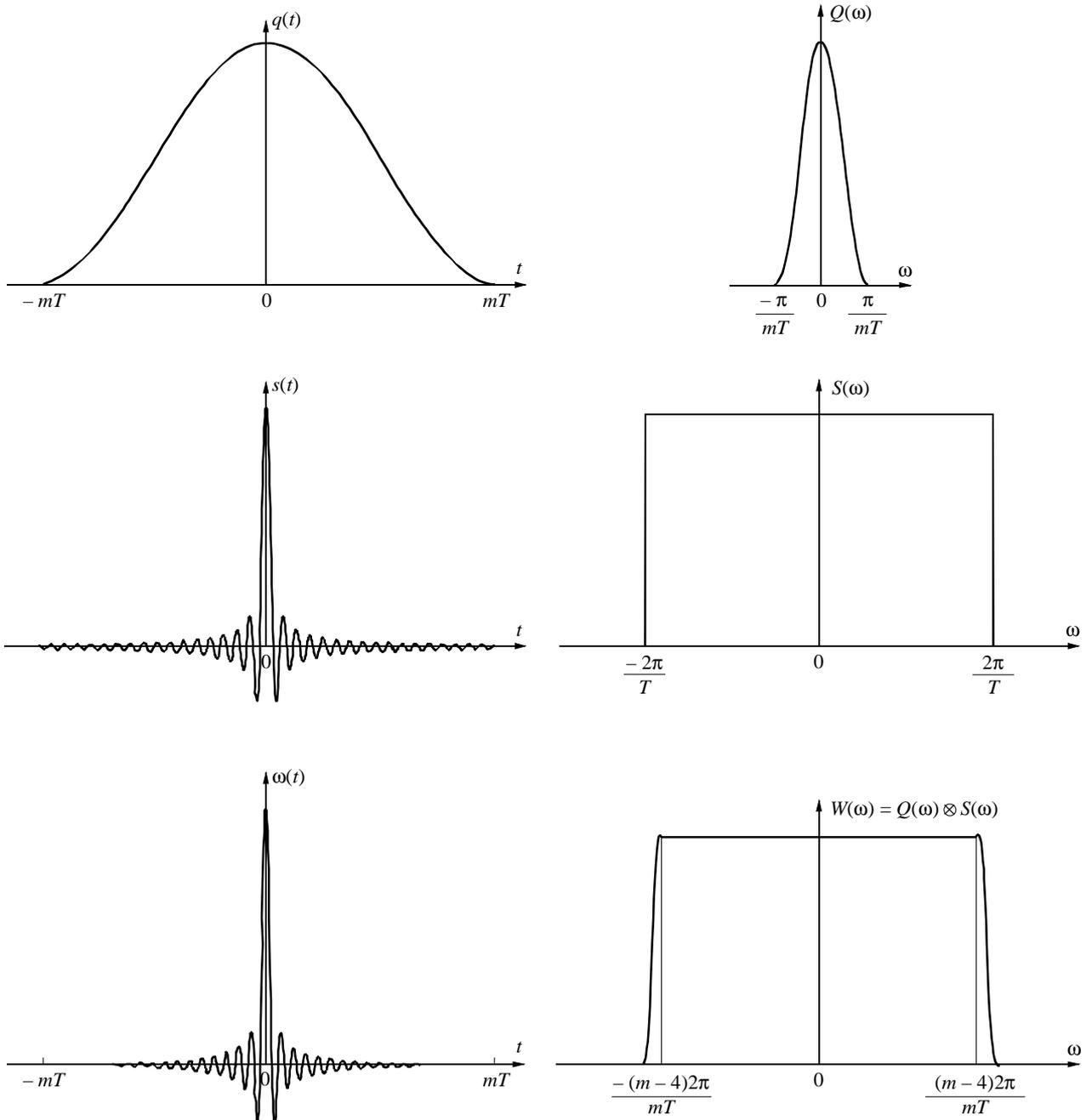
\otimes : signo de convolución.

En este caso, la función $\omega(t)$ demuestra la relación lineal entre el cambio de frecuencia y el tiempo.

La señal del Sistema C tiene las siguientes características inherentes [Koo, 1995]:

- alta energía,
- característica amplitud-frecuencia plana dentro de la anchura de banda de interés,
- característica de fase suave en la anchura de banda de interés,
- la característica de autocorrelación de la señal GCR está limitada en detrimento de la convolución por la función $\text{sinc } \Omega t$,
- para un nivel de energía determinado la duración de la señal GCR se minimiza,
- la característica espectral de la señal GCR es prácticamente insensible a las modificaciones en la frecuencia de muestreo y en la longitud de la palabra,
- la señal GCR es de valor real y, por lo tanto, se simplifica el equipo necesario para su utilización.

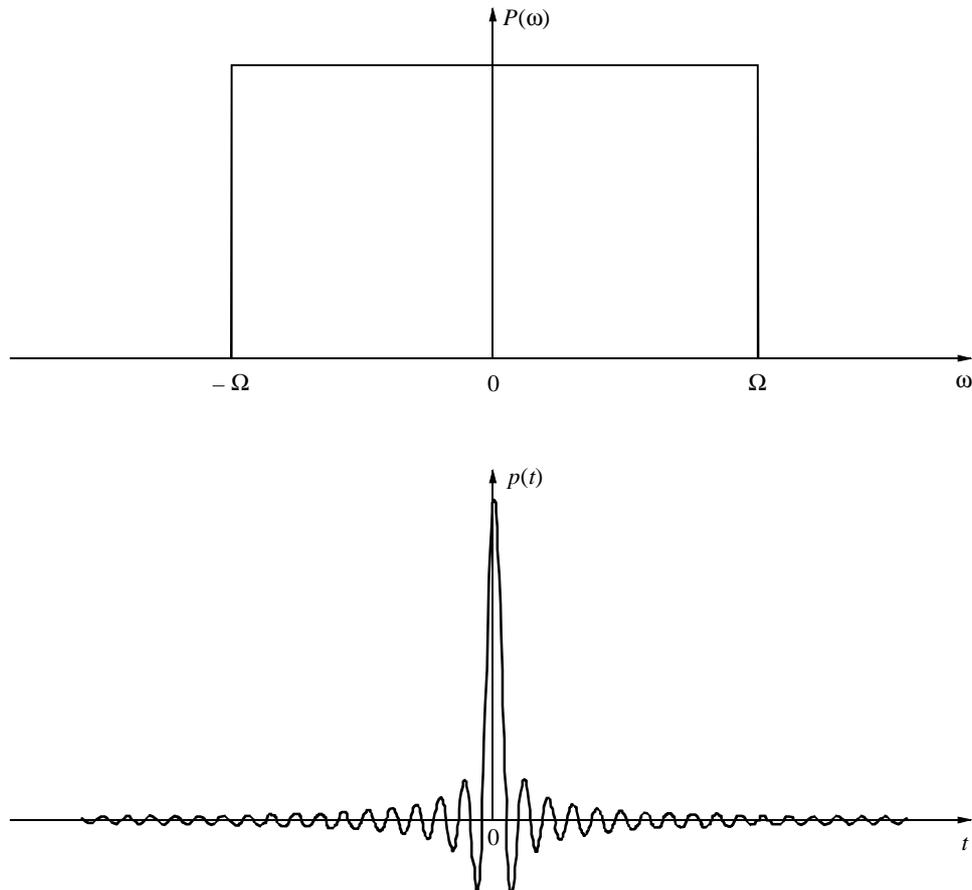
FIGURA 1
Estructura de la función ventana $W(\omega)$ en el dominio de la frecuencia y el dominio del tiempo



$Q(\omega)$, $S(\omega)$, $W(\omega)$: transformadas de Fourier de $q(t)$, $s(t)$, $w(t)$

Rap 2018-01

FIGURA 2
Estructura de la función ventana $P(\omega)$ en el dominio de la frecuencia y el dominio del tiempo



$P(\omega)$: transformada de Fourier de $p(t)$

Rap 2018-02

4 Análisis de los parámetros de la señal GCR en los dominios de la frecuencia y del tiempo

A continuación se indican las características de la señal GCR evaluadas utilizando dicho modelo.

La Fig. 3 muestra el prototipo de Fourier de la función ventana $w(t)$.

Las Figs. 4 y 5 representan la función ventana $W(\omega)$ en escalas lineal y logarítmica. $W(\omega)$ disminuye hasta los siguientes niveles relativos en las frecuencias indicadas:

-6 dB	a 5 MHz
valor inferior a -60 dB	a 5,5 MHz
valor inferior a -75 dB	a 6 MHz.

Al aumentar más la frecuencia se observa una tasa de atenuación de aproximadamente 20 dB/MHz.

Las Figs. 6 y 7 ilustran las dos polaridades de las señales GCR, líneas A y B.

FIGURA 3
Prototipo de Fourier de la función ventana

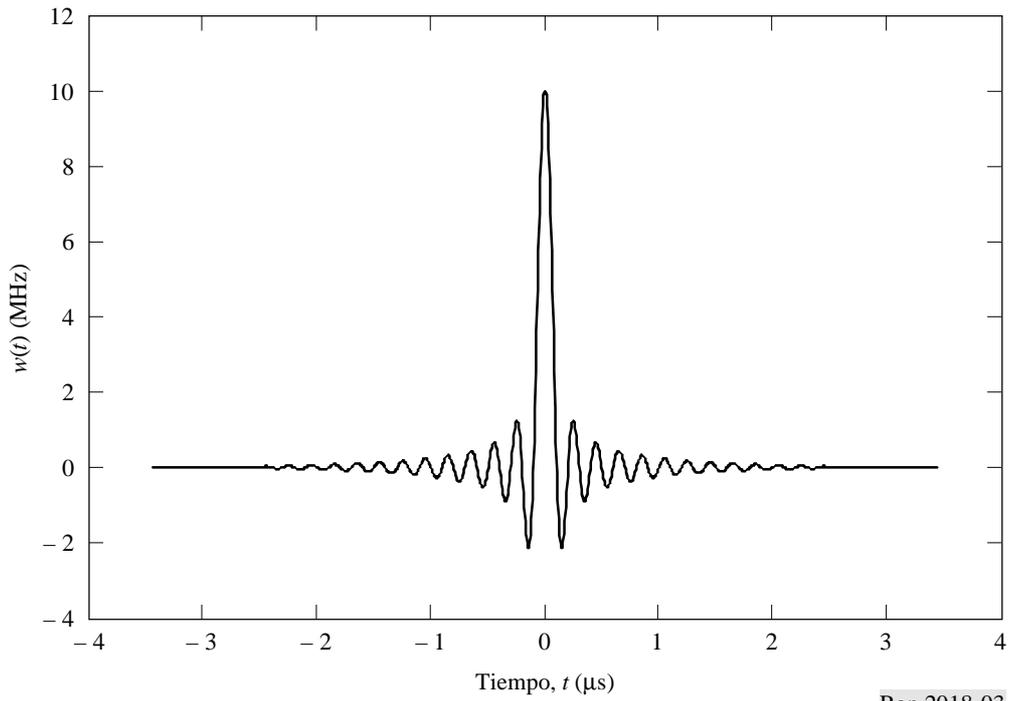


FIGURA 4
Función ventana en escala lineal

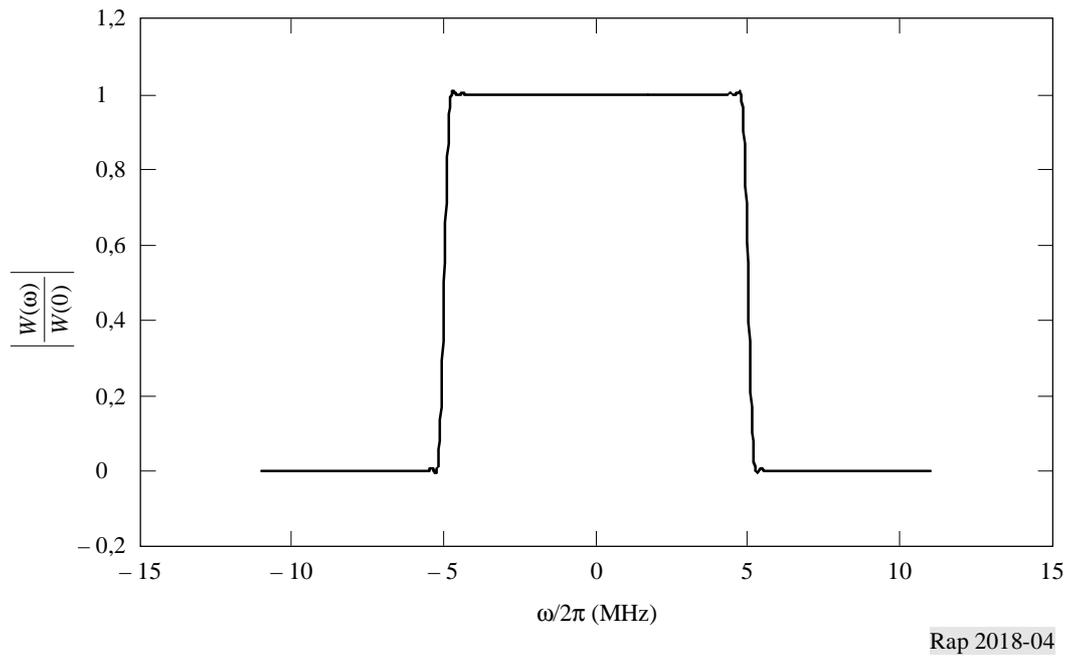
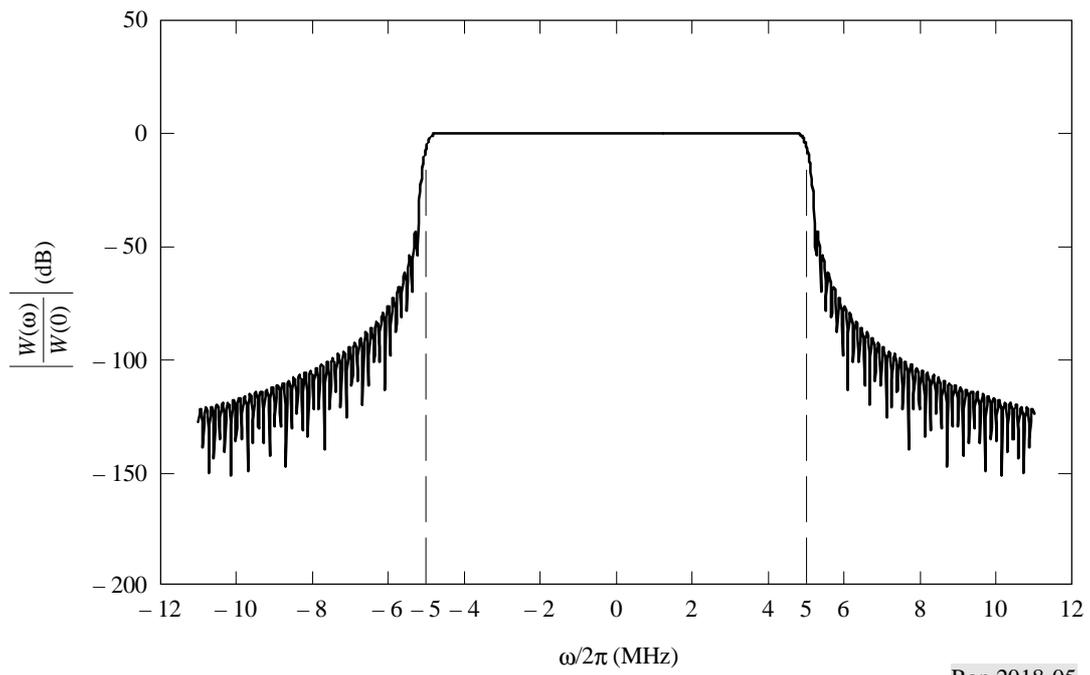
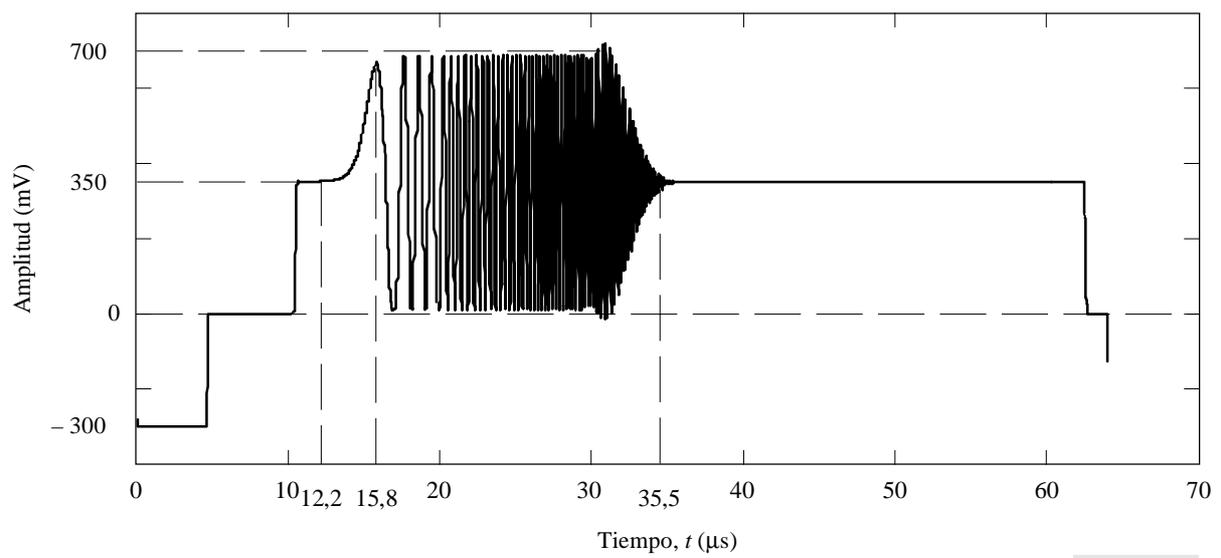


FIGURA 5
 Función ventana en escala logarítmica



Rap 2018-05

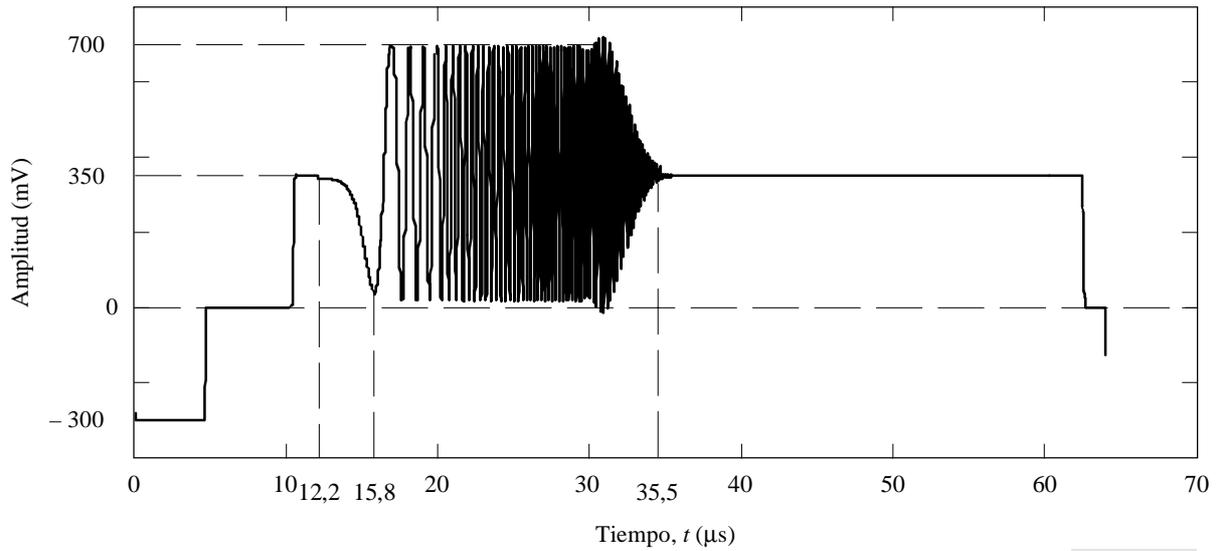
FIGURA 6
 Señal de línea A que contiene la señal GCR de polaridad positiva



Rap 2018-06

FIGURA 7

Señal de línea B que contiene la señal GCR de polaridad negativa



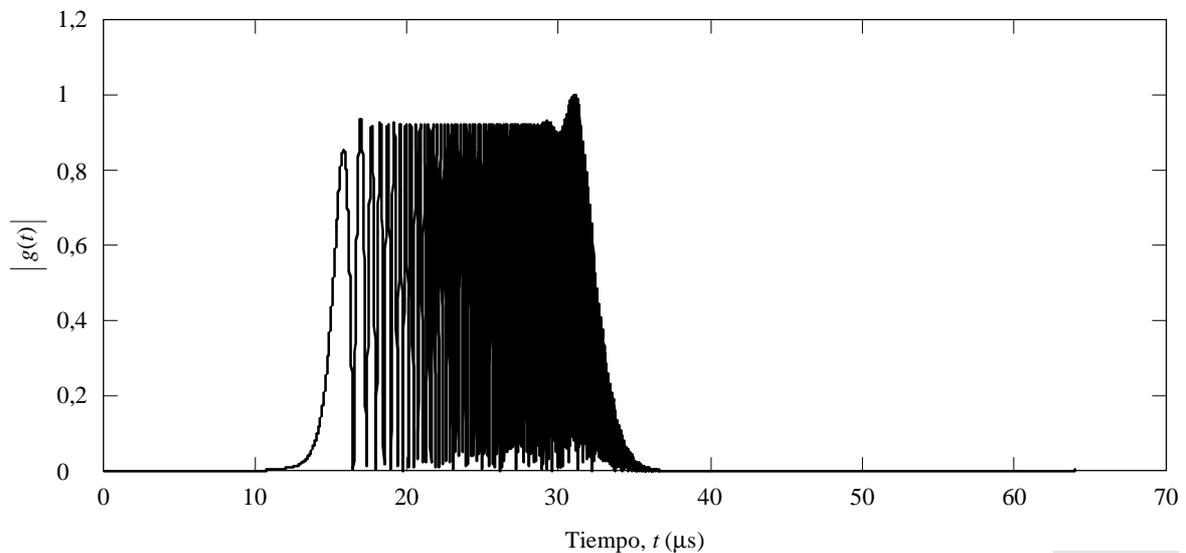
Rap 2018-07

En las Figs. 8 y 9 aparece la característica amplitud-frecuencia de la señal GCR en escala lineal y logarítmica, respectivamente, normalizadas a nivel unitario y de acuerdo con la Recomendación UIT-R BT.1124. La envolvente de la amplitud de la señal, normalizada al nivel unitario, alcanza los siguientes valores en los instantes indicados:

- 6 dB en $t = 15,1 \mu\text{s}$ y $t = 32,4 \mu\text{s}$
- 40 dB en $t = 12,4 \mu\text{s}$ y $t = 35,7 \mu\text{s}$
- 60 dB en $t = 9,4 \mu\text{s}$ y $t = 37,1 \mu\text{s}$.

FIGURA 8

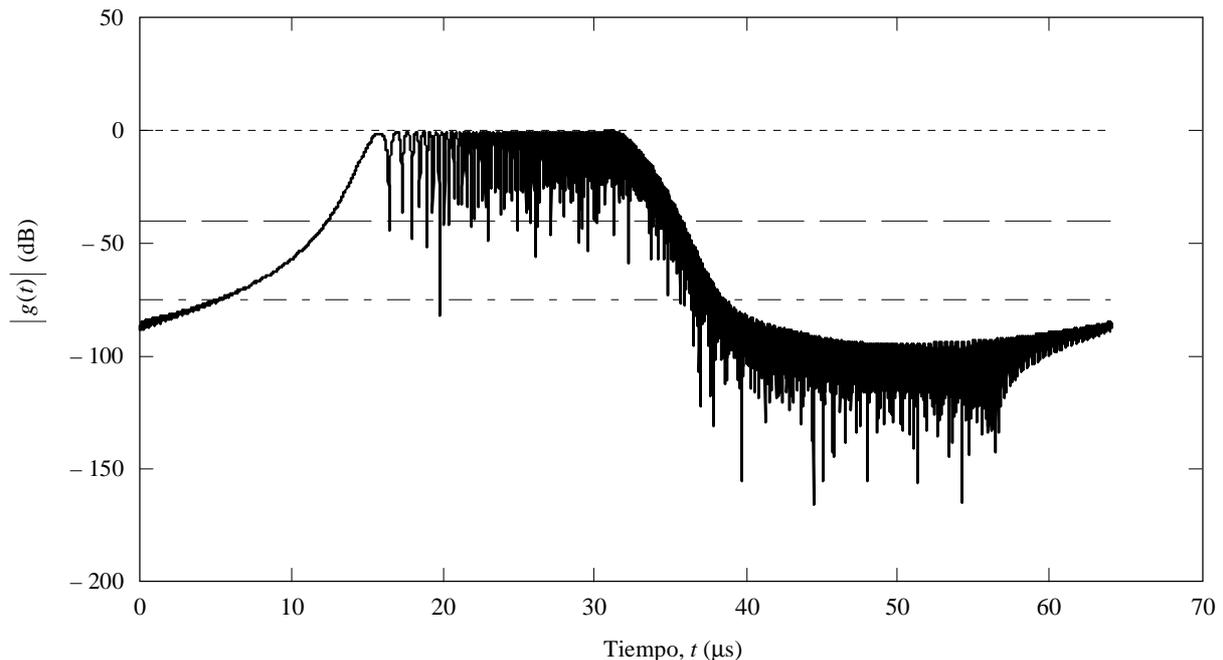
Magnitud de la señal GCR en escala lineal normalizada a nivel unitario



Rap 2018-08

FIGURA 9

Magnitud de la señal GCR en escala logarítmica normalizada a nivel unitario



Rap 2018-09

5 Análisis de las propiedades de la señal GCR

Para utilización práctica de la señal GCR conviene determinar cómo influyen diversos factores en la precisión para estimar las distorsiones, ajustando los parámetros de la señal de referencia.

La señal GCR posee una importante propiedad: su energía fuera de los dominios de tiempo y frecuencia especificados es insignificante. En el dominio del tiempo, fuera del intervalo especificado (para $t < 12,2 \mu\text{s}$ y $t > 35,4 \mu\text{s}$) el nivel residual es inferior a -40 dB . En un intervalo ligeramente mayor (para $t < 11 \mu\text{s}$ y $t > 36 \mu\text{s}$) el nivel residual es inferior a -60 dB . En el dominio de la frecuencia, para $f > 5 \text{ MHz}$ la densidad espectral pasa a ser rápidamente insignificante. Por ello, en la práctica esta señal tolera cambios en las características de frecuencia fuera de la anchura de banda nominal de 5 MHz . Además, por estas razones, y también con relación a la utilización de la señal GCR con polaridad alternativa, las partes adyacentes de la señal de televisión no influyen en las mediciones de las distorsiones realizadas utilizando la señal GCR.

Se han realizado otras evaluaciones para determinar la influencia de ciertos factores:

– *Influencia de la restricción de la señal en el dominio del tiempo*

De acuerdo con la Recomendación UIT-R BT.1124, los límites de la señal corresponderán a muestras temporales tomadas en $t = 12,2 \mu\text{s}$ y $t = 35,4 \mu\text{s}$. Las estimaciones demuestran que la diferencia de las transformadas de Fourier de la señal no limitada en el tiempo, y limitada a valores especificados, normalizados a $F(0)$, no rebasa los $0,005 \text{ dB}$. Se obtiene un resultado similar para una zona de ventana más amplia, limitada a muestras temporales, entre $t < 11 \mu\text{s}$ y $t > 36 \mu\text{s}$.

– *Influencia de la restricción de la anchura de banda de la transformada de Fourier de la señal*

El método inherente de obtención de la señal GCR impone dos mediciones para restringir su anchura de banda:

- utilización de la función ventana $W(\omega)$, que restringe la señal a 5 MHz a -6 dB , con una atenuación que aumenta rápidamente de manera que a $5,5 \text{ MHz}$ es inferior a -60 dB ;
- utilización de límites de integración $(-\Omega, \Omega)$ para calcular la transformada inversa de Fourier, adecuada a la gama de frecuencias $\pm 5 \text{ MHz}$. Ello corresponde a la multiplicación por la ventana rectangular adecuada, aceptando el nivel de cresta entre estas frecuencias y el nivel 0 fuera de sus límites.

La utilización de estas dos ventanas da lugar a lo siguiente. La restricción del espectro causada por la segunda ventana aparece para un nivel de densidad espectral de la señal muy reducido, debido a su atenuación por la primera ventana. Por consiguiente, la influencia de la primera función ventana en la señal GCR es insignificante.

La utilización de la primera ventana con una zona de transición muy estrecha provoca la aparición de oscilaciones con la misma amplitud que las de la parte final de la señal. Esto es un inconveniente de la señal GCR pero el compromiso aceptado asegura el control completo de las distorsiones en la gama de frecuencias 0-5 MHz, con una suficiente reducción de la energía por encima de 5,1 MHz. Esta circunstancia es muy importante para un sistema de televisión mejorada puesto que de esa forma las frecuencias por encima de 5,1 MHz están disponibles para la transmisión de las señales de sonido digital.

– *Sobre la elección de la función ventana $W(\omega)$*

Es evidente, considerando lo anterior, que la forma de la función ventana no tiene un efecto importante sobre las propiedades de la señal GCR. No obstante, es conveniente estimar el valor de tal efecto teniendo en cuenta que se han llevado a cabo en el mundo un cierto número de estudios destinados a elegir las funciones ventana en conexión con los filtros FIR sintetizadores. Por ejemplo, se considera generalmente que una función ventana de Hamming es mejor que una ventana de \cos^2 . Una clase de ventana más amplia, la ventana Kaizer, hace posible simular una aproximación casi exacta de ventanas tales como las de Hamming, Blackman y otros, variando sus parámetros.

En la Fig. 10 se representan dos realizaciones de ventana $W(\omega)$ en escala logarítmica. La primera se obtuvo basándose en una ventana de \cos^2 y la segunda basándose en una ventana de Hamming. La Fig. 11 muestra las distintas respuestas amplitud-frecuencia logradas entre estas realizaciones, normalizadas a la amplitud de frecuencia 0. Es evidente que en la gama 5-6 MHz la segunda realización logra unos 10 dB más de atenuación que la primera. Para frecuencias superiores, la segunda realización es inferior. Sin embargo, este hecho no es significativo pues el nivel relativo de las transformadas de Fourier puede estar por debajo de -60 dB. Esas estimaciones pueden ser útiles a la hora de construir señales GCR para nuevas aplicaciones.

FIGURA 10
Ventanas de Hamming y de \cos^2 en escala logarítmica

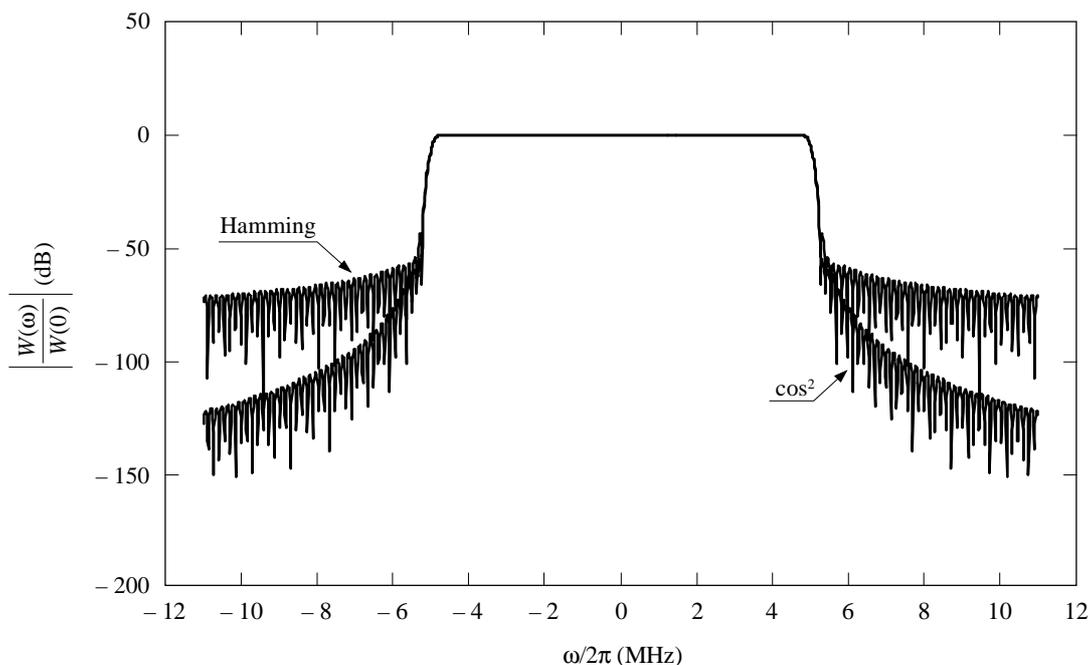
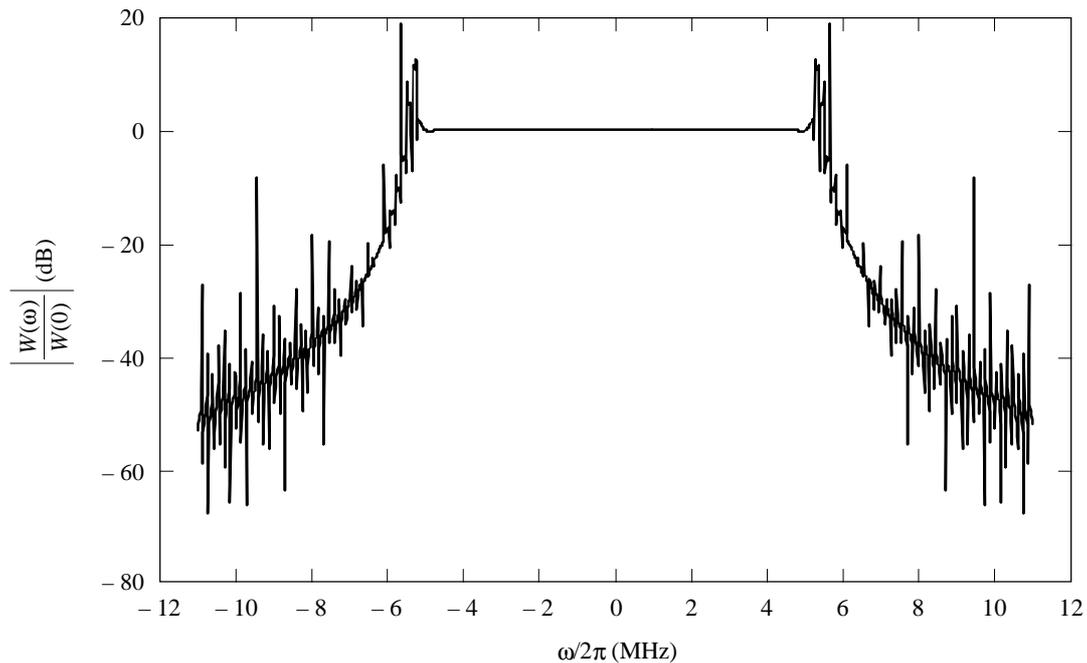


FIGURA 11
Diferencia de las ventanas de Hamming y de \cos^2 en escala logarítmica



Rap 2018-11

De este análisis se deduce que la función ventana utilizada por la señal GCR del Sistema C descrita en la Recomendación UIT-R BT.1124 es óptima.

6 Parámetros de la señal GCR para un canal de anchura de banda de 6 MHz

De acuerdo con el proyecto de Informe sobre el sistema de televisión SECAM mejorado (Doc. 11A/8), se prevén dos modos de funcionamiento de este sistema: transmisión de sonido analógico únicamente y transmisión de sonido analógico y digital.

En el caso de emplear sonido analógico y digital, la anchura de banda de la señal de vídeo toma un valor nominal de 5,1 MHz y en ese caso la señal GCR descrita en la Recomendación UIT-R BT.1124 se ajusta perfectamente.

En el caso del sistema SECAM convencional o del sistema SECAM mejorado con sonido analógico únicamente, el control y corrección de las distorsiones lineales (incluidas las imágenes fantasma) debe realizarse idealmente en la gama de frecuencias de hasta 6 MHz. A este respecto, se propone definir la señal GCR para esta anchura de banda.

Se sugiere utilizar los siguientes parámetros para la señal GCR de un Sistema C donde se necesita una anchura de banda de 6 MHz:

$$A = 2,7 \times 10^{-7} \text{ V}$$

$$b = 0,23 \times 10^{-12} \text{ s}^2/\text{rad}$$

$$c = 0,9121 \times 10^6 \text{ rad/s}$$

$$\Omega = 2\pi \times 6,25 \times 10^6 \text{ rad/s}$$

$$\Omega_1 = 2\pi \times 6 \times 10^6 \text{ rad/s.}$$

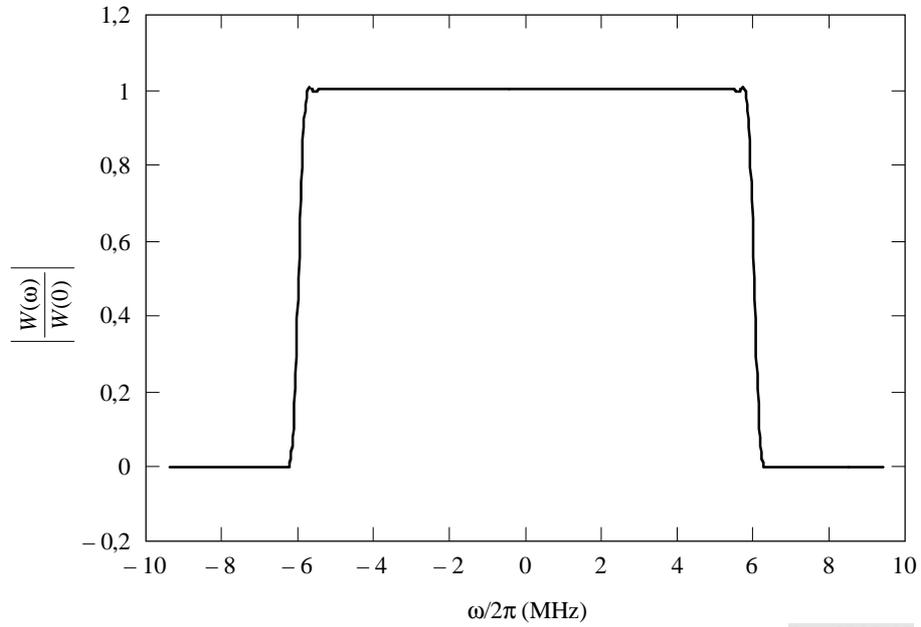
Utilizando estos valores, se obtienen m y T :

$$m = 43,332$$

$$T = 79,487 \text{ ns.}$$

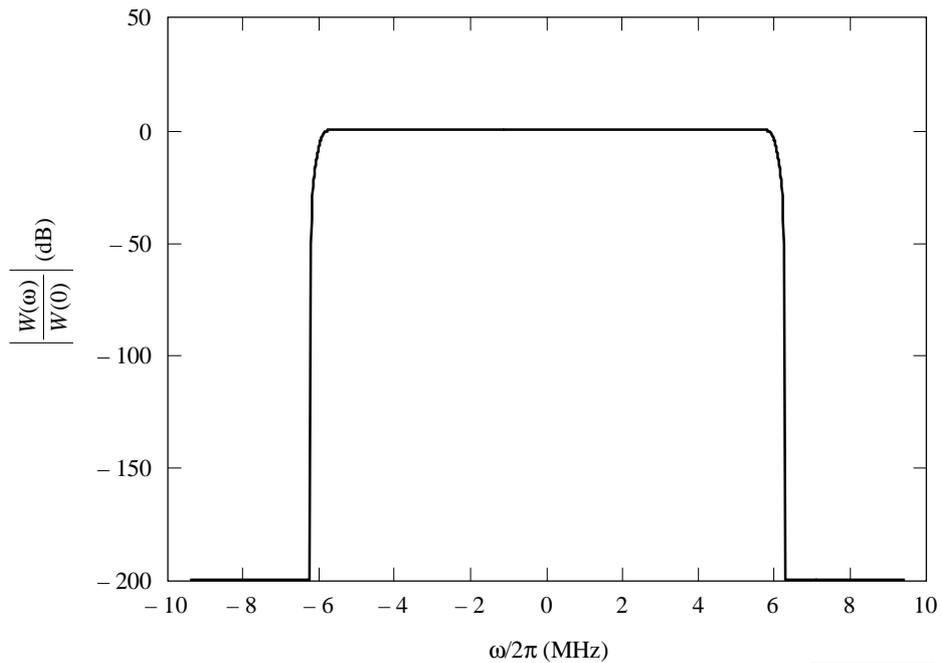
En las Figs. 12, 13 y 14 se representan las características amplitud-frecuencia de la función ventana $W(\omega)$ para una anchura de banda de 6 MHz en escalas lineal y logarítmica.

FIGURA 12
Características amplitud-frecuencia de la función ventana $W(\omega)$
para una anchura de banda de 6 MHz en escala lineal



Rap 2018-12

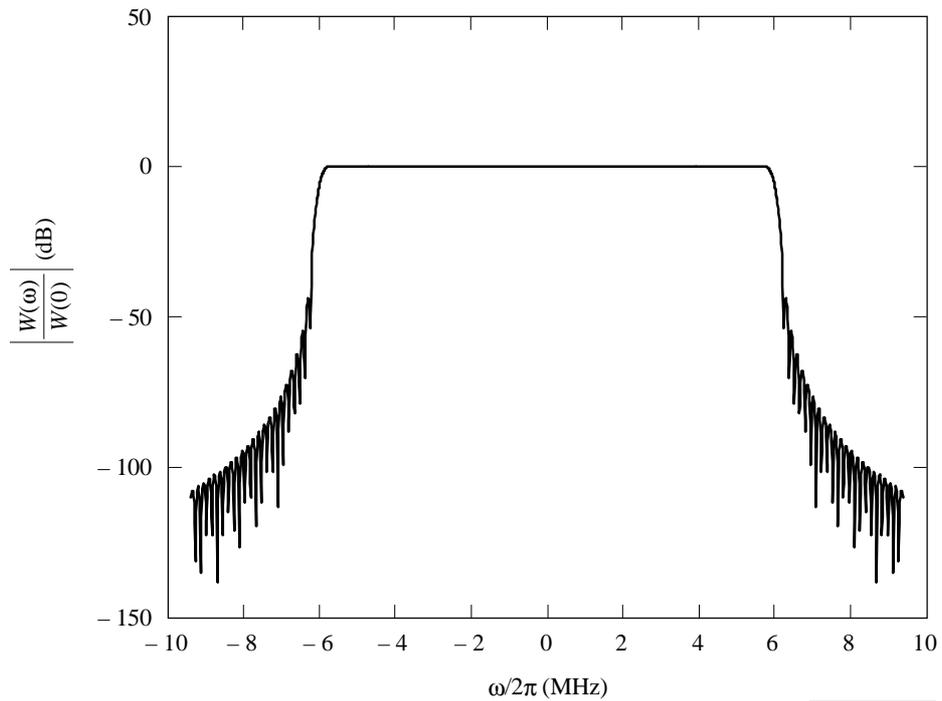
FIGURA 13
Espectro de la señal GCR para una anchura de banda de canal de 6 MHz,
con $\Omega_1 = 2\pi \times 6 \times 10^6$ rad/s, $\Omega = 2\pi \times 6,25 \times 10^6$ rad/s



Rap 2018-13

FIGURA 14

Espectro de la señal GCR para una anchura de banda de canal de 6 MHz,
con $\Omega_1 = 2\pi \times 6 \times 10^6$ rad/s y una integración sin límites

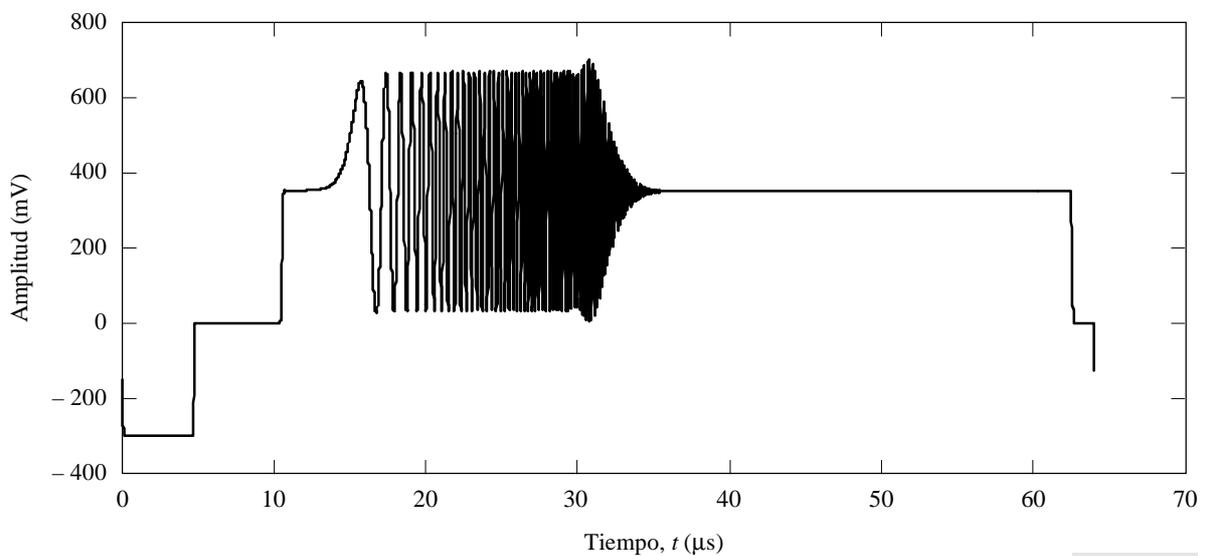


Rap 2018-14

En las Figs. 15 y 16 aparecen las líneas A y B de la señal GCR de 6 MHz para polaridad positiva y negativa.

FIGURA 15

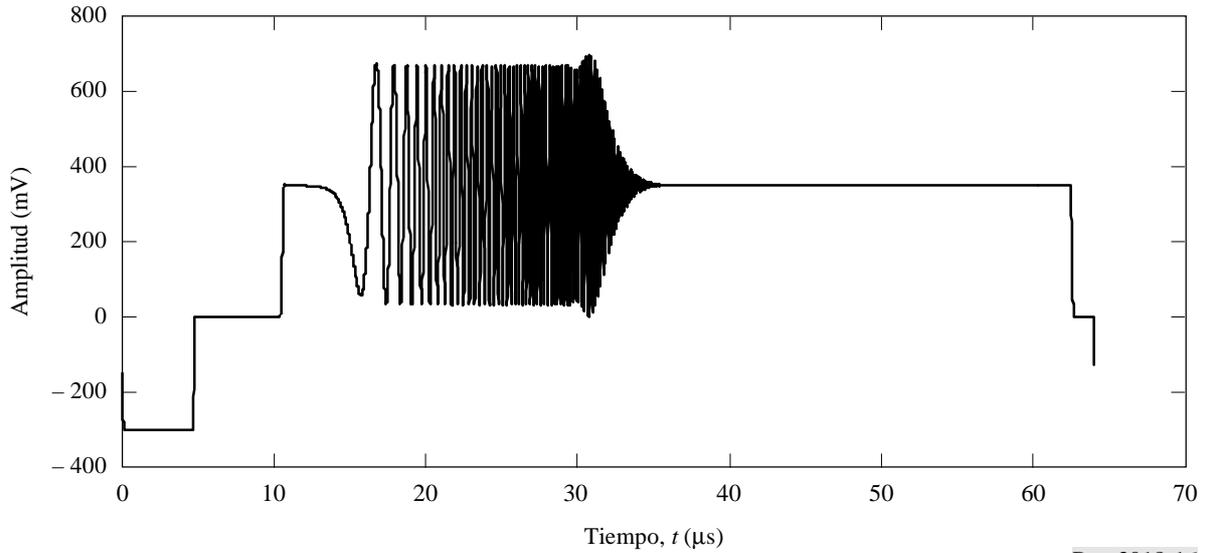
Línea A de la señal GCR para una anchura de banda de 6 MHz



Rap 2018-15

FIGURA 16

Línea B de la señal GCR para una anchura de banda de 6 MHz

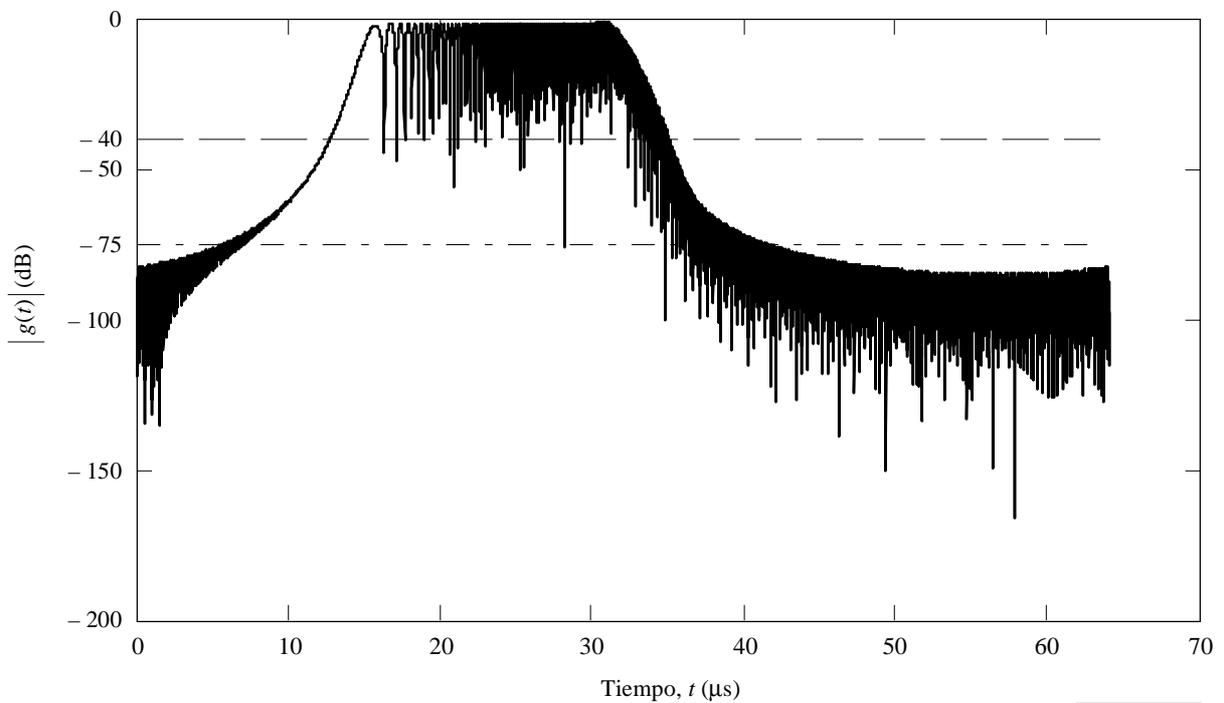


Rap 2018-16

La Fig. 17 ilustra la magnitud de la señal GCR en escala logarítmica.

FIGURA 17

Señal GCR normalizada a nivel unitario en escala logarítmica



Rap 2018-17

El análisis de estas Figuras muestra que el resto de propiedades de esta variante de anchura de banda ampliada de la señal GCR del Sistema C son similares a las de la señal GCR descritas en la Recomendación UIT-R BT.1124.

7 Conclusiones

Los resultados de las evaluaciones cuantitativas y las Figuras que muestran las características de la señal GCR en los dominios de la frecuencia y el tiempo pueden ayudar a comprender el comportamiento de la señal y pueden ser útiles para posibles futuros desarrollos de la Recomendación UIT-R BT.1124.

Los resultados de los estudios confirman que los parámetros elegidos de la señal GCR del Sistema C son óptimos para su utilización con sistemas de anchura de banda nominal de 5 MHz.

Está previsto realizar más estudios sobre el posible empleo de Sistemas D/K de dos versiones de la señal GCR del Sistema C, la primera descrita en la Recomendación UIT-R BT.1124 para una anchura de banda de vídeo de 5 MHz y la segunda versión sugerida en este Informe para una anchura de banda de vídeo de 6 MHz.

Si se desarrollan los métodos y equipos adecuados, la introducción de la señal GCR del Sistema C como señal universal para estimar y corregir las distorsiones de la cadena de televisión hará posible caracterizar con precisión el canal y corregir las distorsiones lineales en los trayectos de televisión analógicos y analógicos-digitales. En consecuencia, con la señal GCR del Sistema C es posible lograr un aumento muy significativo de la calidad ofrecida por la radiodifusión de televisión analógica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GOFAIZEN, O.V. [1995a] On standardization of GCR test signal for automatic evaluation and correction of linear distortion in TV path. UkrTelecom. II International conference on telecommunications, audio and TV broadcasting. 19-22 de septiembre, Odessa, Ucrania.
- GOFAIZEN, O.V. [1995b] Questions of estimation of GCR test signal parameters for evaluation and correction of linear distortion in TV path. Ukrainian Scientific Research Institute of Radio and Television (UNIIRT), **3**, 47-49.
- KOO, D. [junio de 1995] Ghost cancellation with ITU System-C standard ghost cancellation reference signal. *SMPTE J.*, Vol. 104, **6**, 370-376.

BIBLIOGRAFÍA

- GOFAIZEN, O.V. y FOMIN, K.V. Study of GCR signal for evaluation and correction of linear distortion in TV channel. Proc. Ukrainian Scientific Research Institute of Radio and Television (UNIIRT) (pendiente de publicación).
- UNIIRT [1996] Report: Study on standardization in the Ukraine of GCR test signal for evaluation and correction of linear distortion in analogue TV channel and other video transmitting systems in the sphere of telecommunications. Ukrainian Scientific Research Institute of Radio and Television. Odessa, Ucrania.

Textos de la UIT

Recomendación UIT-R BT.1119 – Señalización de pantalla ancha para radiodifusión (Señalización para pantalla ancha y otros parámetros de la televisión mejorada).

Doc. 11C/22 (Anexo 4) – Contributions to a possible Report on GCR signals (Presidente del GT 11C), 23 de marzo de 1996.
