

## RECOMENDACIÓN UIT-R S.734\*

**Utilización de canceladores de interferencia  
en el servicio fijo por satélite**

(1992)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que uno de los principales obstáculos a la mayor utilización del espectro de radiofrecuencias y de la órbita de los satélites geoestacionarios para el servicio fijo por satélite (SFS) es la interferencia mutua entre redes de satélite que funcionan en bandas de frecuencias comunes y prestan servicio a las mismas zonas geográficas o a zonas adyacentes;
- b) que la protección contra la interferencia entre redes de satélites se logra principalmente mediante una discriminación en la antena de estación terrena;
- c) que para aumentar la capacidad de comunicación pueden emplearse otras técnicas como la reutilización de frecuencias, la modulación mejorada, unos transmisores de satélite de mayor potencia y receptores de menor ruido;
- d) que alguna de estas técnicas aumentan la posibilidad de interferencia mutua entre las redes de satélite;
- e) que pueden disminuirse los efectos perjudiciales de algunas de estas técnicas empleando dispositivos de cancelación de interferencia;
- f) que el principio fundamental de los canceladores de interferencia es construir una réplica de una señal interferente tanto en amplitud como en fase, invertir la fase de esa réplica y añadirla a la señal deseada con su interferencia,

*recomienda*

- 1** que cuando resulte rentable, se empleen canceladores de interferencia, en los sistemas de comunicaciones por satélite, a fin de reducir la interferencia o sus efectos.

NOTA 1 – En el Anexo 1 se examinan varios ejemplos de técnicas de cancelación de interferencia.

---

\* La Comisión de Estudio 4 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2001 de conformidad con la Resolución UIT-R 44 (AR-2000).

## ANEXO 1

## Estudios sobre canceladores de interferencia, para su uso en el servicio fijo por satélite

### 1 Ejemplos de canceladores de interferencia

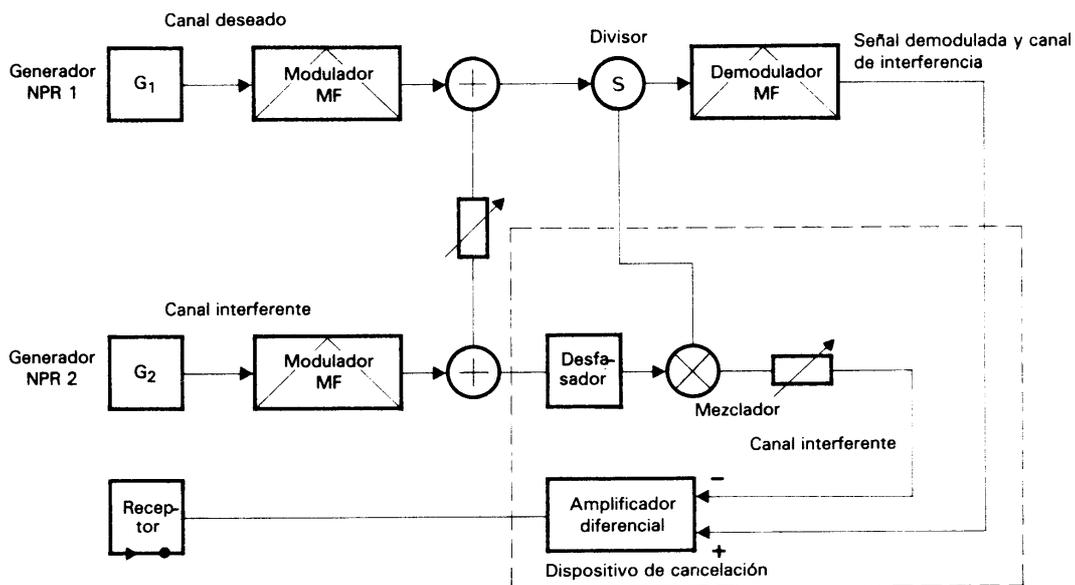
A continuación se dan algunos ejemplos de estas técnicas divulgadas en las publicaciones especializadas. Los distintos investigadores obtuvieron los resultados en ausencia de todo ruido térmico significativo.

#### 1.1 Canceladores de interferencia en banda de base

Para portadoras con modulación angular, se ha encontrado un método de cancelación de interferencias en banda de base que consiste en mezclar las señales deseada e interferente RF en el sistema experimental esquematizado en la Fig. 1. Hay que subrayar que según este procedimiento, es preciso que la interferencia se reciba directamente como entrada del canal interferente, lo que puede lograrse mediante una antena separada orientada directamente hacia la fuente interferente. La señal interferente, se mezcla con la portadora deseada en RF o en FI. Se ha comprobado que las componentes de baja frecuencia resultantes de este proceso son la réplica de la interferencia en la banda de base. La cancelación se consigue restando esta réplica de la señal demodulada en banda de base más la interferencia. Las pruebas de laboratorio han mostrado que este método reduce la interferencia en 15 dB aproximadamente, para un amplio margen de parámetros de funcionamiento.

FIGURA 1

Diagrama de bloques del sistema experimental



En aquellos casos en que no se dispone de una señal separada interferente a efectos de referencia o control, se ha propuesto otro procedimiento para señales con modulación angular. De acuerdo con él, se utiliza la información contenida en la envolvente de onda resultante de la combinación de las portadoras deseada e interferente, para reconstruir la interferencia en banda de base. Para una cancelación eficaz deberá separarse la fuente interferente de la portadora deseada mediante la suma de las frecuencias moduladoras más altas. Los análisis y los experimentos han revelado que la envolvente detectada de las portadoras deseada e interferente, es igual a la componente de interferencia demodulada, desfasada en más o menos  $90^\circ$ . Una vez identificada, puede eliminarse la interferencia por sustracción. Se ha logrado una reducción de la interferencia de hasta 15 dB, para un conjunto de parámetros experimentales (separación de frecuencias, relaciones portadora/interferencia e índices de modulación). Los mejores resultados se han obtenido con los índices de modulación más bajos y las mayores separaciones en frecuencia de las portadoras.

Para señales de modulación de frecuencia (MF) en las que la señal interferente es reducida y no puede recibirse separadamente, es posible detectar la interferencia en banda de base con un detector de cuarzo. Una señal pura MF, tiene una envolvente constante; la adición de interferencia da lugar a una modulación de amplitud que puede ser detectada y por tanto, eliminada por sustracción. Sin embargo, con esta técnica sólo se consiguió, en pruebas de laboratorio, suprimir aquellas componentes interferentes que no habían experimentado repliegue espectral. La interferencia debe ser pequeña en comparación con la señal MF deseada, puesto que la cancelación sólo puede garantizarse para la componente de primer orden.

Las componentes de orden superior originan dificultades si la potencia de interferencia es importante. Dichas componentes limitan el grado de cancelación de interferencia alcanzable con un procedimiento de cancelación en banda de base puesto que la relación de fase necesaria para suprimir la componente de primer orden no es la misma que la requerida para suprimir las de orden superior. En estas circunstancias, es preferible cancelar la interferencia en RF o en FI, antes de la demodulación, con lo que se suprimen todas las componentes del espectro de interferencias en la banda de base.

## 1.2 Cancelación en FI

Otro procedimiento investigado para su aplicación a los sistemas MF consiste en restar los espectros de FI o RF de una señal interferente antes del demodulador del receptor, tal como se muestra en el montaje de prueba esquematizado en la Fig. 2. Se supone en este caso que se puede disponer separadamente de la señal interferente. Debe subrayarse que el canal auxiliar (interferencia solamente) ha de experimentar una conversión con reducción de frecuencia y un filtrado, «prácticamente igual» que el canal principal (señal deseada + interferencia). Además, las longitudes eléctricas para las señales interferentes en ambos canales han de ser casi idénticas a fin de que la modulación en las dos señales en el punto de supresión sea coherente. La fase de la señal de supresión se ajusta mediante un desplazador de fase variable. Los resultados de las pruebas efectuadas muestran que el espectro interferente en FI, se reduce 25 a 30 dB aproximadamente a través del filtro de anchura de banda de FI. Las ventajas de este procedimiento son:

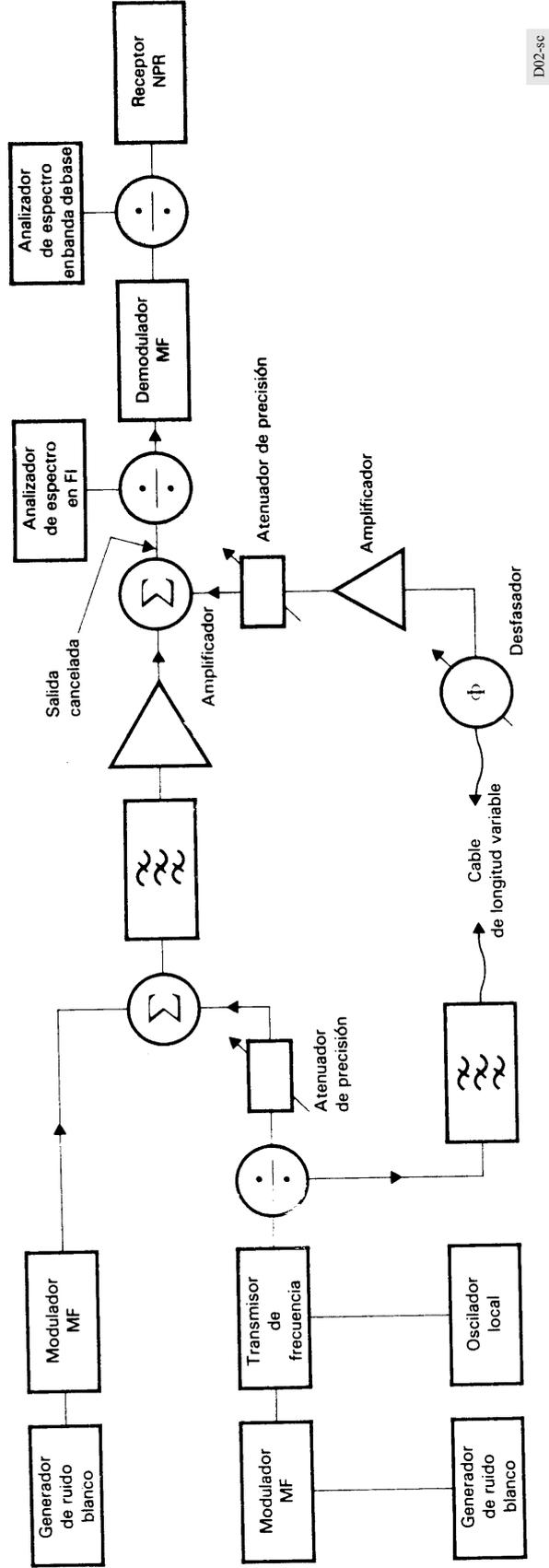
- su sencillez;
- cancelación simultánea de las componentes de primer orden y de orden superior;
- posibilidad de cancelación para cualquier valor de la relación  $C/I$ ; y
- existencia de menor ruido impulsivo en comparación con los métodos de supresión en banda de base.

### 1.3 Puente supresor de interferencias

Otra técnica pasiva, experimentada en laboratorio, utiliza una red en puente para suprimir la señal interferente en el receptor con una señal auxiliar extraída de un canal de interferencia. En la Fig. 3, se ilustra este procedimiento en forma de diagrama de bloques simplificado. Idealmente, el ángulo de fase de la señal a la salida del circuito puente debe ser  $180^\circ$  y su amplitud igual a la interferencia a lo largo de la banda de frecuencias deseada y de un modo continuo. La finalidad de la prueba es determinar la calidad de funcionamiento del sistema con diversos errores de ángulo de fase y de amplitud provocados por el puente.

Se han efectuado pruebas empleando un tono de señal de aproximadamente 3 807 MHz y señales interferentes a  $3\,809 \pm 4,5$  MHz y 3 950 MHz. Con este procedimiento se ha conseguido reducir las señales interferentes entre 15 dB y 50 dB, este último valor en el caso de señales interferentes de banda relativamente estrecha y en condiciones de cielo despejado.

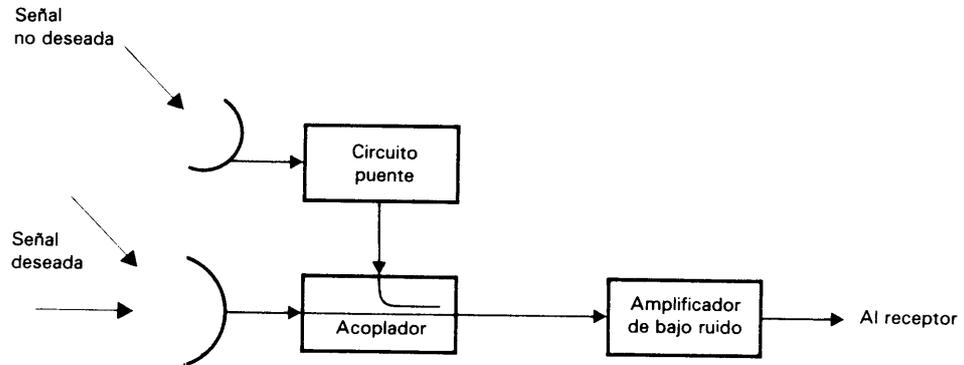
FIGURA 2  
Sistema de prueba de cancelación en F1



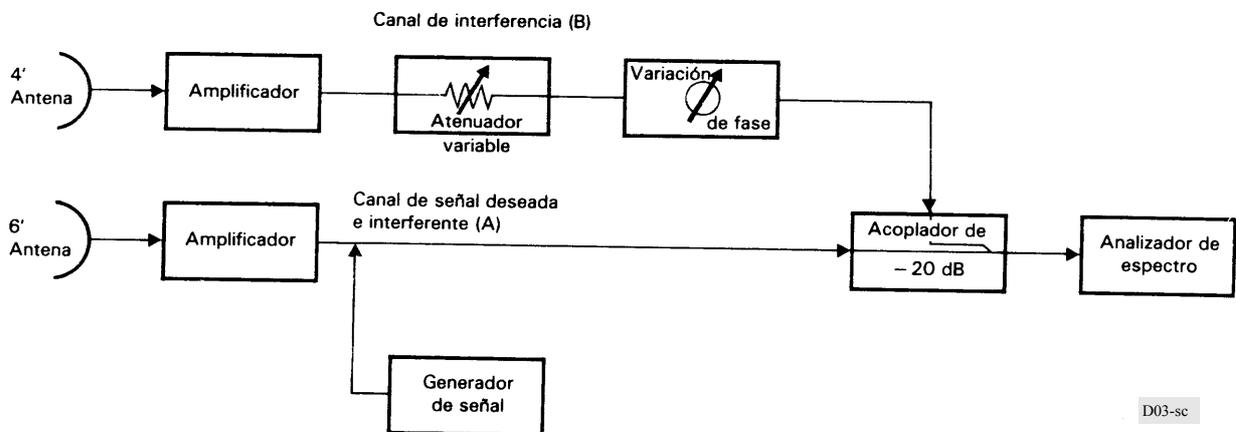
D02-sc

FIGURA 3

## Sistema de supresión de interferencias por puente



a) Diagrama del sistema



b) Esquema de prueba

D03-sc

## 1.4 Sistemas de cancelación adaptables

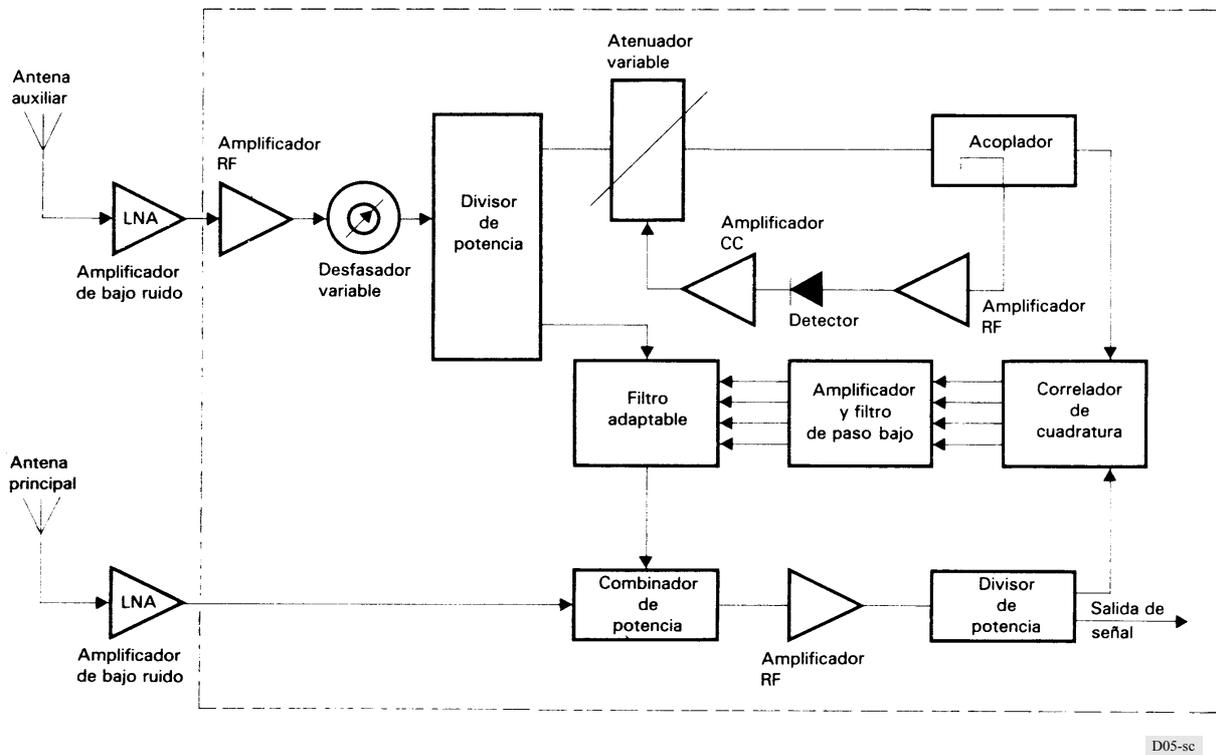
Durante muchos años se han desarrollado y explotado sistemas de cancelación activos o servocontrolados capaces de producir reducciones de interferencias del orden de 50 a 60 dB en bandas de frecuencias que van desde la B.Mam (3-30 kHz) a la B.cm (3-30 GHz). Entre sus aplicaciones se encuentra el caso de una interferencia próxima producida por un transmisor cercano de características conocidas y el de una interferencia distante de origen casual o deliberado. Si se



En la Fig. 5, se representa un sistema adaptable de supresión de interferencia cocanal (CISS), desarrollado específicamente para aplicaciones en las comunicaciones por satélite. Una réplica estimada de la señal interferente se sustrae de la combinación de señal deseada e interferencia en el combinador de potencia situado a continuación del amplificador de bajo ruido (LNA) del sistema receptor. La señal de salida (señal de error) contiene la señal deseada más el residuo de la operación de sustracción. Un filtro adaptable en el canal de interferencia ajusta la amplitud y la fase de la señal interferente para producir la réplica de ésta. La adaptación se logra mediante un algoritmo de mínimos cuadrados. El correlador de cuadratura procesa la señal de error y la señal de interferencia (antena auxiliar) produciendo la necesaria correlación de amplitud y fase entre estas dos señales. Las salidas del correlador actúan como tensiones de control que ajustan los atenuadores del filtro adaptable.

FIGURA 5

Diagrama de bloques del sistema de supresión de interferencia cocanal



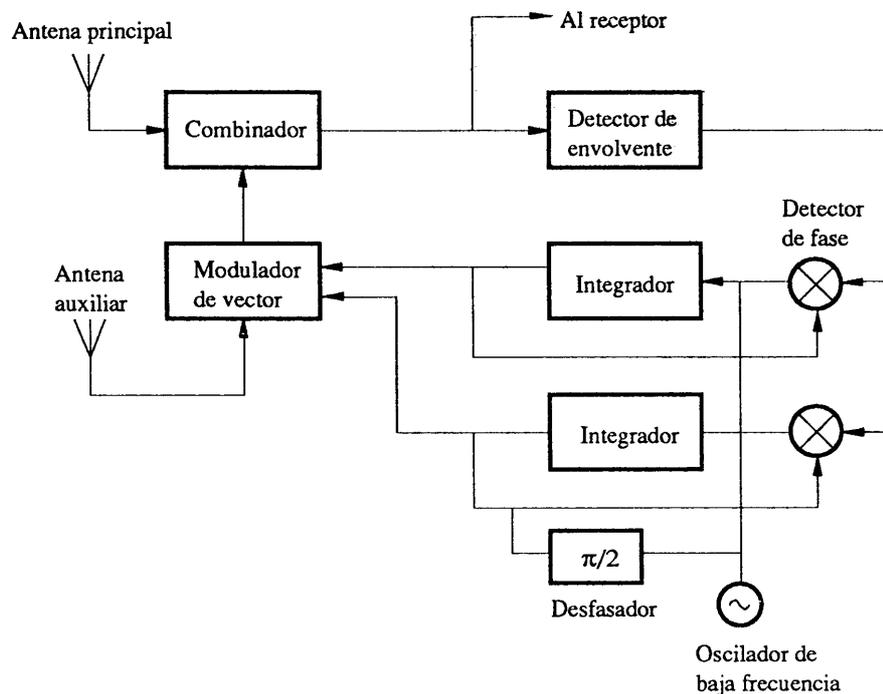
Se llega a una situación de equilibrio cuando la correlación alcanza un mínimo. En pruebas de laboratorio se han conseguido supresiones de interferencia de hasta 20 ó 30 dB, dependiendo de los valores de la relación  $C/I$ .

En el Reino Unido se efectuó una de las primeras aplicaciones de las técnicas de cancelación adaptable al sufrirse una intensa interferencia en la estación terrena de Goonhilly, producida por una estación de relevadores radioeléctricos situada a una distancia de unos 300 km. Se desarrolló un cancelador sintonizable adaptable, que funcionaba en FI y que entró en explotación a principios de 1975; así se consiguió reducir los efectos de la interferencia a un nivel aceptable.

En la Fig. 6 se representa un sistema de cancelación de interferencia por detección ortogonal que puede aplicarse a cualquier tipo de modulación, incluso en el caso de que las señales deseada e interferente sean cocanal. En el modulador de vector, que ajusta la amplitud y la fase de la señal interferente procedente de la antena auxiliar, se divide la señal de entrada en sus componentes ortogonales. La amplitud de cada componente se controla de forma independiente y posteriormente se combinan.

FIGURA 6

## Sistema de cancelación de interferencia por detección ortogonal



D06-sc

Cada señal de control es una combinación de la señal de salida de un integrador con una señal sinusoidal de baja frecuencia, que son mutuamente ortogonales. La salida del modulador de vector cambia sinusoidalmente en amplitud y fase para efectuar la detección y hace fluctuar a la envolvente de la señal residual. Como esta fluctuación de la envolvente incorpora la información sobre el error para realizar el control, las tensiones de error se obtienen mediante detección de envolvente y de fase utilizando las dos señales ortogonales de baja frecuencia.

Al tener este sistema un solo convertidor de frecuencia, sus cambios de fase y de ganancia tienen un efecto despreciable sobre las características de cancelación. No obstante, los sistemas anteriores, señalados en las Figs. 4 y 5, necesitan dos convertidores. Precisan poseer amplificadores de RF/FI de las mismas características.

Los resultados experimentales demuestran que pueden obtenerse más de 40 dB de cancelación para una anchura de banda de 50 MHz para señales de onda continua (CW), MF (telefonía, TV) y MDP. En la prueba real efectuada en un trayecto de 45 km, se obtuvo una característica y una respuesta de cancelación suficientes, incluso durante periodos de desvanecimiento. Se realizó otra prueba real utilizando estaciones terrenas únicamente receptoras, con antenas de 4,5 m de diámetro, situadas en las cercanías de un transmisor interferente. En esta prueba, tanto la señal del satélite de comunicaciones como la interferencia procedente del enlace terrenal eran señales MF-TV. Tras la cancelación se obtuvieron unas buenas señales de imagen y sonido.

En ciertos casos, tratándose de la cancelación de la interferencia ocasionada por un satélite a un sistema de satélite vecino, cuando la dirección de la fuente de la interferencia es conocida con un grado de exactitud determinado por el sistema de mantenimiento en posición del satélite, es más rentable instalar un alimentador adicional en la antena primaria de la estación terrena que recurrir a una antena auxiliar. La excentricidad de esta alimentación respecto al principal dependerá de la separación angular existente entre el satélite deseado y el interferente.

Se puede aumentar apreciablemente la eficacia del cancelador utilizando parámetros a priori en relación con las señales deseada e interferente (por ejemplo, señales piloto especialmente insertadas en las partes libres del espectro o en intervalos de tiempo libres, señales de dispersión de energía, etc.).

En la URSS se empleó ese sistema de antena con doble alimentación y un disco de 4 m en el sistema de satélite «Moskva Globalnaya» para cancelar interferencias del sistema de satélite «Moskva». El alimentador adicional (un reflector de bocina piramidal) se conectó al principal mediante un acoplador direccional y un desfaseador y atenuador eléctrico controlable de ondas centimétricas. La separación angular entre el satélite deseado y el interferente era de 3°. Este sistema adaptativo de cancelación se servía de la distinción entre señales de dispersión deseadas y no deseadas, y garantizaba una supresión de interferencia suplementaria de hasta 20 dB.

### **1.5 Filtrado adaptable de interferencia de banda estrecha**

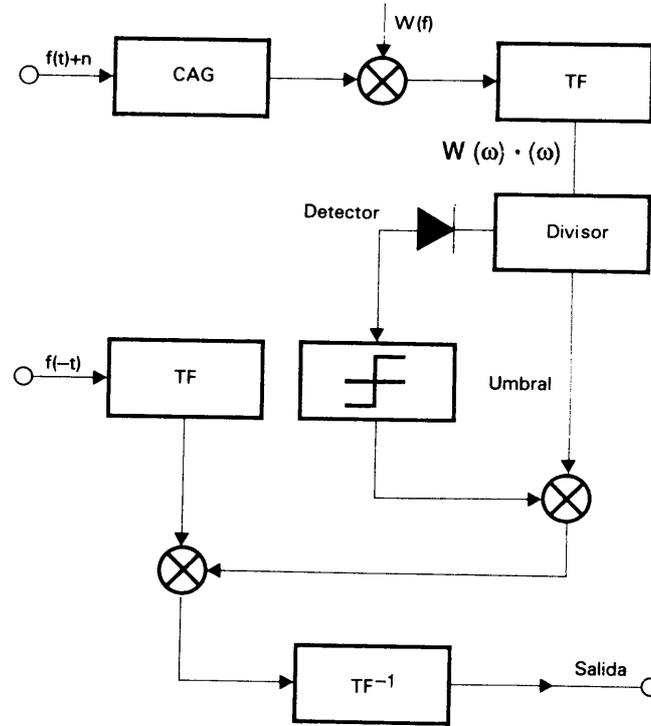
Se ha aplicado a un sistema digital de comunicaciones en banda ancha, un procedimiento de supresión de interferencia de banda estrecha siendo la frecuencia de la fuente interferente desconocida (o incluso lentamente variable). En la Fig. 7 se describe, mediante un diagrama de bloque, la realización práctica de este método. El sistema rastrea la frecuencia central de una interferencia y ajusta un filtro de ranura en torno a dicha frecuencia; funciona utilizando las propiedades de transformación de Fourier en tiempo real de los filtros de ondas acústicas de superficie. Se precisan las siguientes condiciones:

- la anchura de banda de la fuente interferente es menor que la de la señal deseada; y
- en el dominio de Fourier, la amplitud de la señal interferente es mayor que la de la señal deseada.

Un dispositivo de control automático de ganancia (CAG) permite al sistema el manejo de una amplia gama de señales de entrada. Durante las pruebas efectuadas según este procedimiento, se han obtenido reducciones sustanciales de la interferencia.

FIGURA 7

Diagrama de bloques del sistema adaptable



CAG: Control automático de ganancia  
 TF: Transformada de Fourier

D07-sc

## 2 Conclusiones

Los ejemplos expuestos en este Anexo sobre canceladores de interferencia, son solamente una muestra de lo que actualmente se publica sobre este tema. Sin embargo, los canceladores de interferencia como medio de reducir la interferencia interna de los sistemas por satélite, están todavía en las primeras etapas de su desarrollo. Hasta ahora, el método buscado por la UIT y recomendado por el UIT-R ha consistido en la imposición de límites a los diagramas de lóbulos laterales de las antenas y a las densidades de flujo de potencia radiada a fin de evitar una interferencia excesiva entre los sistemas. Los canceladores de interferencia se han utilizado en situaciones más bien excepcionales, cuando una estación terrena existente o de reciente construcción sufría interferencias imprevistas, procedentes de una fuente próxima. La necesidad de antenas adicionales y equipo de tratamiento de señales es una carga que cualquier planificador de redes de telecomunicaciones preferiría evitar. Es preciso avanzar más en la reducción de la

complejidad de los equipos y de los costos, antes de que sea factible una aplicación generalizada de los canceladores de interferencia en los sistemas del servicio fijo por satélite. Los resultados de los experimentos efectuados en la URSS demuestran que es posible utilizar una alimentación adicional en la antena primaria para cancelar la interferencia de un satélite cercano cuando se conoce la dirección de la fuente de interferencia. En ciertos casos este método es al parecer más rentable que el de recurrir a una antena auxiliar.

Por otro lado, se ha puesto en evidencia un gran interés en el desarrollo de canceladores de interferencia para aplicaciones intrasistema en relación con las técnicas de polarización cruzada. Puesto que la señal interferente puede ser caracterizada y definida internamente, es probable que los avances en este terreno se materialicen en equipos comerciales en un futuro próximo. Las producciones de estos tipos de canceladores de interferencias facilitarán seguramente el desarrollo de aplicaciones intrasistema.

---