



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

**UIT-T**

SECTOR DE NORMALIZACIÓN  
DE LAS TELECOMUNICACIONES  
DE LA UIT

**J.133**

(07/2002)

SERIE J: REDES DE CABLE Y TRANSMISIÓN DE  
PROGRAMAS RADIOFÓNICOS Y TELEVISIVOS, Y DE  
OTRAS SEÑALES MULTIMEDIOS

Transporte de señales MPEG-2 por redes de transmisión  
de paquetes

---

**Mediciones de trenes de transporte MPEG-2 en  
las redes**

Recomendación UIT-T J.133

---

RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE J

**REDES DE CABLE Y TRANSMISIÓN DE PROGRAMAS RADIOFÓNICOS Y TELEVISIVOS, Y DE OTRAS SEÑALES MULTIMEDIOS**

Recomendaciones generales	J.1–J.9
Especificaciones generales para transmisiones radiofónicas analógicas	J.10–J.19
Características de funcionamiento de los circuitos radiofónicos	J.20–J.29
Equipos y líneas utilizados para circuitos radiofónicos analógicos	J.30–J.39
Codificadores digitales para señales radiofónicas analógicas	J.40–J.49
Transmisión digital de señales radiofónicas	J.50–J.59
Circuitos para transmisiones de televisión analógica	J.60–J.69
Transmisiones de televisión analógica por líneas metálicas e interconexión con radioenlaces	J.70–J.79
Transmisión digital de señales de televisión	J.80–J.89
Servicios digitales auxiliares para transmisiones de televisión	J.90–J.99
Requisitos operacionales y métodos para transmisiones de televisión	J.100–J.109
Sistemas interactivos para distribución de televisión digital	J.110–J.129
<b>Transporte de señales MPEG-2 por redes de transmisión de paquetes</b>	<b>J.130–J.139</b>
Mediciones de la calidad de servicio	J.140–J.149
Distribución de televisión digital por redes locales de abonados	J.150–J.159
IPCablecom	J.160–J.179
Varios	J.180–J.199
Aplicación para televisión digital interactiva	J.200–J.209

*Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.*

## **Recomendación UIT-T J.133**

### **Mediciones de trenes de transporte MPEG-2 en las redes**

#### **Resumen**

Los trenes de transporte MPEG-2 transmitidos por una red real pueden ser afectados por los componentes de red que no son idealmente transparentes. Uno de los principales efectos es la aparición de fluctuación, debido a las referencias de reloj de programa (PCR) y a su posición en el tren de transporte (TS). En esta Recomendación se especifican las mediciones que permiten determinar esta fluctuación.

#### **Orígenes**

La Recomendación UIT-T J.133, preparada por la Comisión de Estudio 9 (2001-2004) del UIT-T, fue aprobada por el procedimiento de la Resolución 1 de la AMNT el 29 de julio de 2002.

## PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución 1 de la AMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

## NOTA

En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

## PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT no ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB.

© UIT 2002

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

# ÍNDICE

	<b>Página</b>
1 Alcance .....	1
2 Referencias .....	1
2.1 Referencias normativas .....	1
2.2 Referencias informativas .....	1
3 Abreviaturas y acrónimos .....	1
4 Mediciones de reloj de sistema y de la referencia de reloj de programa (PCR).....	1
4.1 Modelo de referencia para las mediciones de reloj de sistema y la referencia de reloj de programa (PCR).....	1
4.2 Descripción de las mediciones .....	3
4.3 Referencia de reloj de programa – Desviación de frecuencia (PCR_FO).....	4
4.4 Referencia de reloj de programa – Deriva de frecuencia (PCR_DR) .....	4
4.5 Referencia de reloj de programa – Fluctuación total (PCR_OJ).....	5
4.6 Referencia de reloj de programa – Exactitud (PCR_AC) .....	5
Apéndice I – Mediciones relativas a la referencia de reloj de programa .....	6
I.1 Introducción.....	6
I.2 Límites .....	6
I.3 Ecuaciones.....	7
I.4 Máscara.....	8
I.5 Frecuencias de codo .....	9
I.6 Otras limitaciones implícitas .....	10
I.7 Procedimientos de medición.....	11
I.7.1 Exactitud de la referencia de reloj de programa (PCR_AC).....	13
I.7.2 Deriva de la referencia de reloj de programa (PCR_DR).....	14
I.7.3 Variación de frecuencia de la referencia de reloj de programa (PCR_FO)....	14
I.7.4 Medición de la fluctuación general de la referencia de reloj de programa (PCR_OJ) .....	15
I.8 Consideraciones sobre las mediciones de la PCR .....	16
I.9 Filtros posibles para la medición de PCR.....	17
I.9.1 ¿Por qué hay varias opciones?.....	17
I.9.2 Frecuencias de demarcación más altas .....	18
I.9.3 Frecuencias de demarcación más bajas .....	19

## Recomendación UIT-T J.133

### Mediciones de trenes de transporte MPEG-2 en las redes

#### 1 Alcance

Un tren de transporte MPEG-2 transmitido por una red real puede resultar afectado por los componentes de red que no son idealmente transparentes. Uno de los principales efectos es la aparición de fluctuación, debido a las referencias de reloj de programa (PCR) y a su posición en el tren de transporte (TS). Los cuatro parámetros de medición definidos a continuación determinan los distintos componentes de fluctuación que se pueden diferenciar mediante frecuencias de demarcación.

#### 2 Referencias

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones por lo que se preconiza que los usuarios de esta recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes. En esta Recomendación, la referencia a un documento, en tanto que autónomo, no le otorga el rango de una Recomendación.

##### 2.1 Referencias normativas

- [1] Recomendación UIT-T H.222.0 (2000) | ISO/CEI 13818-1:2000, *Tecnología de la información – Codificación genérica de imágenes en movimiento e información de audio asociada: Sistemas*.
- [2] ETSI TR 101 290 V1.2.1 (2001), *Digital Video Broadcasting (DVB); Measurement guidelines for DVB systems*.

##### 2.2 Referencias informativas

- [3] ISO/CEI 13818-9:1996, *Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information – Part 9: Extension for real time interface for systems decoders*.

#### 3 Abreviaturas y acrónimos

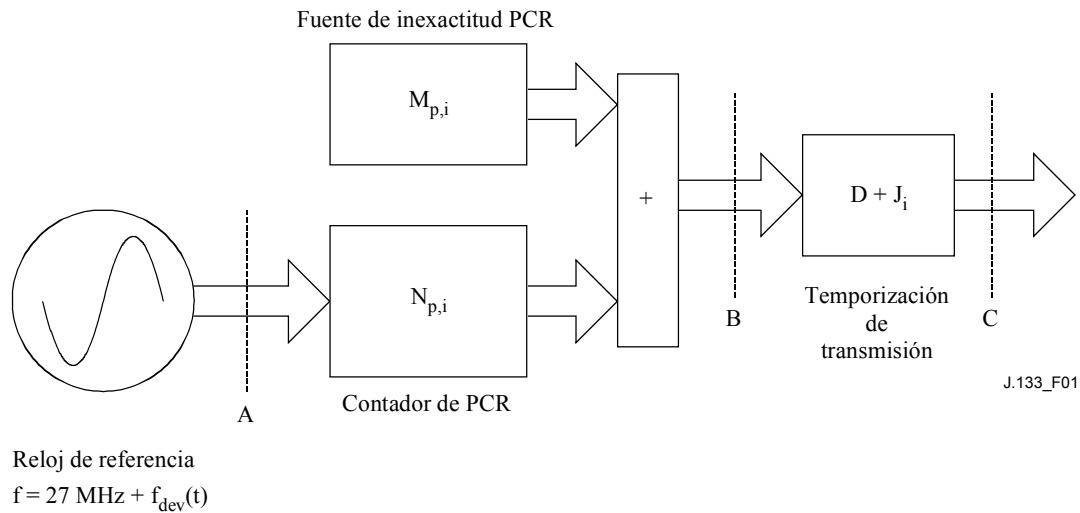
En esta Recomendación se utiliza la siguiente sigla.

PCR Referencia de reloj de programa (*program clock reference*)

#### 4 Mediciones de reloj de sistema y de la referencia de reloj de programa (PCR)

##### 4.1 Modelo de referencia para las mediciones de reloj de sistema y la referencia de reloj de programa (PCR)

Se describe aquí un modelo de referencia para cualquier fuente de un tren de transporte (TS, *transport stream*), en lo que concierne a la generación de valores de referencia de reloj de programa (PCR) y los tiempos de transmisión (véase la figura 1). El modelo permite apreciar todos los efectos de temporización visibles en el punto de interfaz del TS. Su objetivo no es representar todos los mecanismos que pueden provocar estos efectos de temporización en los sistemas reales.



**Figura 1/J.133 – Modelo de referencia**

Las líneas discontinuas indican los puntos de referencia. Es el modelo de un codificador/multiplexador (hasta el punto de referencia B) y un mecanismo físico de transmisión o una red de comunicaciones (entre los puntos de referencia B y C). Los componentes del modelo a la izquierda del punto de referencia B son específicos de un sólo identificador de paquetes (PID, *packet identifier*) de PCR. Los componentes del modelo a la derecha del punto de referencia B valen para todo el tren de transporte. Generalmente, los equipos de medición sólo pueden acceder al tren de transporte en el punto de referencia C.

El modelo consiste en un oscilador (frecuencia de reloj de sistema) que tiene una frecuencia nominal de 27 MHz, pero cuya frecuencia real es diferente y está determinada por la función  $f_{dev}(p,t)$ . Esta función depende del tiempo (t) y es específica de un sólo PCR PID (p). La "desviación de frecuencia PCR\_FO" corresponde al valor de  $f_{dev}(p,t)$ . La "deriva de frecuencia PCR\_DR" es la mayor o menor rapidez de cambio de  $f_{dev}(p,t)$  con el tiempo.

El oscilador de frecuencia de reloj de sistema manda un contador de PCR que genera una cuenta ideal de PCR,  $N_{p,i}$ . En esta expresión, p es el PCR PID p específico; i es la posición del bit en el tren de transporte. A lo anterior hay que añadir un valor de la fuente de inexactitud de PCR,  $M_{p,i}$  a fin de obtener el valor PCR observado en el tren ( $P_{p,i}$ ).

La relación simple entre estos valores es la siguiente:

$$P_{p,i} = N_{p,i} + M_{p,i} \quad (1)$$

$M_{p,i}$  corresponde a la "exactitud de la referencia de reloj de programa PCR\_AC".

El mecanismo físico de transmisión o la red de comunicaciones más allá del punto B introducen un tiempo, variable, entre el instante de salida  $T_i$  y el instante de llegada  $U_i$  de los bits:

$$U_i - T_i = D + J_i \quad (2)$$

En el caso de una PCR,  $U_i$  es el instante en que llega el último bit del último byte que contiene la base PCR (véase 2.4.3.5 de la Rec. UIT-T H.222.0 | ISO/CEI 13818-1 [1]). D es una constante correspondiente al tiempo medio de transmisión en la red de comunicaciones.  $J_i$  corresponde a la fluctuación en el tiempo de transmisión de la red y se considera que su valor medio en todo el tiempo considerado es cero.  $J_i + M_{p,i}$  es la "fluctuación general PCR\_OJ".

Si la velocidad binaria del tren de transporte es constante, como suele ser, se especifica que la velocidad binaria constante de transmisión del tren de transporte en el punto de referencia B, es  $R_{nom}$ . Obsérvese que la velocidad binaria es exacta y constante en este modelo de referencia; no se

consideran los errores debidos a la variación de la velocidad binaria. Entonces se puede establecer la siguiente ecuación para el instante de salida de los paquetes:

$$T_i = T_0 + \frac{i}{R_{nom}} \quad (3)$$

$T_0$  es una constante que representa el tiempo de salida del bit número cero. La combinación de las ecuaciones (2) y (3) permite determinar el tiempo de llegada:

$$U_i = T_0 + \frac{i}{R_{nom}} + D + J_i \quad (4)$$

## 4.2 Descripción de las mediciones

Es necesario determinar una frecuencia de demarcación para las siguientes mediciones, para establecer una frontera entre la deriva y la fluctuación de frecuencias que se producen por variaciones de temporización de las PCR y/o los TS.

Se adoptará una de las frecuencias de demarcación del cuadro 1, que debe indicarse con los resultados de mediciones.

Véase en el apéndice I el proceso de determinación de la frecuencia de demarcación.

**Cuadro 1/J.133**

Norma	Frecuencia de demarcación	Comentarios
<b>MGF1</b>	10 mHz	Esta norma permite considerar todos los componentes de frecuencia en los problemas de temporización de mediciones relativas a la PCR. Con esta norma se obtienen los resultados más precisos de acuerdo con los límites especificados en 2.4.2.1 de la Rec. UIT-T H.222.0   ISO/CEI 13818-1. Si las mediciones de fluctuación o deriva de frecuencia obtenidas con otras normas no fueran conformes a las especificaciones, se recomienda utilizar esta norma para mayor precisión.
<b>MGF2</b>	100 mHz	Esta norma combina algunas de las ventajas de las normas MGF1 y MGF3; permite obtener mediciones razonables y también incluye razonablemente la parte de componentes de baja frecuencia en los problemas de temporización.
<b>MGF3</b>	1 Hz	Con esta norma se pueden hacer mediciones más rápidas, considerando únicamente los problemas de temporización por componentes de altas frecuencias. Se considera que es una aproximación suficiente en muchas aplicaciones.
<b>MGF4</b>	Definida por el fabricante	Esta norma presentará ventajas que parecen interesantes al fabricante que la ha creado y la ha integrado en el instrumento de medición. Es preciso indicar la frecuencia de demarcación utilizada cuando se comuniquen los resultados de mediciones. También podrán proporcionarse, discrecionalmente, otros datos que el fabricante considere interesantes. Para hacer pruebas según ISO/CEI 13818-9 (límite de fluctuación de $\pm 25$ ms) es necesario adoptar una frecuencia de demarcación de 2 mHz. En esta norma MGF4 se puede integrar un filtro para esta demarcación.



### 4.3 Referencia de reloj de programa – Desviación de frecuencia (PCR\_FO)

#### Definición

La desviación de frecuencia en la referencia de reloj de programa (PCR\_FO) es la diferencia entre la frecuencia de reloj de programa y la frecuencia de reloj nominal (medida con respecto a una referencia que no se obtiene de la PCR ni del TS).

El parámetro PCR\_FO debe expresarse en Hz según:

$$\text{Frecuencia medida} - \text{frecuencia nominal}$$

o expresado en ppm mediante la siguiente relación:

$$\frac{\text{Frecuencia medida (en Hz)} - \text{frecuencia nominal (en Hz)}}{\text{frecuencia nominal en (MHz)}}$$

#### Objetivo

La frecuencia original del reloj que se utiliza en el formato de vídeo digital antes de la compresión (reloj de programa) se transmite al receptor final en forma de valores numéricos en los campos PCR. En la Rec. UIT-T H.222.0 | ISO/CEI 13818-1 [1] se especifica una tolerancia de  $\pm 810$  Hz o  $\pm 30$  ppm.

#### Interfaz

Por ejemplo en la interfaz G de la figura I.8.

#### Método

Véase la descripción del método de medición en el apéndice I.

### 4.4 Referencia de reloj de programa – Deriva de frecuencia (PCR\_DR)

#### Definición

La deriva de frecuencia de la referencia de reloj de programa (PCR\_DR) es la primera función derivada de la frecuencia. Se mide en los componentes de baja frecuencia de la diferencia entre la frecuencia de reloj de programa y la frecuencia de reloj nominal (medida con respecto a una referencia que no se obtiene de la PCR ni de la TS).

El parámetro PCR\_DR deberá indicarse en mHz/s (@ 27 MHz) o en ppm/hora.

#### Objetivo

Esta medición se hace para comprobar si la deriva de la frecuencia de reloj de programa, en su caso, es inferior a los límites especificados en la Rec. UIT-T H.222.0 | ISO/CEI 13818-1 [1]. Este límite vale únicamente para los componentes de baja frecuencia de las variaciones, de acuerdo con la frecuencia de demarcación descrita en el apéndice I.

En la Rec. UIT-T H.222.0 | ISO/CEI 13818-1 [1] se especifica una tolerancia de  $\pm 75$  mHz/s @ 27 MHz, o de  $\pm 10$  ppm/hora.

#### Interfaz

Por ejemplo en la interfaz H de la figura I.8.

#### Método

Véase la descripción de método de medición en el apéndice I.

## 4.5 Referencia de reloj de programa – Fluctuación total (PCR\_OJ)

### Definición

La fluctuación total de la referencia de reloj de programa (PCR\_OJ) es la medida instantánea de los componentes de alta frecuencia de la diferencia observada entre el instante previsto para la llegada de la PCR a un punto de medición (basándose en anteriores valores de PCR, en su propio valor y en una referencia que no se obtiene de PCR ni de TS), y el instante en que llegó efectivamente.

El parámetro PCR\_OJ debe expresarse en nanosegundos.

### Objetivo

La medición de la PCR\_OJ permite obtener una indicación de todos los errores acumulados que afectan a los valores PCR en la generación del tren de programa, la multiplexación, la transmisión, etc. El receptor percibe todos estos efectos como fluctuación, pero en realidad son una combinación de inexactitudes de PCR y fluctuación en la transmisión. Este valor se puede comparar con el error máximo especificado en la Rec. UIT-T H.222.0 | ISO/CEI 13818-1 [1] para la exactitud de PCR de  $\pm 500$  ns, pero únicamente si se supone que la fluctuación de transmisión es cero.

### Interfaz

Por ejemplo en la interfaz J de la figura I.8.

### Método

Véase la descripción del método de mediciones en el apéndice I.

## 4.6 Referencia de reloj de programa – Exactitud (PCR\_AC)

### Definición

La exactitud de los valores PCR (PCR\_AC) es la diferencia entre el valor efectivo de la PCR y el valor que debería tener en el TS, que corresponde al índice del byte para su posición. Este cálculo sólo puede hacerse si el TS tiene una velocidad binaria constante; la medición no puede dar resultados significativos si la velocidad binaria del TS es variable.

El parámetro PCR\_AC debe expresarse en nanosegundos.

### Objetivo

Esta medición se hace para indicar el error total incluido en el valor PCR con respecto a su posición en el TS.

En la Rec. UIT-T H.222.0 | ISO/CEI 13818-1 [1] se especifica una tolerancia de  $\pm 500$  ns.

El principio es válido tanto para mediciones de tiempo real como fuera de línea.

### Interfaz

Por ejemplo en la interfaz E de la figura I.6.

### Método

Véase la descripción del método de mediciones en el apéndice I.

NOTA – En la Rec. UIT-T H.222.0 | ISO/CEI 13818-1 [1] se define la exactitud de PCR: "Se especifica una tolerancia para los valores PCR. Esta tolerancia de PCR se define como el valor máximo permitido de la inexactitud en las PCR recibidas. Esta inexactitud puede resultar de una imprecisión de los valores PCR o de una modificación de los valores PCR en el proceso de remultiplexación. No incluye los errores en el tiempo de llegada del paquete por fluctuación en la red y otras causas".

## Apéndice I

### Mediciones relativas a la referencia de reloj de programa

En este apéndice se describen los principios de las mediciones relativas a la referencia de reloj de programa (PCR) y se explica cómo se definen los parámetros. El objetivo es reunir la información necesaria para que se puedan obtener resultados uniformes y comparables con distintas formas de mediciones de la PCR para el mismo tren de transporte.

#### I.1 Introducción

Para formar nuevamente la señal de vídeo es necesario recuperar el reloj de 27 MHz en el lado del decodificador de un sistema de transmisión de televisión digital. Para recuperar el reloj se transmiten valores PCR dentro del tren de transporte, que deben ser correctos en el punto de origen y no deben deformarse en la cadena de transmisión a tal punto que puedan crear problemas en el proceso de decodificación de las señales comprimidas.

Es necesario medir la exactitud de los valores PCR y la fluctuación acumulada en ellos durante la transmisión en un tren de transporte, para garantizar que la decodificación de este tren es correcta.

La fluctuación y la deriva son factores importantes en este proceso. Por eso es necesario definir claramente el concepto de fluctuación en la PCR y explicar el método de mediciones.

#### I.2 Límites

A partir de las especificaciones de la Rec. UIT-T H.222.0 | ISO/CEI 13818-1 [1] se puede definir una máscara de límites para la desviación con respecto a la frecuencia nominal de 27 MHz.

**Desviación de frecuencia:** la diferencia entre el valor efectivo y la frecuencia nominal del reloj (27 MHz). Se establece un límite de  $\pm 810$  Hz, que se puede convertir en unidades relativas o normalizadas:  $810/27 \times 10^6 = 30 \times 10^{-6}$ . Esto significa que la frecuencia de reloj siempre debe ser igual a la frecuencia nominal  $\pm 0,003\%$ , o la frecuencia nominal  $\pm 30$  ppm. Definir un límite relativo para la desviación de frecuencia tiene la ventaja de que dicho límite es válido para cualquier valor de frecuencia de un reloj de referencia utilizado para sintetizar el reloj nominal de 27 MHz. Por ejemplo, se puede determinar si la variación de frecuencia está dentro del límite de 30 ppm dividiendo por 270 MHz el error de frecuencia en Hz de un reloj serie de 270 MHz derivado del reloj de sistema de 27 MHz.

**Cadencia de variación de frecuencia o deriva:** la mayor o menor "rapidez" de variación de la frecuencia de un reloj con el tiempo. Dicho de otra forma, es la primera función derivada de la frecuencia con respecto al tiempo, o la segunda función derivada de la fase con respecto al tiempo.

Se ha establecido un límite de 75 (mHz) por segundo para el reloj de 27 MHz, que se puede convertir en un límite relativo dividiendo por 27 MHz, es decir:  $(75 \times 10^{-3})/(27 \times 10^6) = 2,777... \times 10^{-9}/s$ .

Esto significa que la variación con respecto al valor nominal de la frecuencia de reloj de sistema no podrá ser diferente de  $\pm 0,000\ 000\ 277\ 7...%/s$ , o  $\pm 0,00277...ppm/s$ , o  $\pm 2,77...ppb/s$ . (La unidad ppb es aquí  $10^9$  –partes por mil millones–; en muchos países, "billion" equivale a  $10^{12}$ ).

Otra forma de expresar este resultado es 0,001%/hora, o 10 ppm/h.

$$27\ 000\ 000 - 810 \leq \text{frecuencia de reloj de sistema} \leq 27\ 000\ 000 + 810 \text{ @ } 27 \text{ MHz}$$

$$\text{Tolerancia de frecuencia} = \pm 30 \times 10^{-6} \text{ @ } 1 \text{ Hz} \quad (\text{I-1})$$

$$\text{Cadencia de variación de la frecuencia de reloj de sistema} = 75 \times 10^{-3} \text{ Hz/s @ } 27 \text{ MHz}$$

$$\text{Tolerancia de deriva} = \pm 2,7778 \times 10^{-9}/s \text{ @ } 1 \text{ Hz} \quad (\text{I-2})$$

$$\text{Tolerancia de fase} = \pm 500 \times 10^{-9} \text{ s} \quad (\text{I-3})$$

Es el error máximo de un valor PCR con respecto a su posición de tiempo en el tren de transporte. El límite máximo de la fase de un valor PCR es  $\pm 500$  ns; este valor es un límite absoluto en la generación de valores PCR, que no incluye la fluctuación inducida por la red.

En ISO/CEI 13818-9 [3] (Suplemento para la interfaz de tiempo real de decodificadores de sistema) se especifica (cláusula 2.5, Interfaz de tiempo real para aplicaciones de baja fluctuación) un límite de 50  $\mu$ s para la fluctuación t.

$$\text{Tolerancia de aplicaciones de baja fluctuación} = 25 \times 10^{-6} \text{ s} \quad (\text{I-3b})$$

NOTA – Los límites de desviación y deriva de frecuencia son condiciones para el reloj de sistema que está representado por los valores de los correspondientes campos de PCR. En estos límites se incluyen los efectos del reloj de sistema y los eventuales errores en los cálculos de PCR. El límite de 500 ns no es una condición del reloj de sistema, sino de exactitud en la representación de los valores PCR con respecto a su posición en el tren de transporte. Ahora bien, los errores de PCR son totalmente equivalentes a los errores de fase y de fluctuación cuando se utilizan las referencias PCR en el punto de decodificación para recuperar el reloj de sistema.

### I.3 Ecuaciones

La modulación de fase puede tener cualquier forma de onda que se pueda analizar como una composición de formas de ondas sinusoidales de distintas amplitudes y fases. Si el reloj es una señal de impulsos, las siguientes fórmulas valen para el componente fundamental de esta señal periódica.

Por ejemplo, ésta podría ser la ecuación de un reloj sinusoidal con modulación de fase sinusoidal:

$$F_{\text{clk}}(t) = A \times \text{sen}[\omega_c t + \phi(t)] = A \times \text{sen}[\omega_c t + \phi_p \times \text{sen}(\omega_m t)]$$

siendo:

$\omega_c$  la frecuencia angular nominal del reloj de programa, ( $\omega_c = 2\pi \times 27$  MHz);

$\phi(t)$  la función de modulación de fase;

$\phi_p$  la desviación máxima de fase en radianes;

$\omega_m$  la frecuencia angular de modulación de fase expresada en unidades de radianes/s.

La **fase instantánea** del reloj tiene dos términos:

$$\phi_i(t) = \omega_c t + \phi(t) = \omega_c t + \phi_p \times \text{sen}(\omega_m t) \quad (\text{I-4})$$

La frecuencia angular instantánea del reloj es la primera derivada de la fase instantánea:

$$\omega_i(t) = d\phi_i(t)/d t = \omega_c + \phi_p \times \omega_m \times \cos(\omega_m t) \quad (\text{I-5})$$

siendo:

$\omega_i$  la frecuencia angular instantánea del reloj,  $\omega_i = \phi_i'$ , expresada en radianes/s.

La **cadencia de variación de la frecuencia o deriva** es la primera derivada de la frecuencia angular, o la segunda derivada de la fase:

$$r_i(t) = d\omega_i(t)/d t = -\phi_p \times \omega_m^2 \times \text{sen}(\omega_m t) \quad (\text{I-6})$$

siendo:

$r_i$  la deriva instantánea del reloj,  $r_i = \phi_i''$ , expresada en radianes/s<sup>2</sup>.

#### I.4 Máscara

Se puede determinar una máscara de límite con distintas funciones que representen las especificaciones de límites.

De la ecuación de fase instantánea (I-4) se deduce que el valor máximo de modulación de fase es  $\phi_p$ , que se puede comparar con el límite definido en la Rec. UIT-T H.222.0 | ISO/CEI 13818-1 [1].

La **ecuación de fase** puede ser:

$$\phi_p = \omega_c \times T_{\max} = 2\pi \times 27 \text{ MHz} \times 500 \times 10^{-9} \text{ segundos} = 84,823 \text{ radianes} \quad (\text{I-7})$$

siendo:

$$T_{\max} \text{ el error de tiempo máximo del límite de reloj} = 500 \times 10^{-9} \text{ s}$$

De la ecuación de frecuencia angular instantánea (I-5) se desprende que el valor máximo de la desviación de frecuencia angular es  $\phi_p \times \omega_m$ , que se puede comparar con el límite de 810 Hz establecido en la Rec. UIT-T H.222.0 | ISO/CEI 13818-1 [1].

Desviación máxima de la frecuencia angular con respecto al valor nominal:

$$\phi_p \times \omega_m = 2\pi \times 810 \text{ radianes/s}$$

Se puede establecer la **ecuación de frecuencia** para el error de fase máximo como una función de la frecuencia de modulación dividiendo por  $\omega_m$ :

$$\phi_p = \frac{2\pi \times 810}{\omega_m} \quad (\text{I-8})$$

De la ecuación de deriva instantánea (I-6) se deduce que el valor máximo de la deriva de frecuencia angular es  $\phi_p \times \omega_m^2$ , que se puede comparar con el límite de 75 mHz/s especificado en la Rec. UIT-T H.222.0 | ISO/CEI 13818-1 [1].

$$\phi_p \times \omega_m^2 = 2\pi \times 0,075 \text{ radianes/s}^2$$

Se puede establecer la **ecuación de deriva** para el error de fase máximo como una función de la frecuencia de modulación dividiendo por  $\omega_m^2$ :

$$\phi_p = 2\pi \times 0,075 / \omega_m^2 \quad (\text{I-9})$$

Las tres ecuaciones se pueden normalizar dividiendo por  $2\pi \times 27 \text{ MHz}$ .

Entonces la **ecuación de fase** es:

$$T_{\max} = \frac{\phi_p}{2\pi \times 27 \times 10^6} = \frac{84,823}{2\pi \times 27 \times 10^6} = 500 \times 10^{-9} \text{ (segundos)} \quad (\text{I-7a})$$

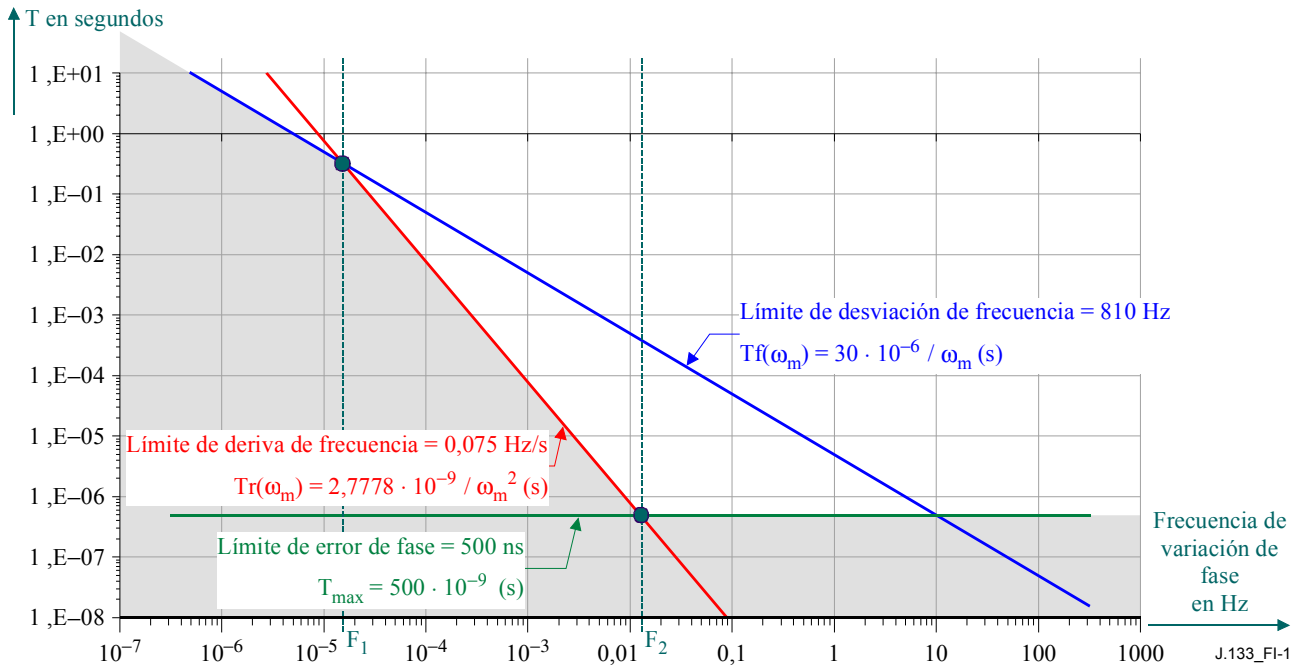
La **ecuación de frecuencia** es:

$$\text{Tf}(\omega_m) = \frac{\phi_p}{2\pi \times 27 \times 10^6} = \frac{2\pi \times 810}{2\pi \times 27 \times 10^6 \times \omega_m} = \left( \frac{30 \times 10^{-6}}{\omega_m} \right) \text{ s} \quad (\text{I-8a})$$

La **ecuación de deriva** es:

$$\text{Tr}(\omega_m) = \frac{\phi_p}{2\pi \times 27 \times 10^6} = \frac{2\pi \times 0,075}{2\pi \times 27 \times 10^6 \times \omega_m^2} = \left( \frac{2,7778 \times 10^{-9}}{\omega_m^2} \right) \text{ s} \quad (\text{I-9a})$$

Las tres ecuaciones (I-7a, I-8a y I-9a) están representadas en el gráfico de la figura I.1.



**Figura I.1/J.133 – Componente de fluctuación de PCR**

## I.5 Frecuencias de codo

### Valores de las dos frecuencias de codo de la figura I.1

$F_1$  se puede determinar redistribuyendo las ecuaciones de frecuencia y de deriva (I-8 y I-9 respectivamente) y resolviéndolas para el valor de  $\omega_m$  que permite obtener el mismo error máximo de fase:

$$\phi_p = 2\pi \times 810 / \omega_m \text{ and } \phi_p = 2\pi \times 0,075 / \omega_m^2 \text{ radianes}$$

$$\omega_m = (2\pi \times 0,075) / (2\pi \times 810) = 9,2592 \times 10^{-5} \text{ radianes/s}$$

$$F_1 = \omega_m / 2\pi = 14,736 \times 10^{-6} \text{ Hz}$$

La frecuencia de codo  $F_1$  no tiene ningún interés práctico porque es demasiado baja. En las mediciones de desviación de frecuencia, carece de interés el plazo de 5 días que sería necesario para tener un resultado promediado correspondiente al periodo de esta señal. Sólo es significativo a muy largo plazo y por eso no se considera en estas mediciones. El límite de deriva es suficiente para los fines prácticos de un análisis de fluctuación.

$F_2$  se puede determinar redistribuyendo y resolviendo las ecuaciones de fase y de deriva (I-7 y I-9 respectivamente) para el valor de  $\omega_m$  que tiene el mismo error máximo de fase:

$$\phi_p = 84,823 \text{ radianes and } \phi_p = 2\pi \times 0,075 / \omega_m^2 \text{ radianes}$$

$$\omega_m = \sqrt{0,4712 / 84,823} = 0,074535 \text{ radianes/s}$$

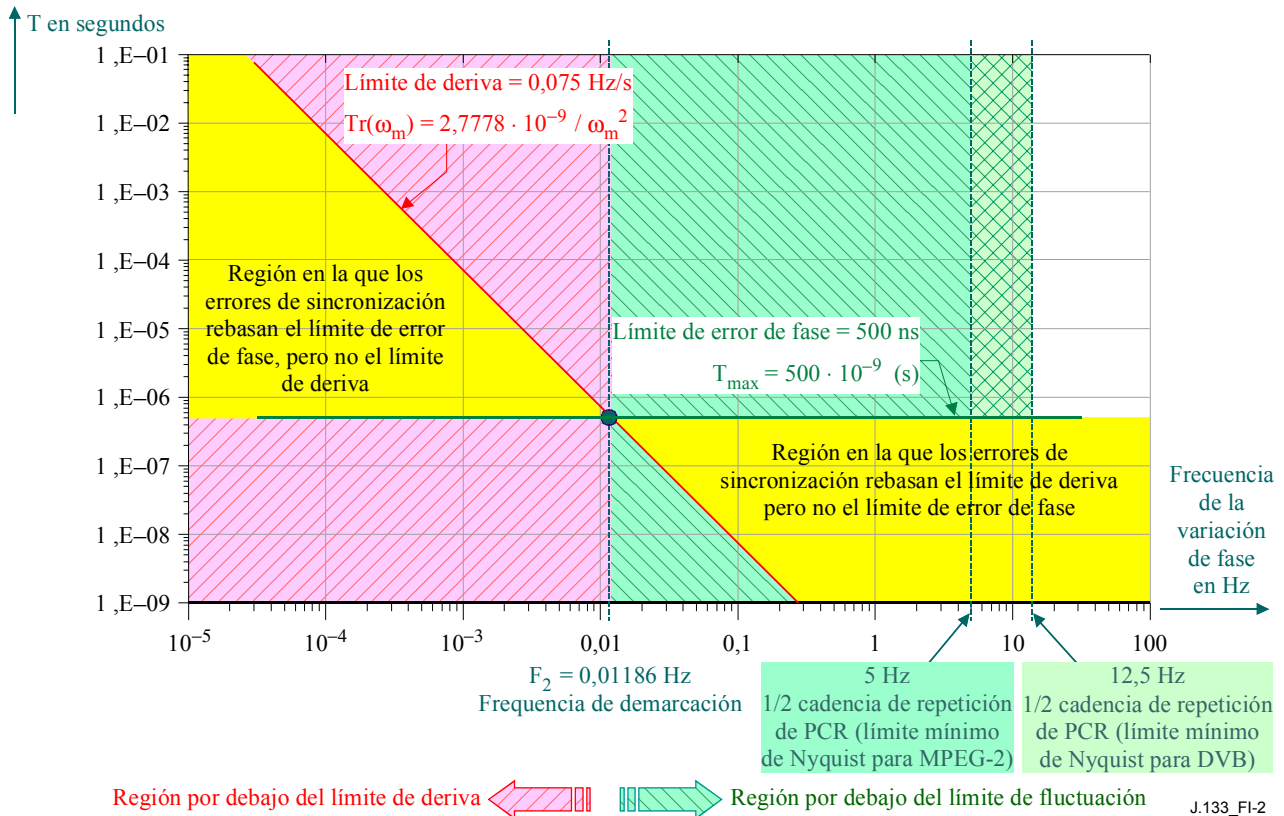
$$F_2 = 0,074535 / 2\pi = 0,01186 \text{ Hz}$$

NOTA 1 – Se obtienen los mismos valores con las ecuaciones normalizadas (I-7a), (I-8a) y (I-9a).

Esta frecuencia de codo ( $F_2 \sim 10$  mHz) es la frecuencia de demarcación recomendada para separar las mediciones de fluctuación y de deriva. Está definida como filtro MGF1 en el cuadro 1.

Es la frecuencia de codo a utilizar en los filtros para el tratamiento de los datos de PCR. Se puede determinar una máscara a partir de las dos ecuaciones que se utilizan para obtener este valor (ecuación de fase I-7a y ecuación de deriva I-9a).

En la figura I.2 se representa la máscara definida de esta forma.



**Figura I.2/J.133 – Máscara para los componentes de fluctuación de la referencia de reloj de programa**

Como puede verse, la deriva máxima de 75 mHz/s sólo se puede aplicar razonablemente a las frecuencias de fluctuación inferiores a la frecuencia de demarcación. Por encima de este valor la deriva puede ser mucho más rápida que el límite, cuando se consideran errores reales de PCR.

Por encima de la frecuencia de demarcación se aplica el límite absoluto de 500 ns para todos los valores de PCR.

NOTA 2 – Cuando se trata de aplicaciones de baja fluctuación (ISO/CEI 13818-9 [3]) la frecuencia de demarcación que corresponde al límite de  $\pm 25 \mu\text{s}$  es 1,67 mHz, en lugar de 10 mHz. Se utilizaría entonces un filtro con una frecuencia de codo de 2 mHz aproximadamente para trabajar con este límite. Este filtro se ha incluido en MGF4 debido a la constante de tiempo correspondiente, que es muy grande, y que hace que su respuesta sea muy lenta para una implementación práctica.

## I.6 Otras limitaciones implícitas

También se deduce de la figura I.2 que hay condiciones prácticas que limitan la posibilidad de medir frecuencias de fluctuación por encima de un determinado valor de frecuencia.

Si los valores de PCR se introducen a una velocidad mínima de 100 ms, de conformidad con la Rec. UIT-T H.222.0 | ISO/CEI 13818-1 [1], las muestras llegan al instrumento de medición a una velocidad de 10 Hz. El valor de Nyquist (media velocidad de muestreo) es igual a 5 Hz.

Si los valores de PCR se introducen a la velocidad mínima de 40 ms, de conformidad con TR 101 154, las muestras llegan al instrumento de medición a una velocidad de 25 Hz. El valor de Nyquist es igual a 12,5 Hz.

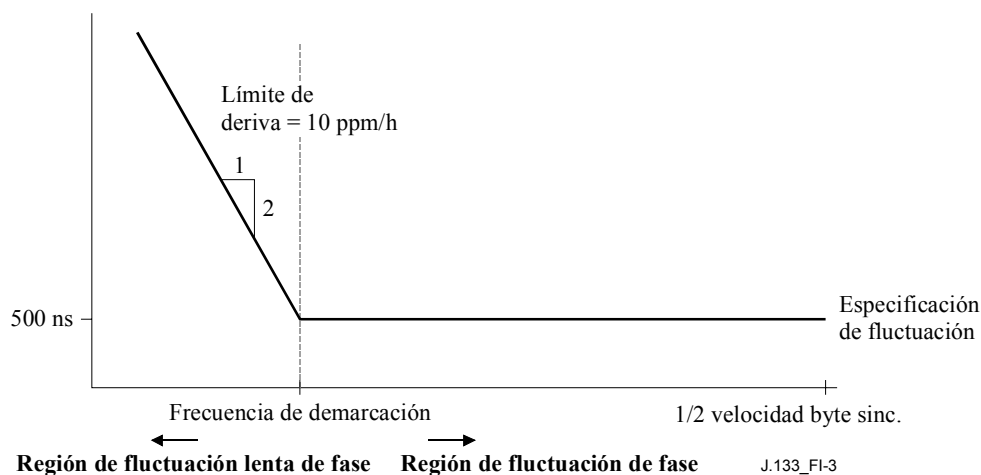
Si la cadencia de introducción de valores PCR en uno de estos entornos fuera superior, la correspondiente frecuencia de Nyquist aumentaría proporcionalmente. Esto significa que es necesario medir la velocidad efectiva de introducción de valores PCR cuando se hacen estadísticas con el instrumento de medición basadas en el análisis espectral de fluctuación.

Según el tipo de análisis, es necesario tener en cuenta que las muestras de PCR no llegan necesariamente a intervalos regulares. El creador de una implementación práctica debe decidir cuáles son los mejores tipos de filtros: técnicas de procesamiento de señal digital (DSP, *digital signal processing*) [filtros respuesta a impulsos infinitos (IIR, *infinite impulse response*) o filtros respuesta de impulsos finitos (FIR, *finite impulse response*)], con interpolación (lineal,  $\sin x/x$ , etc.) o sin interpolación, circuitos analógicos o tecnología híbrida con análisis analógicos y numéricos, etc.

Ahora bien, obsérvese que en la mayoría de los casos prácticos la cadencia de muestras es muy superior (1000 veces más) a las frecuencias de codo de los filtros considerados (MGF1 a 10 mHz). La cadencia mínima de referencias PCR es 10 Hz para los trenes de transporte generales MPEG (25 Hz en los sistemas DVB). El hecho de que la cadencia no sea uniforme no afecta significativamente las características de respuesta en régimen transitorio de los filtros con anchos de banda cercanos a 10 mHz, porque la frecuencia de muestreo de valores PCR es muy alta.

### I.7 Procedimientos de medición

Se pueden hacer mediciones de fluctuación proyectando los datos en un gráfico de segundo orden (regresión cuadrática) limitado por los valores de deriva de frecuencia especificados (véase la fig. I.3). **Ahora bien, otra solución es hacer mediciones separadas de fluctuación y de variación de frecuencia/deriva basadas en el método, más conocido, del contenido espectral sinusoidal de las variaciones de tiempo.**

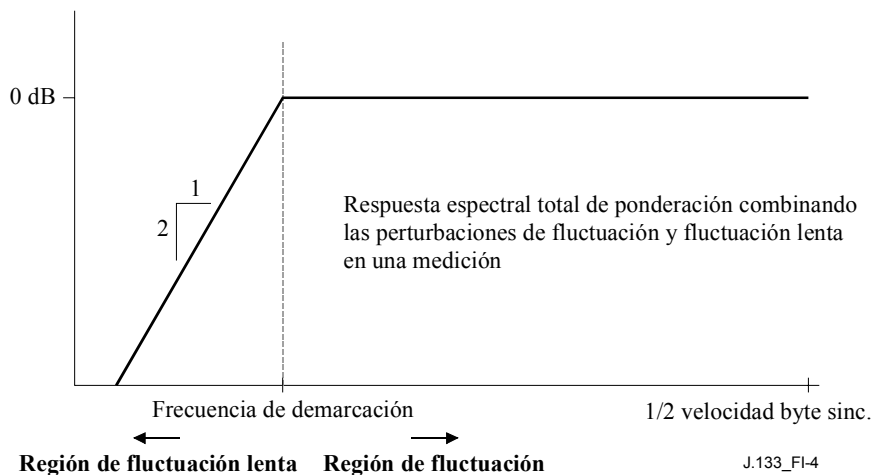


**Figura I.3/J.133 – Máscara espectral total de las variaciones de tiempo**

Si se consideran los componentes espectrales de fluctuación por debajo de la frecuencia de demarcación, los componentes sinusoidales máximos del error de sincronización de PCR pueden aumentar proporcionalmente al cuadrado del periodo del componente espectral, sin sobrepasar el límite de deriva de 10 ppm/h (o los valores equivalentes de 2,8 ppb/s y 75 mHz/s @ 27 MHz). Dado que el decodificador bucle de enganche de fase (PLL, *phase-locked loop*) y los siguientes equipos de sincronización de vídeo registran este error, estos componentes pueden sobrepasar con mucho el límite de 500 ns.

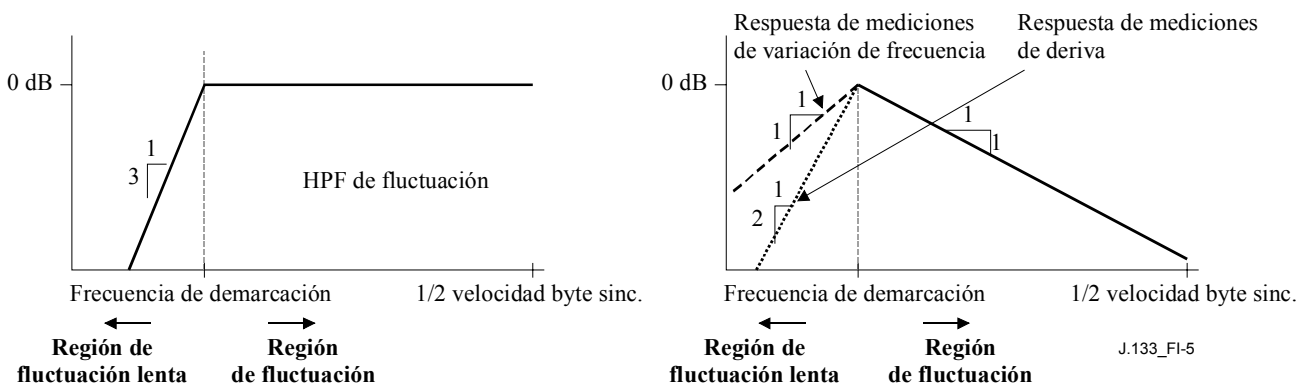


Invirtiendo la máscara de especificación se obtiene una medición espectral ponderada o un filtro de medición, como puede verse en la figura I.4.



**Figura I.4/J.133 – Filtro obtenido invirtiendo la máscara espectral de las variaciones de temporización**

Se puede descomponer en dos mediciones separadas, siendo la suma de los resultados de medición de fluctuación y de deriva básicamente igual al original (véase la figura I.5).



**Figura I.5/J.133 – Respuesta de tercer orden del filtro paso alto de fluctuación, y respuesta de primer orden de disminución progresiva en las mediciones de deriva**

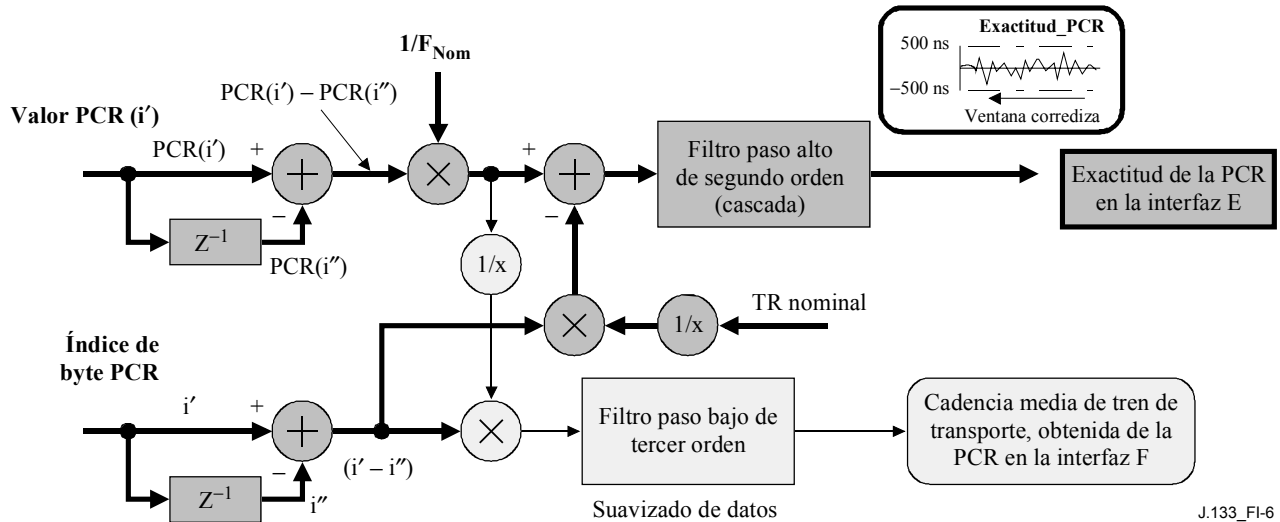
Así se puede evaluar la fluctuación por referencia a determinados límites de calidad de funcionamiento, independientemente hasta cierto punto, de los límites establecidos para la deriva de frecuencias. En la figura I.5, obsérvese que la respuesta del valor del filtro paso alto (HPF, *high-pass filter*) de fluctuación es de tercer orden para eliminar los componentes de deriva de las mediciones. En la misma figura I.5, a la derecha, la respuesta de las mediciones de deriva se reduce gradualmente con un perfil de primer orden para eliminar los componentes de fluctuación del resultado. Se representa también la respuesta preferida de las mediciones de variación de frecuencia, que también elimina los componentes de fluctuación espectrales. Obsérvese (en la figura I.5 a la derecha) que la variación de frecuencia por debajo de la frecuencia de demarcación tiene un perfil de pendiente de primera derivada, y la deriva tiene un perfil de pendiente de segunda derivada.

No es necesario medir directamente el error de sincronización porque su derivada de tiempo o la variación de frecuencia contiene todo lo necesario para la definición de los filtros de medición. Así pues, sólo son necesarias dos muestras para calcular la diferencia de tiempo o diferencia relativa del instante de llegada del byte. Dicho de otra forma, se mide la variación de frecuencia instantánea y

no el error de tiempo efectivo del tren de transporte, y esto facilita bastante las mediciones sin pérdida de información.

### I.7.1 Exactitud de la referencia de reloj de programa (PCR\_AC)

El resultado de exactitud de la referencia de reloj de programa (PCR\_AC) se obtiene en la interfaz E de la figura I.6.



$PCR(i')$   $PCR\_base(i') * 300 + PCR\_ext(i')$   
 Índice de byte de PCR Índice del byte que contiene el último bit del campo de referencia del reloj de programa que le sigue inmediatamente y que es aplicable al programa que está decodificando.

J.133\_FI-6

**Figura I.6/J.133 – Medición de la exactitud de la referencia de reloj de programa (PCR\_AC)**

Los valores de PCR\_AC que influyen en la recuperación del reloj PLL para un determinado programa se pueden medir independientemente del instante de llegada, a partir de la variación entre valores de PCR adyacentes y el número de bytes entre los PCR, de esta forma:

$$K(i) = i' - i'', \text{ bytes, } [PCR(i) - PCR(i-1)]/F_{Nom} - K(i)/TR = d(PCR\_AC(i))/dt$$

donde:

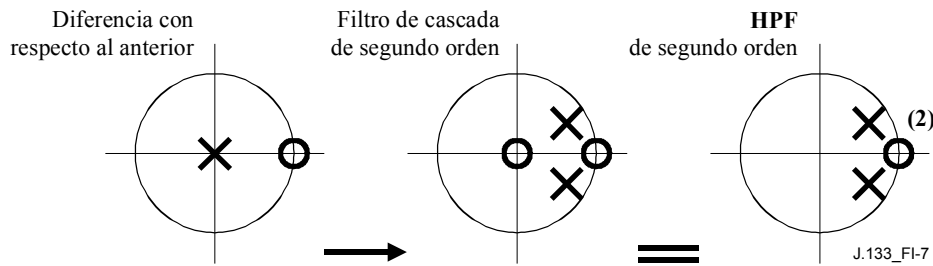
TR velocidad nominal del tren de transporte, bytes/s,  $F_{Nom} = 27 \text{ MHz}$

K(i) número de bytes entre la PCR (i) actual y la anterior PCR (i-1)

Ancho de banda de los filtros de paso alto y paso bajo conforme con MGF1, MGF2, MGF3 y MGF4.

Obsérvese que este método se utiliza para medir la exactitud (PCR\_AC) independientemente del tiempo de llegada. Esto sólo puede hacerse para un tren de transporte de velocidad binaria constante. No se mide la deriva ni la variación de frecuencia. Tampoco se miden los errores de intervalo de PCR, pero se pueden determinar indirectamente a partir de  $K(i)/TR$ . Por otra parte, la exactitud (PCR\_AC) se mide por encima de la frecuencia de demarcación para tener en cuenta los componentes espectrales que influyen en la fluctuación de PLL. Se puede suponer que los componentes de deriva de exactitud (PCR\_AC) no son significativos comparados con la deriva de reloj.

El filtro paso alto de segundo orden representa una respuesta HPF de segundo orden a la exactitud de la PCR correspondiente al efecto de primera derivada de la diferencia con respecto al anterior en las referencias PCR, como se indica en el diagrama. Puede representarse más claramente por un sistema de tiempo discreto que funciona a la velocidad media de PCR (véase la figura I.7).

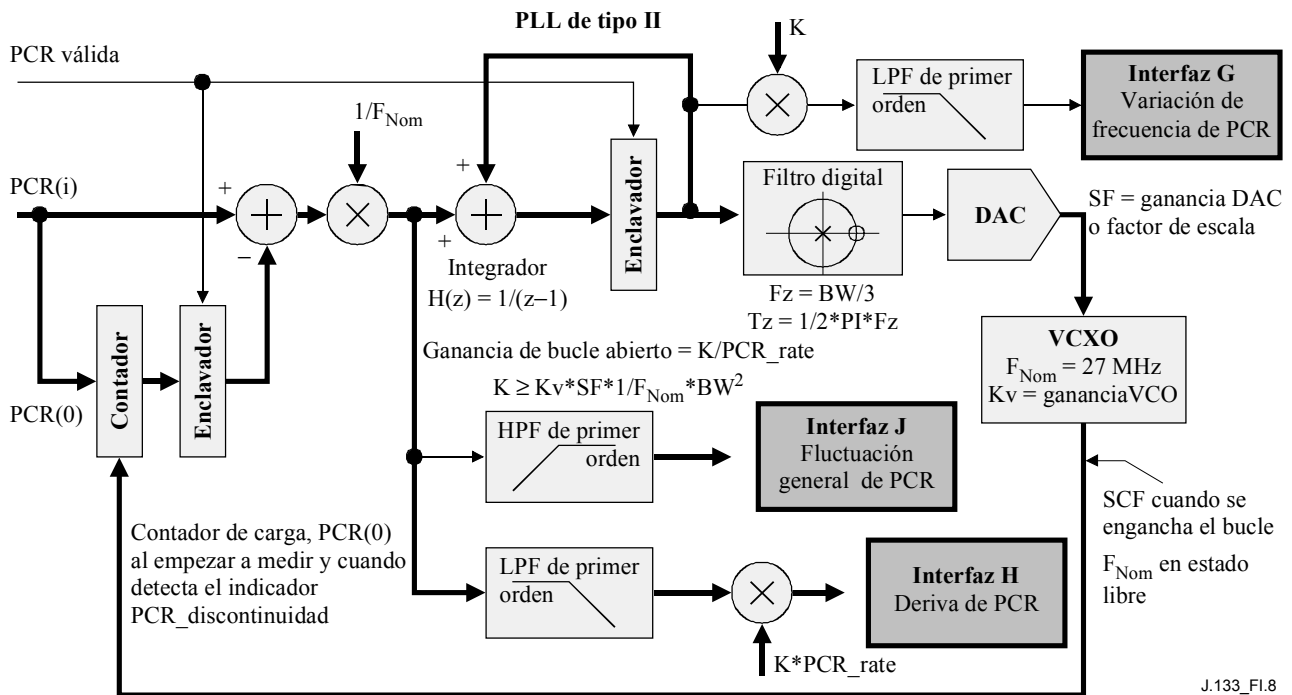


**Figura I.7/J.133 – HPF de segundo orden**

Considerando el modelo de referencia descrito en 4.1, la figura I.6 mide la diferencia entre dos inexactitudes PCR  $M_{p,i}' - M_{p,i}''$ . Procesando una serie de estas mediciones se pueden obtener las inexactitudes  $M_{p,I}$  de PCR, suponiendo que la inexactitud media es cero.

### I.7.2 Deriva de la referencia de reloj de programa (PCR\_DR)

El resultado de la deriva de la referencia de reloj de programa (PCR\_DR) se obtiene en la interfaz H de la figura I.8.



**Figura I.8/J.133 - Medición de la fluctuación general de PCR, combinando los efectos de exactitud (PCR\_AC) y de fluctuación de tiempo de llegada de la referencia de reloj de programa**

Esta medición se obtiene combinando la frecuencia más alta probable (HPF) de segundo orden representada por el bucle (antes del integrador representado por el circuito de adición y el enclavador), y la frecuencia más baja probable (LPF, *low-pass filter*) de primer orden. Esta acción combinada produce la respuesta de deriva que se representa en la figura I.5.

### I.7.3 Variación de frecuencia de la referencia de reloj de programa (PCR\_FO)

El resultado de la variación de frecuencia de la referencia de reloj de programa (PCR\_FO) se obtiene en la interfaz G de la figura I.8.

Esta medición se obtiene después de la acción combinada de la frecuencia más alta probable (HPF) de primer orden representada por el bucle y el integrador (representado por el circuito de adición y

el enclavador), y la frecuencia más baja probable (LPF) de primer orden. Esta acción combinada produce la respuesta de variación de frecuencia representada en la figura I.5.

#### **I.7.4 Medición de la fluctuación general de la referencia de reloj de programa (PCR\_OJ)**

El resultado de la fluctuación general de la referencia de reloj de programa (PCR\_OJ) se obtiene en la interfaz J de la figura I.8.

Esta medición se obtiene después de la acción combinada de la frecuencia más alta probable (HPF) de segundo orden representada por el bucle (antes del integrador representado por el circuito de edición y el enclavador), y la frecuencia más alta probable (HPF) de primer orden. Esta acción combinada produce la respuesta de fluctuación representada en la figura I.5 (a la izquierda).

En la fluctuación general se incluye el efecto combinado de los errores de exactitud de la PCR y la fluctuación del instante de llegada de la PCR. Es importante porque tiene una relación directa en la fluctuación y la deriva de reloj de programa recuperado. En este método también se miden la deriva y la variación de frecuencia de reloj. Por tanto, la solución más práctica es implementar un bucle enganchado en fase (PLL) de recuperación de SCF, como el bucle del decodificador de programa. Si se controla atentamente el ancho de banda y se calibra el VCXO, se podrán medir simultáneamente la fluctuación general de PCR, la variación de frecuencia SCF, y la deriva frecuencia reloj de sistema (SCF, *system clock frequency*) con las respuestas de frecuencia descritas anteriormente.

#### **Explicación**

El bucle enganchado a fase (PLL) es un sistema de control de tipo II con dos integradores ideales (el acumulador digital representado y el VCXO). La salida de sustracción de fase de este sistema es una respuesta de bucle cerrado de paso alto de segundo orden. En estas condiciones, la respuesta es proporcional a la deriva por debajo del ancho de banda del bucle, y por encima del ancho de banda del bucle es proporcional a la fluctuación. Para compensar los efectos de la deriva, es necesario añadir otra HPF de primer orden a la medición de fluctuación. De la misma forma, es necesario añadir una LPF de primer orden a la medición de deriva para compensar los efectos de la fluctuación.

NOTA 1 – Para el caso de filtros de los datos brutos con técnicas DSP, sabiendo que la cadencia de PCR es la cadencia de la muestra, la cadencia media de PCR se determinará midiendo el intervalo de PCR y filtrando el resultado con una LPF de 10 mHz o inferior. El valor de la cadencia de PCR se puede utilizar para los valores de la figura, para que el ancho de banda de medición (BW) sea independiente de la cadencia de PCR.

NOTA 2 – Se representa un sistema híbrido digital/analógico con un convertidor digital/analógico (DAC, *digital-to-analogue converter*) que controla el filtro de bucle analógico. La frecuencia única (SF) de un convertidor digital analógico de 14 bits sería  $2^{-14}$ . Se puede construir un oscilador VCXO (*voltage-controlled crystal oscillator*) de ganancia  $K_v$  con un subsistema que comprende un OCXO (*oven-controlled crystal oscillator*) y un FLL (*frequency-locked loop*) que engancha el VCXO. Este sistema permitiría calibrar la salida de variación de frecuencia con la precisión deseada, si fuera necesario. También se puede utilizar sólo el VCXO y verificar su error o variación de frecuencia aplicando una determinada frecuencia exacta (TS) y restando el error de las siguientes mediciones.

NOTA 3 – También se puede utilizar un oscilador OCXO autoexcitado para determinar el intervalo de la referencia PCR con métodos conocidos, y construir un oscilador VCO numérico. Este método permite construir una versión totalmente digital, únicamente de programas informáticos, utilizando el intervalo de PCR medido y los valores de PCR. Se puede demostrar que el ancho de banda de este método es básicamente independiente de la velocidad media de PCR, y los valores de fluctuación medidos son relativamente independientes de las variaciones del intervalo de PCR.

Este método es la implementación de un bucle PLL que combina sistemas de tratamiento de señales digitales analógicos (DSP), hay otros métodos que dan las mismas respuestas filtradas.

## **I.8 Consideraciones sobre las mediciones de la PCR**

Para medir y validar la parte de fluctuación y de deriva debida al reloj de tiempo de sistema (STC, *system time clock*) transportado en sus muestras de tiempo discreto por los valores de PCR de cada programa en un tren de transporte (TS), es necesario hacer análisis matemáticos de estas muestras para calcular los límites de funcionamiento y comparar directamente con los valores indicados en esta Recomendación.

El análisis típico de un sistema de muestras se realiza con una cadencia de muestreo regular de los datos que se analizan. Esta condición no se cumple generalmente para las muestras de tiempo discreto transportadas por los valores PCR que dependen, por su propia naturaleza, de criterios y prioridades de la etapa de multiplexación.

En la Rec. UIT-T H.222.0 | ISO/CEI 13818-1 [1] se establece un intervalo máximo de 100 ms entre valores PCR consecutivos. Para la radiodifusión de vídeo digital (DVB), se recomienda que todos los sistemas conformes transmitan los valores PCR con un intervalo máximo de 40 ms, pero todos los receptores deberán funcionar correctamente con intervalos más largos, de hasta 100 ms.

En ninguna de las normas se indica que el intervalo, sea cual sea, debe ser constante. Esto se debe a la necesidad de una tolerancia en el proceso de multiplexación, con respecto al instante en que se introduce el paquete que contiene el campo PCR para un determinado programa en el tren de transporte. Ahora bien, los creadores y operadores de multiplexadores tratan de producir estos valores con la cadencia más regular posible.

En el receptor se regenera la frecuencia de 27 MHz del reloj de sistema para el programa decodificado, controlada por una señal que utiliza todos los valores PCR correspondientes a este programa en el instante de la llegada, para introducir correcciones cuando sean necesarias. Se supone que el regenerador de reloj es suficientemente estable para garantizar que no hay una fluctuación indebida de fase de un valor PCR al siguiente durante intervalos que pueden ser de hasta 100 ms.

Ahora bien, el tren de transporte debe proporcionar los valores PCR correctamente con un error máximo de 500 ns con respecto a la fase instantánea del reloj de sistema. El error acumulado de muchos valores PCR podría rebasar el límite de 500 ns, pero si este error acumulado corresponde a un periodo suficientemente largo, se considerará más bien su influencia en la deriva y se permitirá que se rebase el límite de 500 ns. La explicación del concepto de "suficientemente largo" está en I.5 y se representa gráficamente por los puntos de corte del gráfico en la figura I.2. En el caso de frecuencias sinusoidales inferiores a 12 mHz, es la norma de deriva la que determina el límite, y no se considera el límite de 500 ns.

Si el dispositivo de medición tiene los filtros apropiados para separar los componentes espectrales del valor PCR recibido a proximidad de la frecuencia de demarcación, entre la fluctuación y la deriva, se podrán comparar los errores recibidos con respecto a los límites correspondientes indicados en esta Recomendación.

Si el dispositivo de medición fuera analógico, con filtros físicos, el creador del sistema utilizará la frecuencia de demarcación como una condición para el diseño de los filtros, independientemente de la cadencia de muestreo con la que se reciben efectivamente los valores PCR. Esta frecuencia de demarcación se obtiene de los límites fijados por esta Recomendación y no depende de la cadencia de muestreo para los valores PCR.

Si se utilizan filtros con técnicas digitales (DSP), el creador del sistema debe tener en cuenta la cadencia media de muestreo de valores PCR y adaptar los filtros para mantener un ancho de banda relativamente fijo para la medición. Este concepto supone implícitamente que la cadencia de muestreo (velocidad media de llegada de valores PCR) es conocida y también relativamente constante.

Se recomienda determinar el valor de los coeficientes de forma adaptable, midiendo la velocidad efectiva de llegada de los valores PCR. Dicho de otra forma, utilizar un filtro adaptable cuyo parámetro variable sea la velocidad de PCR medida.

En las pruebas prácticas con una fuerte modulación de frecuencia para la velocidad de valores de PCR, los resultados de mediciones de fluctuación y deriva están muy relacionados con los errores de fluctuación y deriva introducidos por el generador de prueba en los valores PCR analizados (dentro de los límites de exactitud del dispositivo de medición). En general, una ligera diferencia de ancho de banda del filtro de medición no afecta significativamente los resultados de mediciones de fluctuación, porque los componentes espectrales de fluctuación suelen ser de banda ancha. En realidad es más importante el orden del filtro, que determina su sensibilidad de salida a los componentes fuera de banda, porque si bien su amplitud puede ser reducida, la primera y la segunda derivadas pueden ser muy altas.

Además de verificar la validez del tren de transporte, es necesario considerar una solución para eliminar errores, para determinar el origen de fluctuaciones que tengan cierta periodicidad o frecuencias resonantes, en su caso. Dicho dispositivo deberá aplicar el análisis de Fourier a los datos de la muestra recibida.

Como el anterior, este análisis es válido si la velocidad de muestreo es conocida y regular. Es necesario medir la velocidad de muestreo para conocer las frecuencias analizadas en cada comportamiento de frecuencias (la resolución es función del número de muestras de tiempo utilizadas en el cálculo y de la estabilidad relativa de la velocidad de muestreo en el intervalo de medición).

Si la velocidad de muestreo no fuera uniforme, aún podría hacerse interpolando cuidadosamente antes de aplicar la técnica de Fourier. Generalmente no es necesario interpolar, porque tratándose de un dispositivo para eliminar errores, no es necesario saber cuál es el valor "exacto" de las frecuencias y sus amplitudes, sino determinar si la fluctuación es aleatoria o si concierne a determinadas frecuencias predominantes.

En general, cuando se hace un análisis de Fourier para señales en un muestreo regular, y la señal tiene un componente sinusoidal estable, sus parámetros se pueden determinar con mucha precisión y se puede trazar una línea espectral clara con estos datos, en una representación similar a la de un analizador de espectro. Si el componente sinusoidal no fuera estable, la línea espectral sería ancha y de amplitud más baja, tanto más ancha y más baja cuanto más grande sea la modulación de frecuencia (FM, *frequency modulation*) implícita en esta curva sinusoidal.

Si el componente sinusoidal es estable, pero la velocidad de muestreo está sometida a modulación de frecuencia (FM), que es el caso de la velocidad de llegada de las referencias PCR, la línea espectral será ancha y más baja, como la descrita anteriormente. En el caso de una fuerte modulación de frecuencia (aleatoria o no) en la señal de muestreo, el espectro será más ancho y cada compartimiento tendrá menos amplitud, pero la herramienta de diagnóstico sigue siendo válida.

## **I.9 Filtros posibles para la medición de PCR**

### **I.9.1 ¿Por qué hay varias opciones?**

Es difícil hacer mediciones de PCR. Los valores de PCR no son muy frecuentes y constituyen números de cierta importancia (42 bits). El objetivo es hacer una referencia de reloj muy estable, lo que supone que el instrumento de medición debe tener como mínimo la misma estabilidad. Los problemas se deben a esta condición de estabilidad a largo plazo del contador (la variación de frecuencia por hora es del orden de unos cuantos ppm), que tiene un incremento muy rápido (27 MHz), pero con una transmisión poco frecuente (40 ms aproximadamente).

Se define una frecuencia de "demarcación" (figura I.2) que distingue las inexactitudes introducidas en el reloj de PCR: deriva (componente baja frecuencia) y fluctuación (componente alta frecuencia). Está basada en los límites establecidos en la Rec. UIT-T H.222.0 | ISO/CEI 13818-1 [1], que delimita una región por debajo de 10 mHz (MGF1) en la que predomina el límite de deriva (75 mHz/s), y una región por encima de 10 mHz (MGF1) en la que se permite que los errores sobrepasen la deriva pero no el límite de error de fase (500 ns). Por eso se recomienda resueltamente adoptar la frecuencia de demarcación MGF1 para ajustarse a las especificaciones de la Rec. UIT-T H.222.0 | ISO/CEI 13818-1 [1].

Ahora bien, se han determinado tres frecuencias de demarcación fijas para las mediciones prácticas (MGF1-3) y también se admite otra definida por el usuario o el fabricante (MGF4). La frecuencia de demarcación **elegida** es una solución intermedia entre la exactitud de reloj deseada, según la definición de especificaciones MPEG, y las consideraciones prácticas de la medición.

Para que dos dispositivos de medición den los mismos resultados para un determinado tren de transporte, la medición debe hacerse con la **misma** frecuencia de demarcación en ambos casos. También se podrán eliminar los efectos secundarios de la llegada irregular de las muestras PCR, para que haya menos diferencias entre los resultados. En este estudio de mediciones no se trata este último procedimiento, pero se puede decir que los sistemas darán resultados similares si un tren de diez minutos, por ejemplo, tiene referencias PCR cada 20 ms durante los primeros cinco minutos, y cada 40 ms durante los cinco minutos siguientes.

En la implementación de los filtros MGF1 a MGF4 definidos en esta Recomendación, habrá diferencias entre la respuesta real de los filtros y la respuesta que se espera de los filtros ideales lo que supone un ligero error entre los sistemas. En general, el grado de precisión de los filtros depende del fabricante y de las características de sus mercados.

### **Elegir un sistema**

El objeto de este estudio es definir condiciones que permitan obtener resultados similares con sistemas similares, y presentar claramente a los usuarios las consecuencias de elegir parámetros diferentes para las mediciones. Los errores entre los distintos sistemas dependerán de varios factores:

- 1) ¿Se utilizan las mismas frecuencias de demarcación? Es el factor más importante  
Los resultados serán diferentes si los sistemas utilizan frecuencias de demarcación diferentes. Es un factor importante, y en las siguientes líneas se analiza este tipo de error.
- 2) ¿Se utilizan filtros de demarcación del mismo orden? Este factor es menos importante  
La respuesta del filtro sería muy diferente si un sistema utilizara un filtro de segundo orden y otro un filtro de quinto orden. Es de esperar que haya una ligera diferencia entre los sistemas de medición, especialmente si los errores tienen componentes de frecuencias significativos cercanos a la frecuencia de demarcación.
- 3) ¿Se hace la medición cerca de la frontera entre las frecuencias de variación/deriva/fluctuación?  
Cerca de la frecuencia frontera, el orden del filtro y su respuesta de impulso pueden afectar los componentes de frecuencia que se incluyen en las mediciones o se eliminan de ellas, pero esto influye mucho menos que la elección de la frecuencia de demarcación.

### **I.9.2 Frecuencias de demarcación más altas**

La elección de una frecuencia de demarcación más alta, por ejemplo MGF3, tiene varios efectos:

- 1) La fluctuación se transforma en deriva o variación de frecuencia  
Cuando se elige una frecuencia de demarcación más alta, el componente de frecuencia que antes habría sido considerado como fluctuación, ahora será considerado como deriva o

variación de frecuencia. Por tanto, se reduce la magnitud del componente de frecuencia de fluctuación general, y el reloj de sistema no parecerá tan estable como realmente es.

2) La medición se estabiliza más rápidamente

El tiempo de medición sigue aproximadamente la relación  $1/\text{frecuencia}$ . Si la frecuencia se eleva en dos órdenes de magnitud, el tiempo de estabilización se reducirá también en dos órdenes de magnitud. Hay técnicas digitales (DSP) que permiten reducir el tiempo de estabilización, y es el proveedor de los equipos quien decide si se utilizan.

Como **regla general**, una frecuencia de demarcación más alta se estabiliza más rápidamente, pero el resultado es menos exacto. Se obtienen valores de fluctuación más pequeños, y valores de deriva más grandes.

### 1.9.3 Frecuencias de demarcación más bajas

La elección de una frecuencia de demarcación más baja, por ejemplo MGF1, tiene varios efectos:

1) Separación de fluctuación y deriva en categorías más representativas

Si la frecuencia de demarcación elegida es más baja, los componentes de frecuencia quedarán clasificados más precisamente como fluctuación, variación de frecuencia o deriva. Los componentes de frecuencia se miden con unas premisas que se acercan más a las especificaciones de la norma MPEG2.

2) La medición tarda más en estabilizarse

El tiempo de estabilización sigue aproximadamente la relación  $1/\text{frecuencia}$ . Si la frecuencia se reduce en dos órdenes de magnitud, el tiempo de estabilización aumentará también en dos órdenes de magnitud. Hay técnicas digitales (DSP) que permiten reducir el tiempo de estabilización, y es el proveedor de los equipos quien decide si se utilizan.

Como **regla general**, una frecuencia de demarcación más baja se estabiliza más lentamente, pero el resultado es más exacto. Se obtienen valores de fluctuación más grandes, y valores de deriva más pequeños.

Al final es el usuario del equipo quien decide la frecuencia de demarcación que se utiliza, que será una solución intermedia entre la rapidez y la precisión de las mediciones. Con los principios aquí considerados, los diferentes sistemas de medición darán resultados similares en el centro de la región de medición, habrá cierta ambigüedad en la frontera entre las dos regiones y nuevamente resultados similares en la siguiente región.



## SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie B	Medios de expresión: definiciones, símbolos, clasificación
Serie C	Estadísticas generales de telecomunicaciones
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedia
Serie I	Red digital de servicios integrados
<b>Serie J</b>	<b>Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedia</b>
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	RGT y mantenimiento de redes: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos y comunicación entre sistemas abiertos
Serie Y	Infraestructura mundial de la información y aspectos del protocolo Internet
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación