

**UIT-R**

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

**Recomendación UIT-R BT.1363-1**  
(11/1998)

**Especificaciones de la fluctuación de fase y métodos para medir la fluctuación de fase en señales de bits en serie conformes a las Recomendaciones UIT-R BT.656, UIT-R BT.799 y UIT-R BT.1120**

**Serie BT**  
**Servicio de radiodifusión (televisión)**



## Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

## Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

### Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
<b>BO</b>	Distribución por satélite
<b>BR</b>	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
<b>BS</b>	Servicio de radiodifusión sonora
<b>BT</b>	<b>Servicio de radiodifusión (televisión)</b>
<b>F</b>	Servicio fijo
<b>M</b>	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
<b>P</b>	Propagación de las ondas radioeléctricas
<b>RA</b>	Radio astronomía
<b>RS</b>	Sistemas de detección a distancia
<b>S</b>	Servicio fijo por satélite
<b>SA</b>	Aplicaciones espaciales y meteorología
<b>SF</b>	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
<b>SM</b>	Gestión del espectro
<b>SNG</b>	Periodismo electrónico por satélite
<b>TF</b>	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
<b>V</b>	Vocabulario y cuestiones afines

*Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.*

Publicación electrónica  
Ginebra, 2011

© UIT 2011

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

## RECOMENDACIÓN UIT-R BT.1363-1\*,\*\*

**Especificaciones de la fluctuación de fase y métodos para medir la fluctuación de fase en señales de bits en serie conformes a las Recomendaciones UIT-R BT.656, UIT-R BT.799 y UIT-R BT.1120**

(Cuestión UIT-R 130/6)

(1998-1998)

**Cometido**

En esta Recomendación se facilitan orientaciones y tolerancias para la medición de la fluctuación de fase relacionada con la estabilidad del reloj maestro de las interfaces digitales en serie. También se formulan sugerencias respecto de las técnicas de medición.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que muchos países han implantado instalaciones de producción de televisión digital basadas en el empleo de componentes de vídeo digital en serie conformes a las Recomendaciones UIT-R BT.656, UIT-R BT.799 o UIT-R BT.1120;
- b) que para garantizar el funcionamiento de las interfaces digitales en serie es necesario especificar los parámetros de la fluctuación de fase y los métodos para medir dicha fluctuación de fase;
- c) que para llevar a cabo los anteriores objetivos, debe llegarse a un acuerdo sobre la especificación y medición de la fluctuación de fase en las interfaces de bits en serie conformes a las Recomendaciones UIT-R BT.656, UIT-R BT.799 y UIT-R BT.1120;
- d) que la introducción de interfaces ópticas para la transmisión de las señales conformes a la Recomendación UIT-R BT.1367 exige especificar los parámetros de la fluctuación de fase y los métodos para medirla,

*recomienda*

**1** que cuando se implementen las interfaces conformes a las Recomendaciones UIT-R BT.656, UIT-R BT.799 y UIT-R BT.1120, se especifique la fluctuación de fase y los métodos para medir la fluctuación de fase de acuerdo con las disposiciones indicadas en el Anexo 1;

**2** que la observancia de esta Recomendación sea voluntaria. Ahora bien, la Recomendación puede contener ciertas disposiciones obligatorias (para asegurar, por ejemplo, la aplicabilidad o la interoperabilidad), por lo que la observancia se consigue con el cumplimiento exacto y puntual de todas las disposiciones obligatorias. Los requisitos se expresan mediante el uso de las expresiones «tener que», «haber de», «hay que + infinitivo» o el verbo principal en tiempo futuro simple de mandato, ya sea en modo afirmativo o negativo. El hecho de que se utilice esta formulación no entraña que se imponga la observancia parcial o total de esta Recomendación.

---

\* La Comisión de Estudio 6 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2003 de conformidad con la Resolución UIT-R 44.

\*\* La Comisión de Estudio 6 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en octubre de 2010 de conformidad con la Resolución UIT-R 1.

## Anexo 1

### Especificaciones de la fluctuación de fase

#### 1 Introducción

La presente Recomendación describe técnicas para especificar la fluctuación de fase en los sistemas digitales con autotemporización y bits en serie. Es aplicable a fuentes, receptores y regeneradores.

#### 2 Referencias normativas

No hay referencias normativas asociadas a esta Recomendación.

#### 3 Definiciones

**3.1 fluctuación de fase de alineación:** Variación en la posición de las transiciones de una señal con respecto a las de una señal de reloj extraída de dicha señal. La anchura de banda del proceso de extracción de la señal de reloj determina el límite de baja frecuencia para la fluctuación de fase de alineación.

**3.2 tolerancia a la fluctuación de fase de entrada:** Valor de la amplitud cresta a cresta de la fluctuación de fase sinusoidal que, aplicada a la entrada de un equipo, provoca una degradación especificada de la característica de error.

**3.3 fluctuación de fase intrínseca:** Fluctuación de fase a la salida de un equipo en ausencia de fluctuación de fase a la entrada.

**3.4 fluctuación de fase:** Variación de las transiciones de una señal digital con respecto a sus posiciones ideales en el tiempo.

**3.5 transferencia de fluctuación de fase:** Fluctuación de fase a la salida de un equipo como consecuencia de una fluctuación de fase aplicada a la entrada.

**3.6 función de transferencia de fluctuación de fase:** Relación entre la fluctuación de fase a la salida y la fluctuación de fase aplicada a la entrada en función de la frecuencia.

**3.7 fluctuación de fase a la salida:** Fluctuación de fase a la salida de un equipo que forma parte de un sistema o una red. Consta de la fluctuación de fase intrínseca y de la transferencia de fluctuación de fase a la entrada del equipo.

**3.8 fluctuación de fase de la temporización:** Variaciones en la posición de las transiciones de una señal que se producen a una velocidad superior a una frecuencia especificada, normalmente 10 Hz o menos. Las variaciones que se producen por debajo de esta frecuencia especificada se denominan fluctuación lenta de fase y no se consideran en esta Recomendación.

**3.9 intervalo unitario (IU):** Periodo de un ciclo de reloj. Corresponde al tiempo mínimo nominal entre transiciones de la señal en serie.

#### 4 Especificaciones de la fluctuación de fase

Las especificaciones de la fluctuación de fase en los equipos se dividen en tres categorías: tolerancia a la fluctuación de fase de entrada, transferencia de fluctuación de fase y fluctuación de fase intrínseca. Una cuarta especificación, fluctuación de fase a la salida, es una especificación de red y puede utilizarse para especificar los límites de fluctuación de fase en las interfaces del equipo.

**4.1 Tolerancia a la fluctuación de fase de entrada**

La tolerancia a la fluctuación de fase de entrada es el valor cresta a cresta de la amplitud de la fluctuación de fase sinusoidal que, aplicada a la entrada del equipo, provoca una degradación especificada de la característica de error. La tolerancia a la fluctuación de fase de entrada es aplicable a la mayoría de las entradas en serie.

**4.1.1** Los requisitos de tolerancia a la fluctuación de fase de entrada se especifican con una plantilla de fluctuación de fase que abarca una gama de frecuencias de amplitud sinusoidal especificada (véase la Fig. 1). Esa plantilla representa la cantidad mínima de fluctuación de fase que el equipo debe aceptar sin que se produzca la degradación especificada de la característica de error. Los equipos que satisfacen los requisitos de tolerancia a la fluctuación de fase deben tener una tolerancia real a la fluctuación de fase superior a la señalada por la plantilla (véase la Fig. 2).

**4.1.2** Los requisitos de tolerancia a la fluctuación de fase de entrada se especifican con los parámetros que aparecen en el Cuadro 1.

CUADRO 1  
Tolerancia a la fluctuación de fase de entrada

Parámetros	Unidades	Descripción
Velocidad de datos	(bit/s)	(Velocidad binaria en serie)
$f_1$	(Hz)	(Límite de especificación de baja frecuencia)
$f_2$	(Hz)	(Extremo superior de la banda para $A_1$ , tolerancia a la fluctuación de fase de baja frecuencia)
$f_3$	(Hz)	(Extremo inferior de la banda para $A_2$ , tolerancia a la fluctuación de fase a alta frecuencia)
$f_4$	(Hz)	(Límite de especificación de alta frecuencia)
$A_1$	(IU)	(Tolerancia a la fluctuación de fase en baja frecuencia, $f_1$ a $f_2$ )
$A_2$	(IU)	(Tolerancia a la fluctuación de fase en alta frecuencia, $f_3$ a $f_4$ )
Criterio de error		(Criterio para determinar el comienzo de los errores)
Señal de prueba		(Señal de prueba utilizada para las mediciones)

FIGURA 1  
Plantilla de tolerancia a la fluctuación de entrada

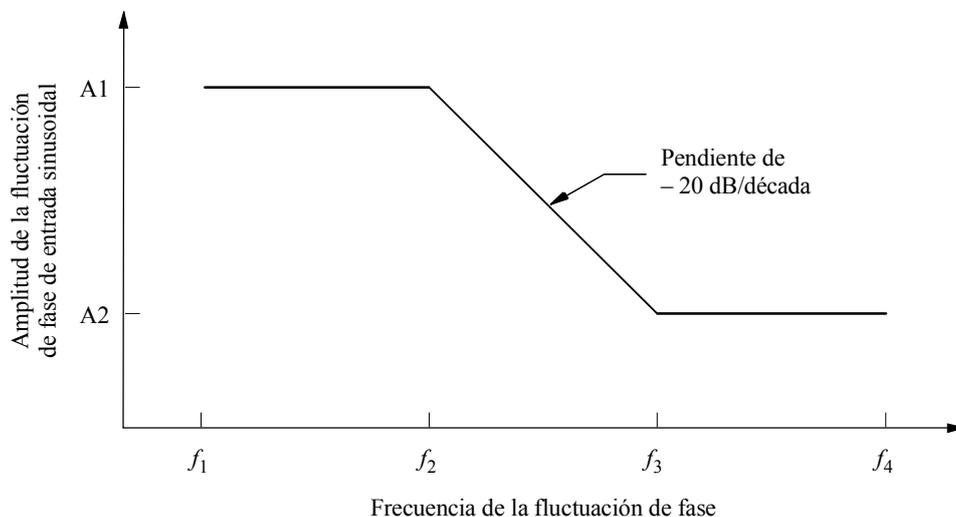
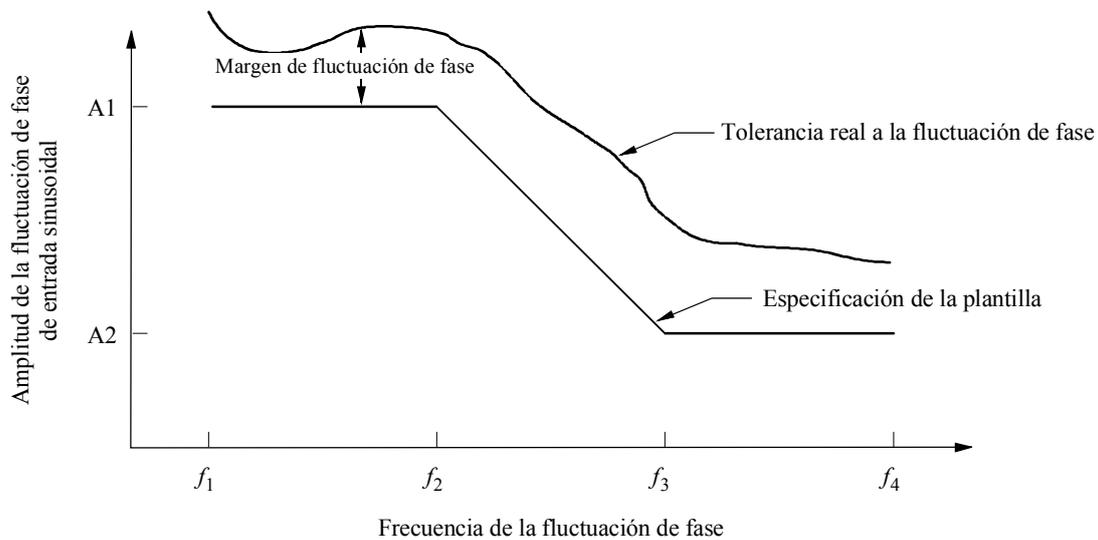


FIGURA 2

Especificación de tolerancia a la fluctuación de fase y ejemplo de tolerancia a la fluctuación de fase que cumple dicha especificación



1363-02

**4.1.2.1** La banda de frecuencias  $f_1$  a  $f_2$  constituye la banda de paso de la tolerancia a la fluctuación de fase en baja frecuencia. En esta banda de paso deberá tolerarse al menos  $A_1$  IU de fluctuación de fase sinusoidal cresta a cresta sin que se rebase el criterio de error especificado.

**4.1.2.2** La banda de frecuencias  $f_3$  a  $f_4$  es la banda de paso de la tolerancia a la fluctuación de fase en alta frecuencia. En esta banda de paso deberá tolerarse al menos  $A_2$  IU de fluctuación de fase sinusoidal cresta a cresta sin que se rebase el criterio de error especificado.

**4.1.2.3**  $A_1$  y  $A_2$  se especificarán en IU.

**4.1.2.4** La pendiente del requisito de tolerancia a la fluctuación de fase entre  $f_2$  y  $f_3$  deberá ser de 20 dB/década. La relación entre las frecuencias  $f_2$  y  $f_3$  es la siguiente:  $f_2 = f_3 / (A_1/A_2)$ .

**4.1.2.5** Deberá especificarse el criterio para determinar el comienzo de los errores. Debe utilizarse un límite de BER o un número máximo de segundos con error a lo largo del intervalo de medición especificado.

**4.1.2.6** Deberá especificarse la señal de prueba utilizada para la medición (a la que se añade una fluctuación de fase sinusoidal).

**4.1.3** Los valores numéricos de la tolerancia a la fluctuación de fase de entrada figuran en las Recomendaciones UIT-R correspondientes que hacen referencia a esta práctica. La terminología deberá ajustarse a lo indicado en el § 4.1.2.

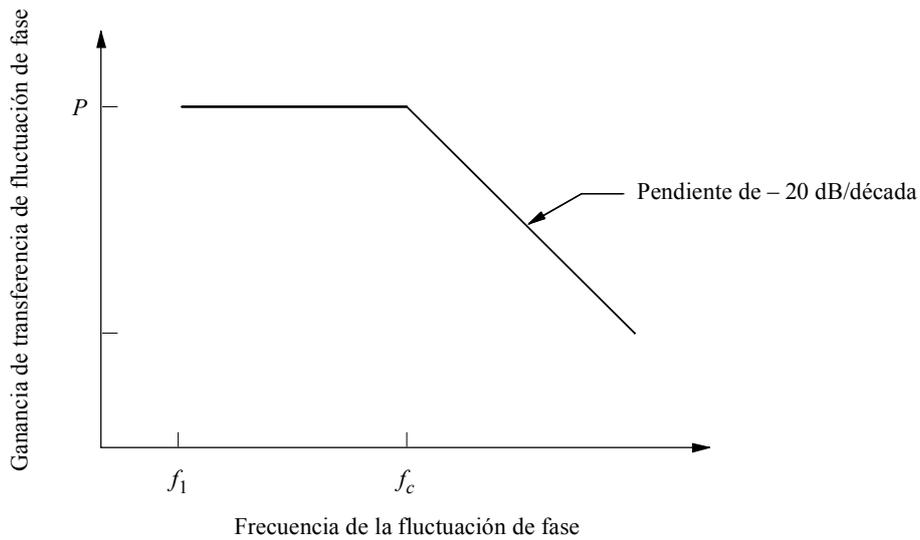
## 4.2 Transferencia de fluctuación de fase

La transferencia de fluctuación de fase es la fluctuación de fase a la salida de un equipo como resultado de la fluctuación de fase aplicada a la entrada. La transferencia de fluctuación de fase es un concepto relativo a dispositivos que producen salidas en serie a partir de entradas en serie, tales como los regeneradores.

La transferencia de fluctuación de fase también puede producirse a partir de señales de referencia aplicadas a equipos, tales como ráfagas analógicas. Las plantillas de transferencia de fluctuación de fase descritas a continuación se refieren a transferencias de fluctuación de fase de entrada en serie a salida en serie.

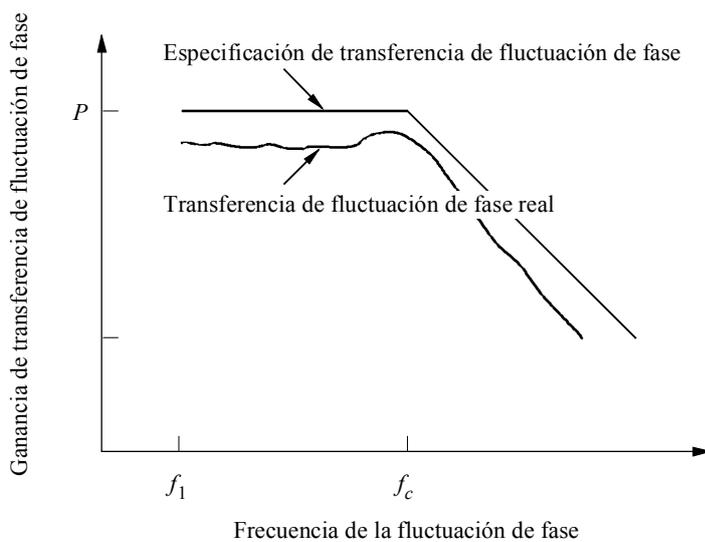
**4.2.1** Los requisitos de transferencia de fluctuación de fase se especifican con una plantilla que representa la máxima ganancia de fluctuación de fase en función de la frecuencia (véase la Fig. 3). Para que un equipo satisfaga el requisito de transferencia de fluctuación de fase deberá tener una función de transferencia de fluctuación de fase que se encuentre por debajo de los límites señalados por la plantilla. (Véase la Fig. 4.)

FIGURA 3  
Plantilla de transferencia de fluctuación de fase



1363-03

FIGURA 4  
Especificación de transferencia de fluctuación de fase y ejemplo de función de transferencia de fluctuación de fase que cumple dicha especificación



1363-04

**4.2.2** Los requisitos de transferencia de fluctuación de fase se especifican con los parámetros que figuran en el Cuadro 2.

CUADRO 2

**Requisitos de la transferencia de fluctuación de fase**

Parámetros	Unidades	Descripción
Velocidad de datos	(bit/s)	(Velocidad binaria en serie)
$f_1$	(Hz)	(Límite de especificación de baja frecuencia)
$f_c$	(Hz)	(Extremo superior de la banda de paso de la transferencia de fluctuación de fase)
$P$	(dB)	(Máxima ganancia de fluctuación de fase, $f_1$ a $f_c$ )
Señal de prueba		(Señal de prueba utilizada para la medición)

**4.2.2.1** La bandas de frecuencias de  $f_1$  a  $f_c$  constituye la banda de paso de la transferencia de fluctuación de fase. La máxima distancia de fluctuación de fase en esta banda de paso deberá ser  $P$ .

**4.2.2.2** Desde la frecuencia  $f_c$  hasta, al menos,  $10(f_c)$  la plantilla de transferencia de fluctuación de fase deberá tener una pendiente negativa de 20 dB/década.

**4.2.2.3**  $P$  se especificará en decibelios.

**4.2.2.4** Deberá especificarse la señal de prueba utilizada para la medición (a la que se añade la fluctuación de fase sinusoidal).

**4.2.3** Los valores numéricos de la tolerancia a la fluctuación de fase de entrada figuran en las Recomendaciones UIT-R correspondientes que hacen referencia a esta práctica. La terminología deberá ajustarse a lo indicado en el § 4.2.2.

### 4.3 Fluctuación de fase intrínseca y fluctuación de fase de salida

La fluctuación de fase intrínseca y la fluctuación de fase de salida son mediciones de la fluctuación de fase a la salida de un equipo. Difieren en la especificación de la señal de entrada al equipo. Salvo por esta circunstancia, se miden de forma idéntica.

La fluctuación de fase intrínseca se define como el valor de la fluctuación de fase a la salida de un equipo cuando se aplica a la entrada una señal sin fluctuación de fase. Es una medida del valor de la fluctuación de fase generada por el equipo, independientemente de cualquier transferencia de fluctuación de fase. La fluctuación de fase intrínseca se aplica a la mayoría de las salidas en serie.

La fluctuación de fase de salida es el valor de la fluctuación de fase a la salida de un equipo que forma parte de un sistema o una red. Consta de la fluctuación de fase intrínseca y la transferencia de fluctuación de fase de la fluctuación de fase a la entrada del equipo. La fluctuación de fase de salida es una especificación de la red y no del equipo. Los equipos deben especificarse en términos de fluctuación de fase intrínseca, transferencia de fluctuación de fase y tolerancia a la fluctuación de fase de entrada. En las especificaciones de la interfaz de red puede aparecer la fluctuación de fase de salida.

**4.3.1** Las fluctuaciones de fase intrínseca y de salida deberán especificarse como cantidades de cresta a cresta y se medirán en bandas de frecuencia de fluctuación de fase definidas. Se especifican dos bandas de medición, siendo una de ellas una subbanda de la otra (véase la Fig. 5).

**4.3.2** Las fluctuaciones de fase intrínseca y de salida se especificarán con los parámetros que figuran en el Cuadro 3.

CUADRO 3  
Fluctuaciones de fase intrínseca y de salida

Parámetros	Unidades	Descripción
Velocidad de datos	(bit/s)	(Velocidad binaria en serie)
$f_1$	(Hz)	(Transferencia de fase de la temporización, extremo inferior de la banda)
$f_3$	(Hz)	(Fluctuación de fase de alineación, extremo inferior de la banda)
$f_4$	(IU)	(Extremo superior de la banda)
$A_1$	(IU)	(Fluctuación de fase de la temporización)
$A_2$	(s)	(Fluctuación de fase de alineación)
$t_m$		(Tiempo de medición)
Señal de prueba		(Señal de prueba utilizada para la medición)
$n$		(Divisor de la señal de reloj en serie)

**4.3.2.1** La banda de paso de medición de la fluctuación de fase de temporización va de  $f_1$  a  $f_4$ . El máximo valor cresta a cresta de la fluctuación de fase permitido en esta banda de paso se especifica como  $A_1$ .

**4.3.2.2** La banda de paso de medición de la fluctuación de fase de alineación va de  $f_3$  a  $f_4$ . El máximo valor cresta a cresta de la fluctuación de fase permitido en esta banda de paso se especifica como  $A_2$ .

**4.3.2.3**  $A_1$  y  $A_2$  se especificarán en intervalos unitarios.

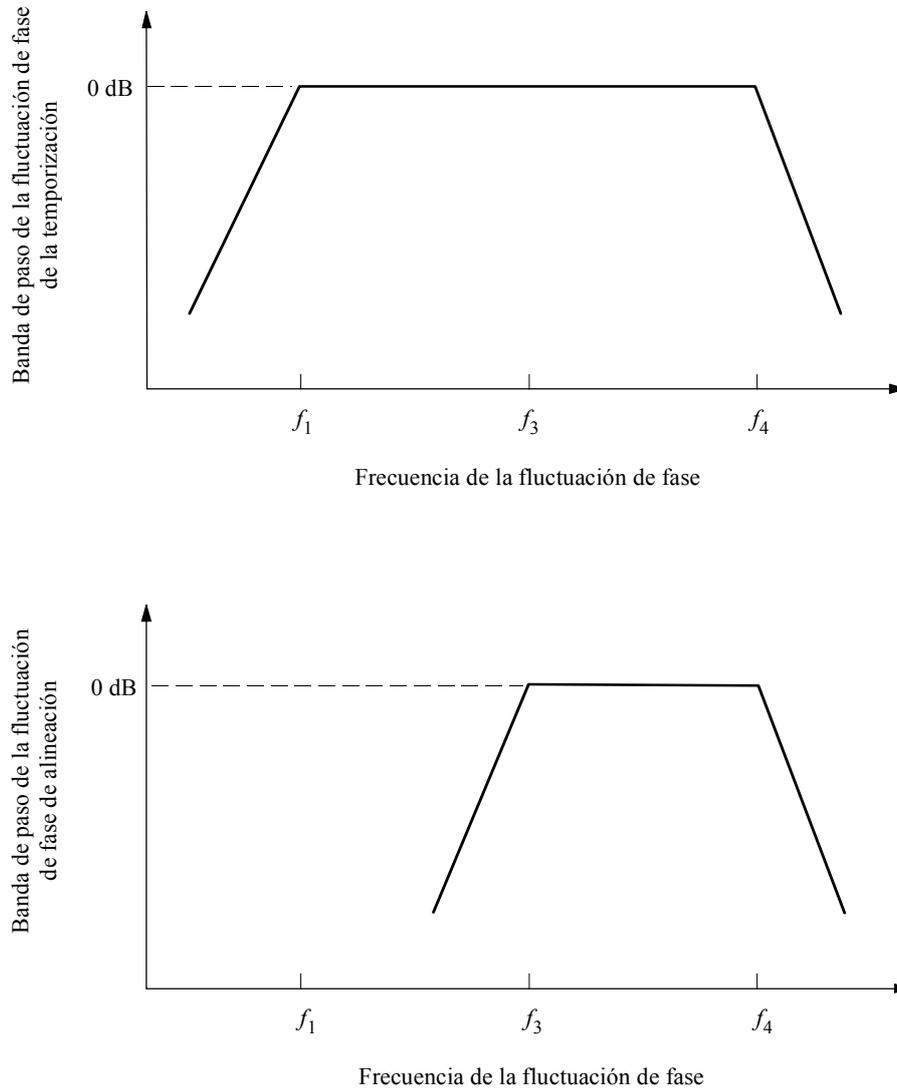
**4.3.2.4** Las pendientes de la banda de paso deberán ser al menos de 20 dB/década y tendrán una mínima respuesta de fase, a menos que se especifique otra cosa. El rechazo de la banda atenuada deberá ser al menos de 20 dB y el rizado en la banda de paso deberá ser inferior a +1 dB.

**4.3.2.5** Puede especificarse un tiempo de medición ( $t_m$ ). Si se omite, dicho tiempo de medición vendrá determinado por las características del sistema de medición.

**4.3.2.6** Deberá especificarse la señal de prueba utilizada para la medición. Para efectuar una medición de la fluctuación de fase intrínseca la fluctuación de fase de la fuente de prueba deberá ser despreciable en comparación con la especificación de la fluctuación de fase intrínseca.

FIGURA 5

## Bandas de paso para medir las fluctuaciones de fase intrínseca y de salida



1363-05

**4.3.2.7** Debe especificarse el divisor de la señal de reloj en serie, « $n$ », utilizado en el extractor de la señal de reloj (en el Apéndice 1 figura información sobre el extractor de la señal de reloj y sobre métodos de medición basados en dicho extractor). La relación entre la frecuencia de la señal de reloj en serie y la frecuencia del extractor de la señal de reloj es « $n$ ». Este valor es útil para los métodos de medición de la fluctuación de fase del extractor de la señal de reloj pero no es aplicable en otras técnicas de medición.

**4.3.3** Los valores numéricos de las fluctuaciones de fase intrínseca y de salida figuran en las Recomendaciones correspondientes de la UIT a las que hace referencia esta Recomendación. La terminología deberá adaptarse a lo indicado en el § 4.3.2.

## Apéndice 1

### Procedimientos de medición de la fluctuación de fase en las interfaces digitales de bits en serie

#### 1 Ámbito

El presente Apéndice describe métodos para medir la característica de fluctuación de fase en las interfaces digitales de bits en serie.

#### 1.1 Introducción

La fluctuación de fase es uno de los parámetros más importantes en el comportamiento de los sistemas de transmisión digital en serie. Puede provocar errores en la transmisión y en la recuperación de los datos digitales y puede degradar la calidad de funcionamiento de la señal analógica si la fluctuación de fase se transfiere a través del proceso de conversión digital/analógico. La caracterización y la medición de la fluctuación de fase son importantes para el funcionamiento fiable y predecible de los sistemas digitales en serie.

#### 2 Referencias informativas

#### 3 Definiciones

**3.1 fluctuación de fase de alineación:** Variación en la posición de las transiciones de una señal con respecto a las de una señal de reloj extraída de dicha señal. La anchura de banda del proceso de extracción de la señal de reloj determina el límite de baja frecuencia para la fluctuación de fase de alineación.

**3.2 extractor de la señal de reloj:** Dispositivo que puede extraer la señal de reloj de datos en serie del tren de datos en serie y activa un circuito disparador relativo al reloj. También puede proporcionar los datos digitales en serie sincronizados con la señal de reloj extraída.

**3.3 DSO:** Sigla para osciloscopio de almacenamiento digital (*digital storage oscilloscope*).

**3.4 DUT:** Sigla para dispositivo sometido a prueba (*device under test*).

**3.5 probador de tasa de errores:** Dispositivo que cuantifica la tasa de errores de una señal digital en serie. Dos ejemplos son el probador clásico de la proporción de bits erróneos (BER) y el método CRC de velocidad de campo (EDIT) descrito en la Recomendación UIT-R BT.1304.

**3.6 tolerancia a la fluctuación de fase de entrada:** Valor de la amplitud cresta a cresta de la fluctuación de fase sinusoidal que, aplicada a la entrada de un equipo, provoca una degradación especificada de la característica de error.

**3.7 fluctuación de fase intrínseca:** Fluctuación de fase a la salida de un equipo en ausencia de fluctuación de fase a la entrada.

**3.8 fluctuación de fase:** Variación de las transiciones de una señal digital con respecto a sus posiciones ideales en el tiempo.

**3.9 generador de fluctuación de fase:** Dispositivo que produce una señal digital en serie que contiene una fluctuación de fase sinusoidal de amplitud y frecuencia ajustables.

**3.10 receptor de fluctuación de fase:** Dispositivo que demodula y permite realizar la medición de la fluctuación de fase presente en una señal en serie. Normalmente suministra una salida proporcional a la fluctuación de fase demodulada.

**3.11 transferencia de fluctuación de fase:** Fluctuación de fase a la salida de un equipo como consecuencia de una fluctuación de fase aplicada a la entrada.

**3.12 función de transferencia de fluctuación de fase:** La relación entre la fluctuación de fase a la salida y la fluctuación de fase aplicada a la entrada en función de la frecuencia.

**3.13 fluctuación de fase a la salida:** Fluctuación de fase a la salida de un equipo que forma parte de un sistema o una red del sistema. Consta de la fluctuación de fase intrínseca y de la transferencia de fluctuación de fase a la entrada del equipo.

**3.14 demodulador de fase:** Dispositivo que proporciona como salida una señal proporcional a la diferencia de fase entre dos señales de entrada.

**3.15 SDI:** Sigla para la interfaz digital serie (*serial digital interface*), normalmente se refiere a un sistema de la Recomendación UIT-R BT.656.

**3.16 fluctuación de fase de la temporización:** Variaciones en la posición de las transiciones de una señal que se producen a una velocidad superior a una frecuencia especificada, normalmente 10 Hz o menos. Las variaciones que se producen por debajo de esta frecuencia especificada se denominan fluctuación lenta de fase y no se consideran en esta Recomendación.

**3.17 intervalo unitario (IU):** Periodo en ciclo de señal de reloj. Corresponde al mínimo tiempo nominal entre transiciones de la señal en serie.

## 4 Especificación de la fluctuación de fase

Se describen cuatro métodos: el primero hace uso de una señal de reloj de referencia disponible para activar un osciloscopio; el segundo emplea un extractor de señal de reloj con características definidas para activar el osciloscopio; el tercero y cuarto se basan en un receptor de fluctuación de fase del método demodulador de fase.

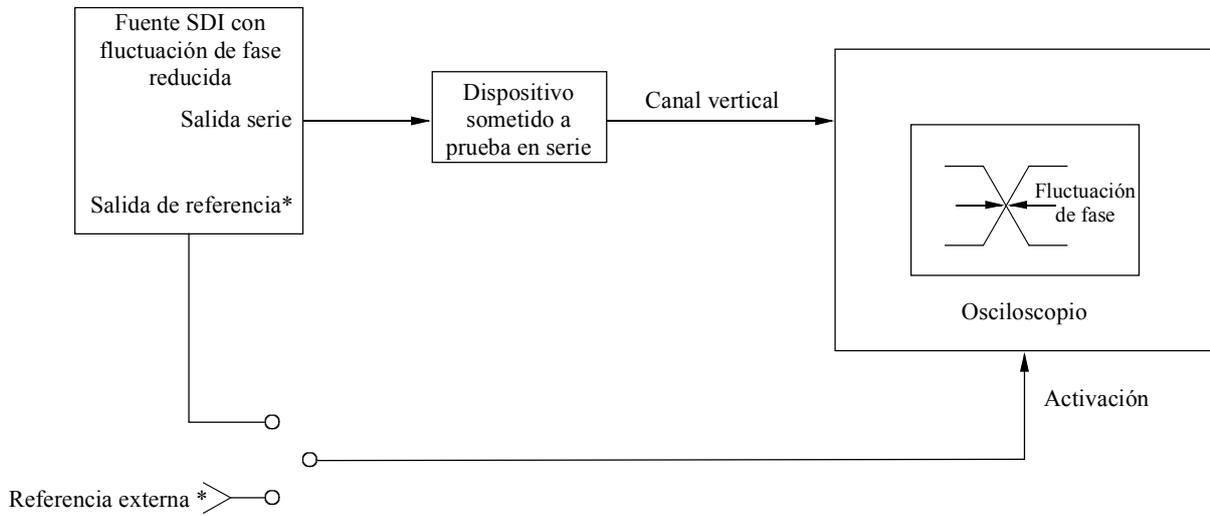
### 4.1 Medición con osciloscopio mediante activación de una señal de referencia

Si se dispone de una señal de referencia, puede efectuarse una medición de la fluctuación de fase básica (véase la Fig. 6). El osciloscopio se activa directamente por la señal de referencia que puede ser también una señal digital serie de elevada estabilidad, por ejemplo, para una señal a 270 Mbit/s como la especificada en la Recomendación UIT-R BT.656, la señal de reloj en paralelo de 27 MHz, la señal de reloj en serie de 270 MHz o una señal en serie como la de la Recomendación UIT-R BT.656. La señal de datos digital se conecta al canal vertical del osciloscopio con una terminación adecuada y se realiza una medición del diagrama de ojos. La fluctuación de fase normalmente se mide en el cruce del diagrama de ojos.

- Presentación de los resultados de la medición: Debe indicarse la señal de prueba, la amplitud de la fluctuación de fase, los parámetros del osciloscopio (anchura de banda, etc.) y el tiempo de medición.
- Información de fondo: Este procedimiento de medición ofrece una estimación somera de la fluctuación de fase en una señal SDI. El resultado de la medición depende de la estabilidad de la señal de referencia (su fluctuación de fase determina el valor mínimo que puede medirse), el tipo de osciloscopio y el tiempo de medición (por ejemplo, cuando se utiliza un DSO en modo persistencia). Todos estos parámetros tienen influencia en el resultado de la medición y contribuyen a la variabilidad de los resultados a medida que las condiciones varían. Este método no permite restricciones de anchura de banda, como se requiere generalmente en la especificación de la fluctuación de fase, y no es recomendable si se dispone de otros métodos de medición de la fluctuación de fase.

FIGURA 6

Medición de la fluctuación de fase con osciloscopio mediante una señal de referencia



\* Una señal a 270 Mbit/s como la especificada en la Rec. UIT-R BT.656, la señal de reloj en paralelo de 27 MHz, la señal de reloj en serie de 270 MHz o una señal en serie como la de la Rec. UIT-R BT.656.

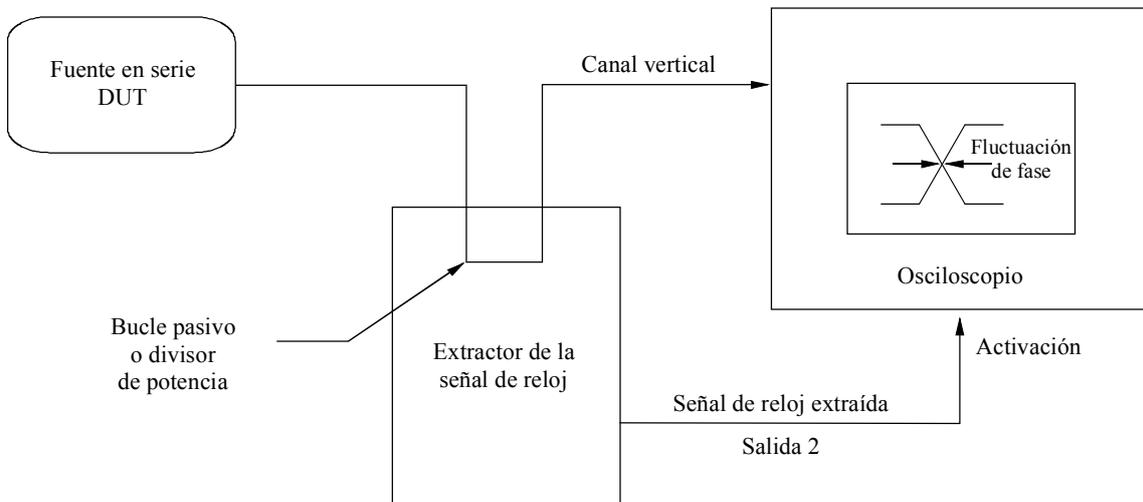
1363-06

#### 4.2 Medición de la fluctuación de fase mediante un extractor de la señal de reloj

La fluctuación de fase de una señal puede medirse utilizando un dispositivo para extraer la señal de reloj y activar a continuación un osciloscopio u otro dispositivo indicado (véase la Fig. 7).

FIGURA 7

Medición de la fluctuación de fase inferior a 1 IU utilizando un extractor de la señal de reloj



1363-07

#### 4.2.1 Diagrama de bloques del extractor de la señal de reloj

El extractor de la señal de reloj consiste normalmente en un circuito de recuperación de la señal de reloj de banda ancha seguido de un bucle de enganche de fase (PLL) de banda estrecha (véase la Fig. 8). Este segundo PLL puede ajustarse para dos anchuras de banda de bucle distintas, de manera que se dispone de dos funciones diferentes de transferencia de fluctuación de fase (véase la Fig. 9). La salida de reloj 2 se utiliza para activar el dispositivo de indicación. El extractor de la señal de reloj tendrá las siguientes características:

1. Debe poder conectarse en serie con la salida de señal y proporcionar un nivel de señal suficiente para activar el dispositivo indicación. No deberá modificar las características de la señal de salida de forma que perturbe o modifique la fluctuación de fase de la señal.
2. Para medir la fluctuación de fase de la temporización ( $A_1$ ), el extractor de la señal de reloj deberá tener una anchura de banda de recuperación de reloj de  $f_1$ . Para medir la fluctuación de fase de alineación ( $A_2$ ), el extractor de la señal de reloj deberá tener una anchura de banda de recuperación de reloj de  $f_3$  (véase la Fig. 9).
3. La función de transferencia de fluctuación de fase del extractor de la señal de reloj deberá tener un régimen de caída de 20 dB/década o superior y una mínima respuesta en fase, a menos que se especifique otra cosa. El rizado en la banda de paso deberá ser inferior a +1 dB (véase la Fig. 9).
4. La frecuencia de reloj extraída deberá ser la frecuencia de reloj serie dividida por  $n$ , siendo  $n$  el valor definido en el § 4.3.2 del texto principal de esta Recomendación.
5. El extractor de la señal de reloj puede tener una salida de reloj opcional 1 con una anchura de banda de recuperación de reloj superior o igual a  $f_3$ . Es preferible que sea  $f_4$ .

#### 4.2.2 Especificaciones del dispositivo de indicación

El dispositivo de indicación utilizado para observar la fluctuación de fase deberá tener las siguientes características:

1. La anchura de banda horizontal y/o de activación del dispositivo de indicación no deberá atenuar la fluctuación de fase observada. La anchura de banda de activación deberá ser al menos  $f_3$ .
2. El dispositivo de indicación no deberá provocar interferencia entre símbolos en el punto de cruce por cero. Ello exige una respuesta al impulso del sistema vertical en la que se pase del régimen transitorio al estacionario en menos de 1 IU.
3. El dispositivo de indicación deberá adquirir muestras suficientes de forma que pueda determinarse el valor cresta a cresta de la fluctuación de fase. Ello exige realizar un muestreo hasta que se conozca la forma de la distribución de la fluctuación de fase. Si la especificación de la fluctuación de fase incluye un tiempo de medición, deberá ser el mínimo tiempo de adquisición. El máximo tiempo de adquisición dependerá de la velocidad de muestreo del dispositivo y del tipo de distribución de la fluctuación de fase. Por ejemplo, una distribución sinusoidal se determinará normalmente con menos muestras que una distribución del tipo gaussiano.

NOTA – El mínimo tiempo de medición requerido depende de la rapidez con que recoja las muestras el dispositivo de medición. En los osciloscopios de almacenamiento digital (DSO), este parámetro viene determinado por la velocidad de adquisición y el número de muestras por adquisición. Si bien este último término está relacionado con la velocidad de muestreo indicada del DSO, no cabe decir lo mismo del primero. Distintos DSO con velocidades de muestreo idénticas puede que exijan intervalos de tiempo muy distintos con objeto de lograr un registro de muestras suficiente para realizar una medición.

La medición mínima para un osciloscopio concreto puede venir determinada de la forma siguiente: en primer lugar se mantiene la pantalla en modo adquisición durante un gran periodo de tiempo para establecer el nivel de fluctuación de fase. A continuación se toman mediciones cada vez más breves hasta que los resultados empiezan a mostrar variaciones o errores inaceptables. Con ello se establece el mínimo tiempo de medición para la pantalla. Los usuarios experimentados a menudo determinan de forma intuitiva este valor basándose en la forma que toma la distribución de muestras.

4. Si el dispositivo de indicación es un osciloscopio, la medición de fluctuación de fase se realiza normalmente en el cruce del diagrama de ojos. Se recomienda utilizar un osciloscopio de almacenamiento digital con persistencia infinita.

FIGURA 8  
Diagrama de bloques del extractor de la señal de reloj

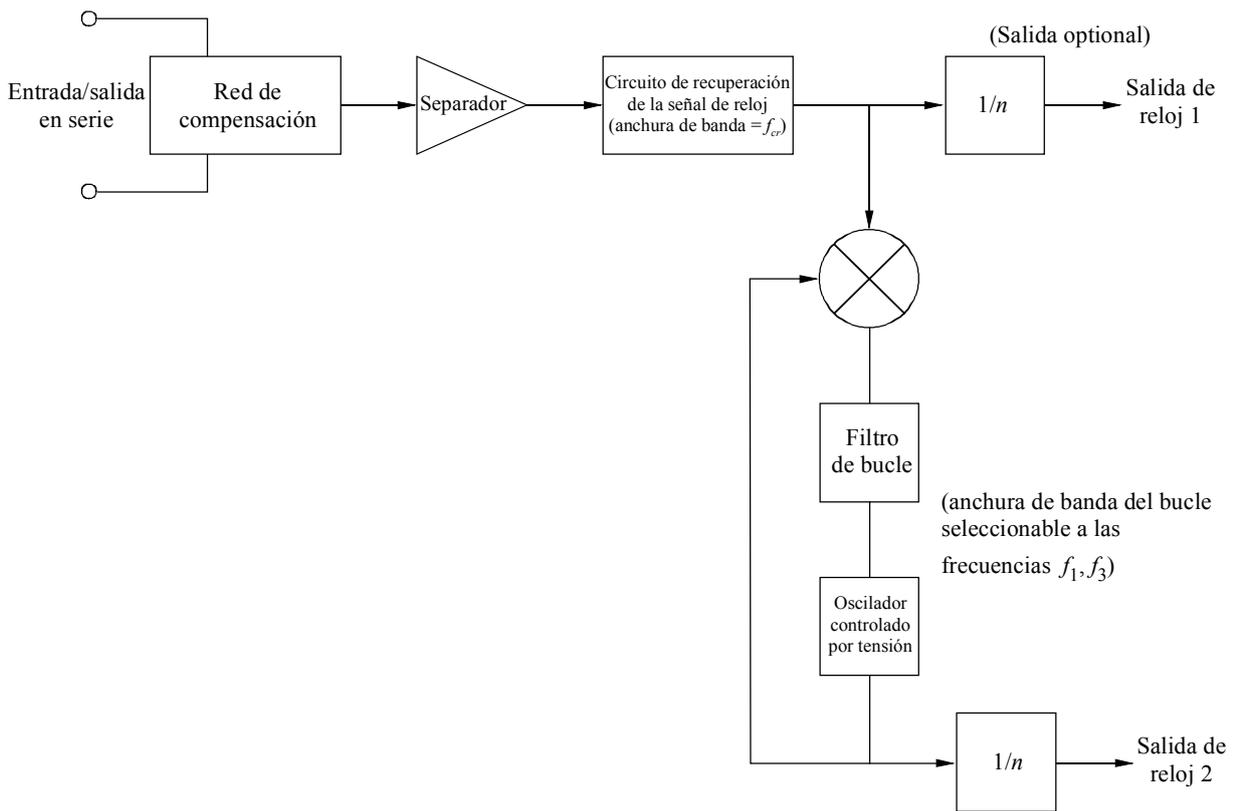
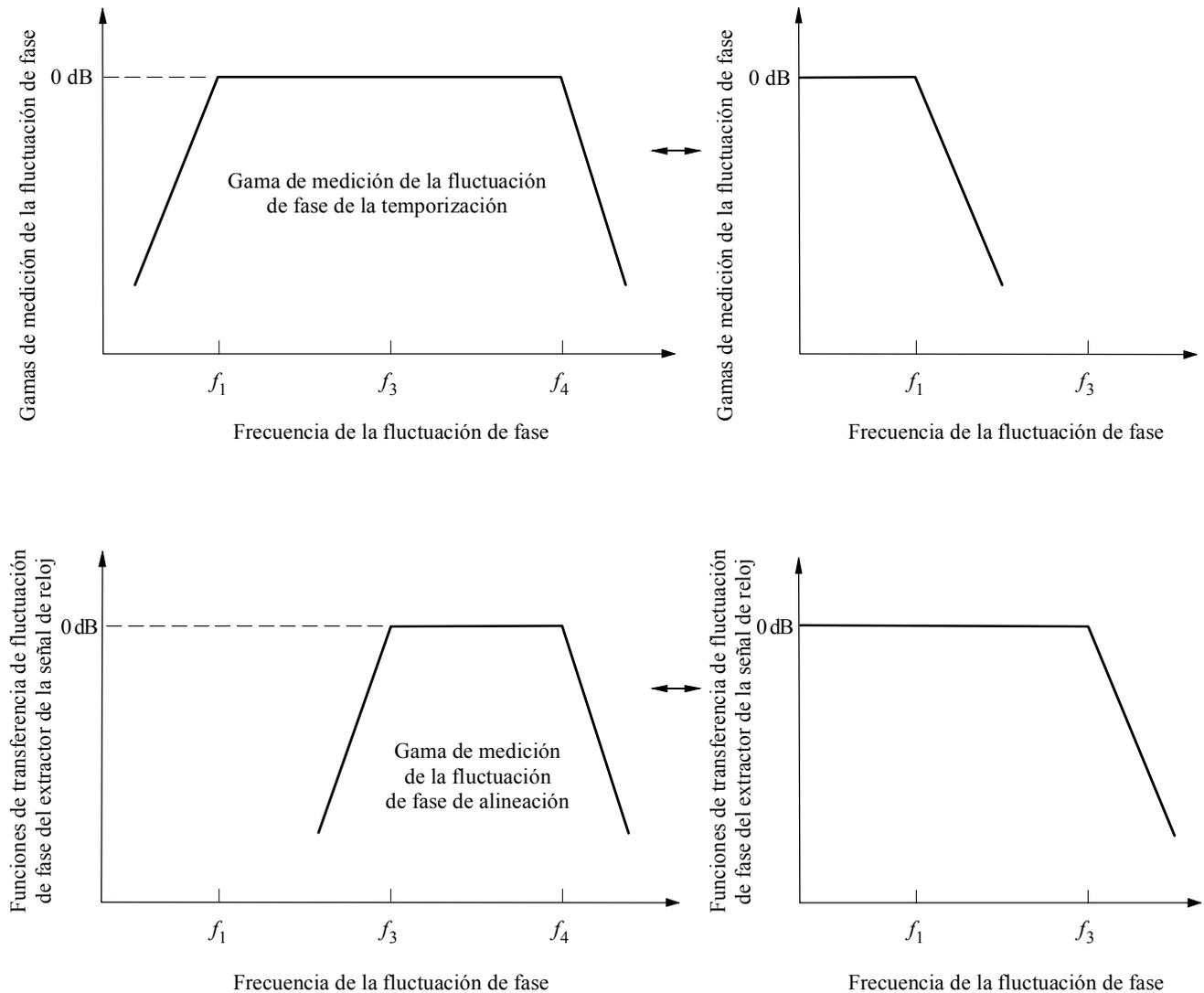


FIGURA 9

Anchura de banda de la medición de la fluctuación de fase y función de transferencia correspondiente de fluctuación de fase del extractor de la señal de reloj



1363-09

### 4.2.3 Medición de la fluctuación de fase de la temporización

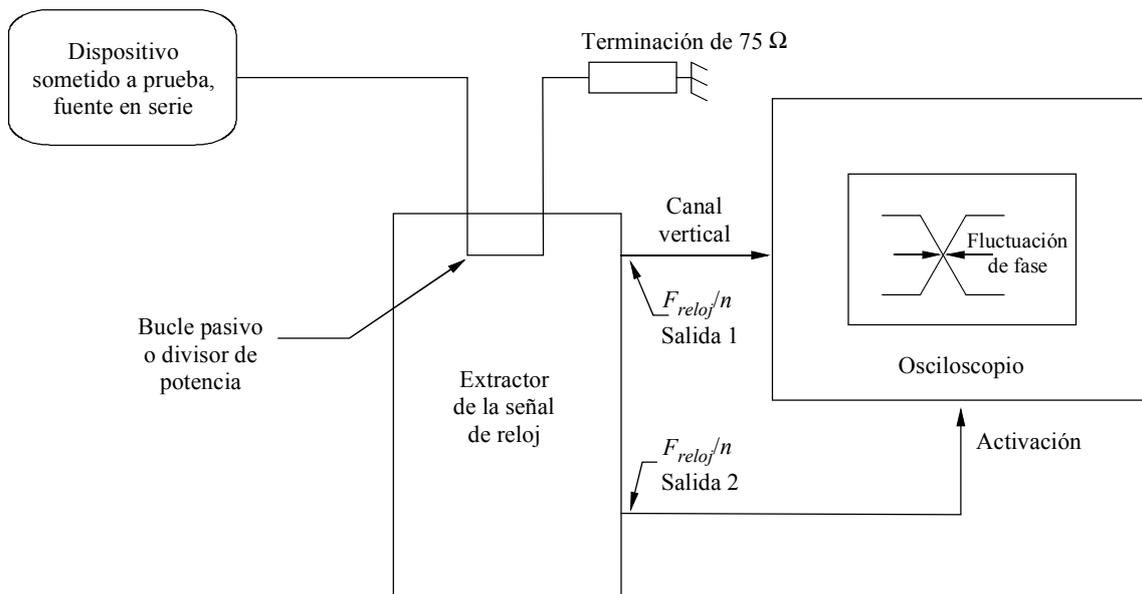
El extractor de la señal de reloj se ajusta a una anchura de banda  $f_1$ . La salida de reloj 2 se conecta al canal de activación del osciloscopio. La señal conectada al canal vertical del osciloscopio depende de la amplitud de la fluctuación de fase que va a medirse. Para amplitudes de fluctuación de fase inferiores a 1 IU, se utiliza la señal de bucle (véase la Fig. 7). Para amplitudes de fluctuación de fase superiores a 1 IU son posibles dos conexiones distintas:

1. (Preferida) Si el extractor de la señal de reloj tiene una salida de reloj 1 (Fig. 8), esta señal se aplica al canal vertical del osciloscopio (véase la Fig. 10). Esta conexión asegurará una fluctuación de fase entre las frecuencias  $f_1$  y  $f_c$ , siendo  $f_{cr}$  la anchura de banda del circuito de recuperación de la señal de reloj de banda ancha.

2. Si el extractor de la señal de reloj tiene salidas simultáneas para anchuras de banda  $f_1$  y  $f_3$ , una salida se conecta al canal vertical y la otra al circuito de activación. Esta conexión mide la fluctuación de fase entre las frecuencias  $f_1$  y  $f_3$ .
- Presentación de los resultados de la medición: Debe indicarse la señal de prueba, el tipo de osciloscopio, el tiempo de medición y la amplitud de la fluctuación de fase medida en el cruce del diagrama de ojos. Se recomienda trazar un gráfico de la forma del diagrama de ojos.

FIGURA 10

**Medida de la fluctuación de fase superior a 1 IU utilizando un extractor de la señal de reloj y un osciloscopio**



1363-10

#### 4.2.4 Medición de la fluctuación de fase de alineación

El extractor de la señal de reloj se ajusta a una anchura de banda  $f_3$ . La salida de reloj 2 se conecta al canal de activación del osciloscopio. La señal de bucle se conecta al canal vertical del osciloscopio (véase la Fig. 7).

- Presentación de los resultados de la medición: Debe indicarse la señal de prueba, el tipo de osciloscopio, el tiempo de medición y la amplitud de la fluctuación de fase medida en el cruce del diagrama de ojos. Se recomienda trazar un gráfico de la forma del diagrama de ojos.

#### 4.2.5 Medición del ruido de fase mediante un extractor de la señal de reloj

Este punto describe un método sencillo para realizar una medición del ruido de fase en la señal de reloj extraída utilizando un analizador de espectro. Esta técnica permite el examen de las bandas laterales de la señal de reloj que se corresponden con las frecuencias de fluctuación de fase en la señal SDI (véase la Fig. 11).

La salida 1 del extractor de la señal de reloj se conecta a un analizador de espectro que se conmuta al modo medición del ruido de fase y se examina el ruido de fase del reloj sometido a prueba.

- Presentación de los resultados de la medición: Debe indicarse la señal de prueba, la anchura de banda del PLL del extractor de la señal de reloj, la anchura de banda de la resolución y la gama del analizador de espectro y un gráfico del espectro.

**4.3 Mediciones de la fluctuación de fase utilizando un demodulador de fase**

La fluctuación de fase puede observarse y medirse convenientemente si las bandas laterales de la modulación de fase se heterodinan hasta c.c. Un método muy utilizado es el de recuperar dos relojes de la señal, uno con una anchura de banda de recuperación de reloj muy amplia y el segundo con una anchura de banda estrecha y aplicar las señales con un demodulador de fase (véase la Fig. 12). A continuación, se aplica la señal de salida a un voltímetro de cresta haciéndola pasar antes por unos filtros de banda de paso seleccionable. La salida puede aplicarse también a un analizador de espectro a fin de observar los términos de frecuencia de la fluctuación de fase (véase la Fig. 13). Los receptores de fluctuación de fase normalmente utilizan el método del demodulador de fase.

**4.3.1** Un receptor de fluctuación de fase deberá ser capaz de medir la fluctuación de fase cresta a cresta en las bandas de paso de medición de la fluctuación de fase descritas en el § 4.3.2 de la presente Recomendación.

**4.3.2** El espectro de fluctuación de fase puede observarse conectando la salida del demodulador de fase a un analizador de espectro o a un osciloscopio con transformada rápida de Fourier (FFT) (véase la Fig. 13).

Presentación de los resultados de la medición: Debe indicarse la señal de prueba, el tiempo de medición, el nivel de fluctuación de fase medido y la banda de paso de medición y debe hacerse una descripción del equipo de medida.

FIGURA 11

Medición de la fluctuación de fase mediante un extractor de la señal de reloj y un analizador de espectro

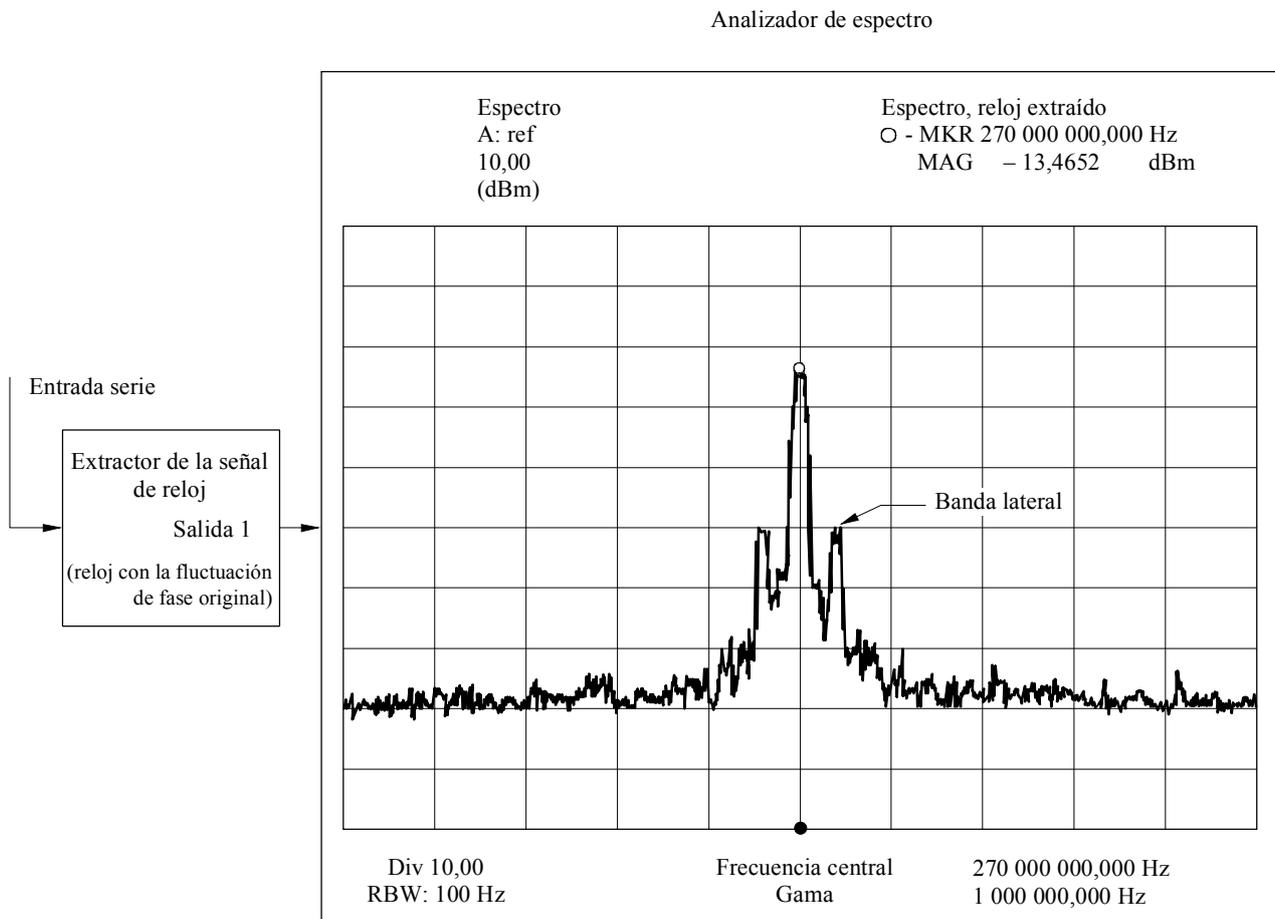
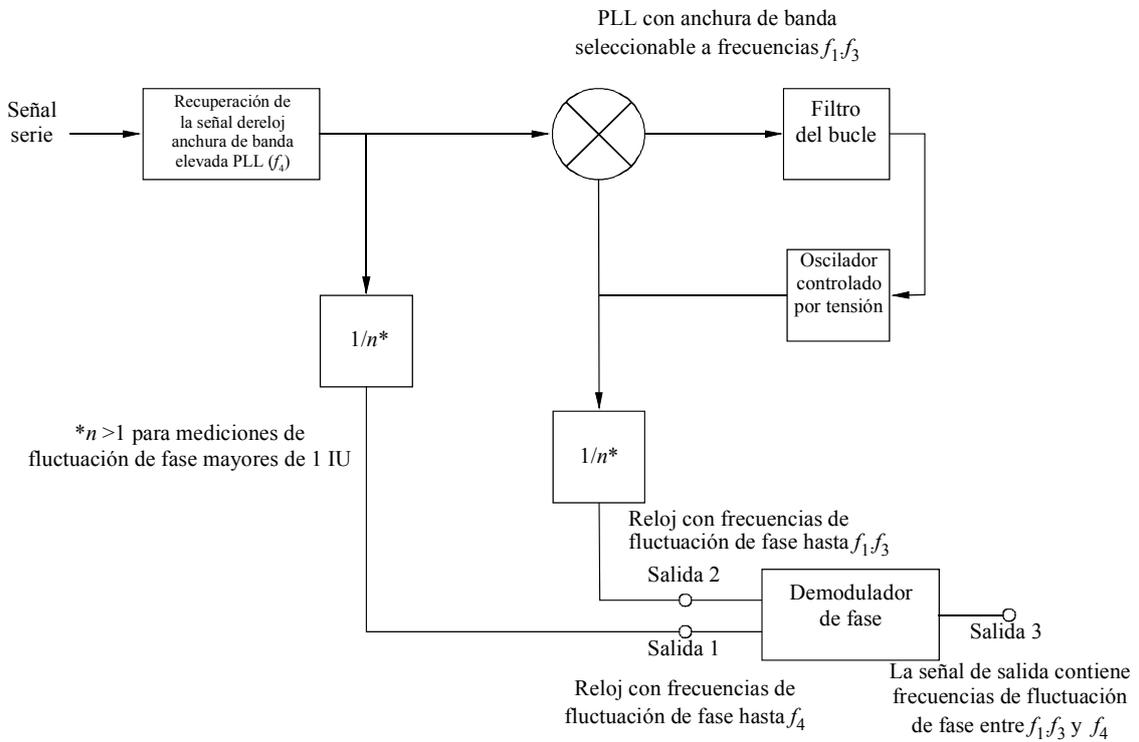


FIGURA 12

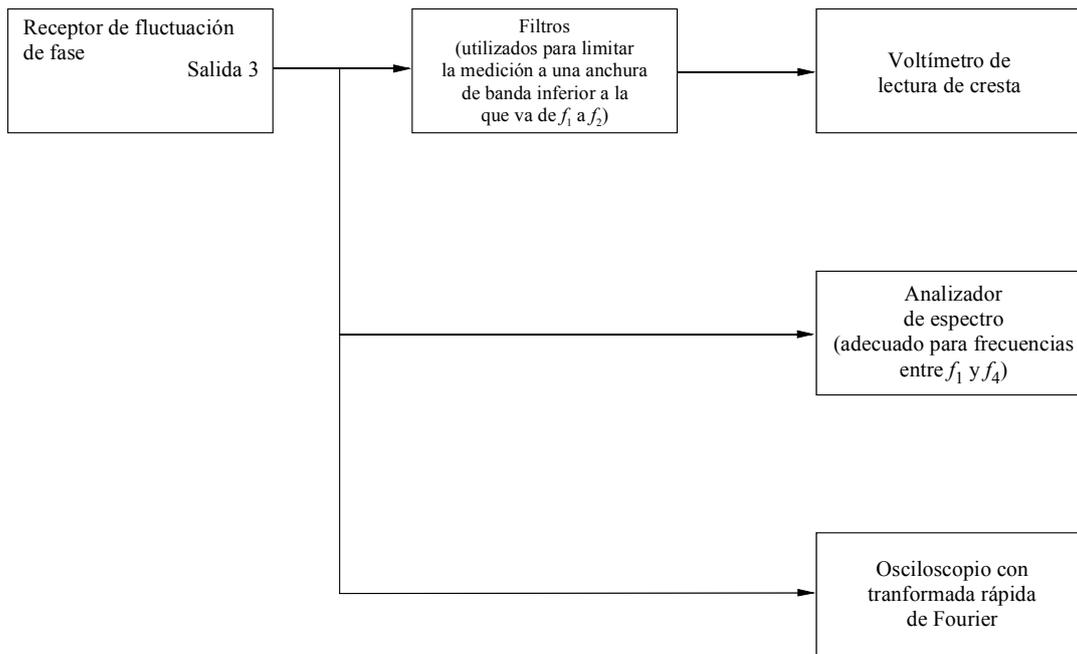
Diagrama de bloques de un receptor de fluctuación de fase (extractor de la señal de reloj, bucle de enganche de fase (PLL), de alta calidad, demodulador)



1363-12

FIGURA 13

Conexiones de salida del receptor de fluctuación de fase



1363-13

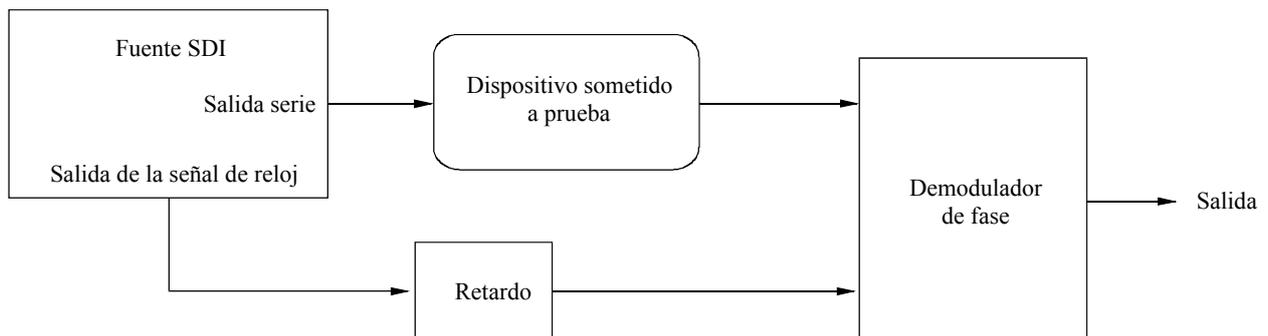
#### 4.4 Medición de demodulador de fase con una señal de referencia disponible

Si se dispone de una señal de referencia puede realizarse una medición de la fluctuación de fase demodulada utilizando el montaje representado en la Fig. 14. Las señales de referencia y de datos se conectarán a las dos entradas de un demodulador de fase digital. La salida del demodulador puede procesarse de varias formas; una de ellas es filtrarla para establecer los extremos superior e inferior de la banda y a continuación aplicarla a un osciloscopio para mostrar los resultados de la fluctuación de fase (obsérvese que la escala vertical del osciloscopio representa en este caso la amplitud de la fluctuación de fase). Alternativamente, puede capturarse la forma de onda de la fluctuación de fase demodulada y a continuación someterla a un filtrado digital para establecer los extremos superior e inferior de la banda. Por último, el espectro de la fluctuación de fase puede obtenerse llevando a cabo una transformada rápida de Fourier (FFT) en una onda capturada o conectando la salida del demodulador a un analizador de espectro.

- Presentación de los resultados de la medición: Debe indicarse el tipo de señal de prueba, los extremos superior e inferior de la banda, el tiempo de medición y la amplitud cresta a cresta de la fluctuación de fase.
- Información de fondo: Este método de medición es sensible a toda fluctuación de fase dependiente de la característica introducida por el detector de fase en el demodulador de fluctuación de fase. El detector de fase deberá ser de un tipo tal que impida la introducción de una fluctuación de fase dependiente de la característica. El método también exige que el demodulador de fase se calibre de manera que la indicación vertical en el osciloscopio pueda relacionarse con la amplitud de la fluctuación de fase. Esto puede lograrse estableciendo un desplazamiento de frecuencias entre la señal de referencia y la señal de datos y observando la pendiente de la salida del demodulador de fase. Por último, esta técnica sólo puede resolver fluctuaciones de fase inferiores a 1 IU de magnitud como límite y en la práctica inferiores a 1 IU debido a las no linealidades de la función de transferencia del demodulador en las proximidades de los límites de su gama.

FIGURA 14

Medición de demodulador de fase con una señal de referencia disponible



## 5 Medición de la tolerancia a la fluctuación de fase

Las mediciones de la tolerancia a la fluctuación de fase exigen la utilización de un generador de fluctuación de fase calibrado y un dispositivo de medición de la tasa de errores (véase la Fig. 15).

– Procedimiento

*Paso 1:* Se conecta el equipo como muestra la Fig. 15, ajustando la amplitud de la fluctuación de fase del generador a 0 IU para verificar un funcionamiento sin errores.

*Paso 2:* Se ajusta la frecuencia de fluctuación de fase del generador de la forma deseada y se aumenta la amplitud de la fluctuación de fase hasta que se alcanza el criterio de comienzo de errores. Se anota la amplitud y la frecuencia de la fluctuación de fase.

*Paso 3:* Se repite el Paso 2 para un número suficiente de frecuencias a fin de determinar la curva de tolerancia a la fluctuación de fase.

– Para verificar que se satisface la plantilla de tolerancia a la fluctuación de fase

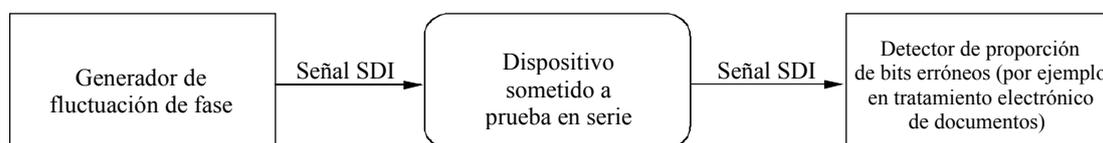
*Paso 1:* Se ajusta la amplitud y la frecuencia de la fluctuación de fase a un punto de la plantilla. Se verifica que no se alcanza el criterio de comienzo de errores.

*Paso 2:* Se repite el Paso 1 para un número suficiente de puntos de la plantilla entre las frecuencias  $f_1$  y  $f_3$ . La forma de la plantilla se describe en el texto principal de la presente Recomendación.

NOTA – Para establecer la amplitud de la fluctuación de fase de un generador de fluctuación de fase sin calibrar puede utilizarse un receptor de fluctuación de fase calibrado.

FIGURA 15

Medición de la tolerancia a la fluctuación de fase



1363-15

## 6 Medición de la transferencia de fluctuación de fase

Las mediciones de la transferencia de fluctuación de fase exigen la utilización de un generador de fluctuación de fase calibrado y un receptor de fluctuación de fase calibrado (véase la Fig. 16). Un método mejorado requiere el empleo de un generador de fluctuación de fase con una entrada de fluctuación de fase externa, un receptor de fluctuación de fase y un analizador de espectro con una salida de oscilador de seguimiento (véase la Fig. 17).

– Técnica básica

*Paso 1:* Se lleva a cabo una medición de la tolerancia a la fluctuación de fase del dispositivo sometido a prueba en la gama de frecuencias deseada.

*Paso 2:* Se conecta el equipo como muestra la Fig. 16 y se ajusta el nivel del generador de fluctuación de fase de manera que sea inferior a la tolerancia a la fluctuación de fase medida en la banda de interés, pero lo suficientemente amplio como para obtener una buena precisión en la medida.

*Paso 3:* Se anota la lectura en el receptor de fluctuación de fase y la frecuencia de fluctuación de fase.

*Paso 4:* Se divide la lectura obtenida en el receptor de fluctuación de fase por el nivel del generador de fluctuación de fase a fin de obtener la ganancia de fluctuación de fase a esta frecuencia.

*Paso 5:* Se repite el Paso 3 para un número suficiente de frecuencias a fin de determinar la función de transferencia de la fluctuación de fase.

NOTA – Si el generador de fluctuación de fase o la respuesta en frecuencia del receptor de fluctuación de fase no es plana, se interconectan entre sí directamente el generador y el receptor para establecer un cuadro de desviación.

– Técnica mejorada

*Paso 1:* Se realiza la medición de la tolerancia a la fluctuación de fase del dispositivo sometido a prueba en la gama de frecuencias deseada.

*Paso 2:* Se conecta el equipo como muestra la Fig. 17 puentando el dispositivo sometido a prueba. Se verifica el funcionamiento lineal y sin errores del receptor de fluctuación de fase.

*Paso 3:* Se ajusta la amplitud de salida del generador de seguimiento de manera que el nivel del generador de fluctuación de fase sea inferior a la tolerancia a la fluctuación de fase medida en la gama de frecuencias deseada. Se selecciona la anchura de banda de resolución adecuada en el analizador de espectro. Se almacena la traza que aparece en el analizador.

*Paso 4:* Se conecta el dispositivo sometido a prueba y se sustrae la traza almacenada de la traza que aparece en pantalla. La diferencia es precisamente la función de transferencia de fluctuación de fase del dispositivo sometido a prueba.

NOTA – En lugar de la combinación de analizador de espectro y generador de seguimiento puede utilizarse un analizador de red. Un analizador de red de vector permite la medición tanto de la fase como de la magnitud de la función de transferencia de fluctuación de fase.

Para verificar que se satisfacen los requisitos de la plantilla de transferencia de fluctuación de fase, utilizando la técnica básica mejorada, debe comprobarse que la transferencia de fluctuación de fase es inferior a los requisitos de la plantilla, entre las frecuencias  $f_1$  y  $10(f_c)$ .

FIGURA 16

Medición de la función de transferencia de fluctuación de fase (método básico)

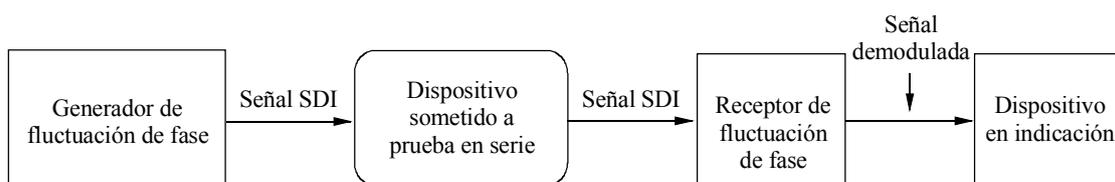
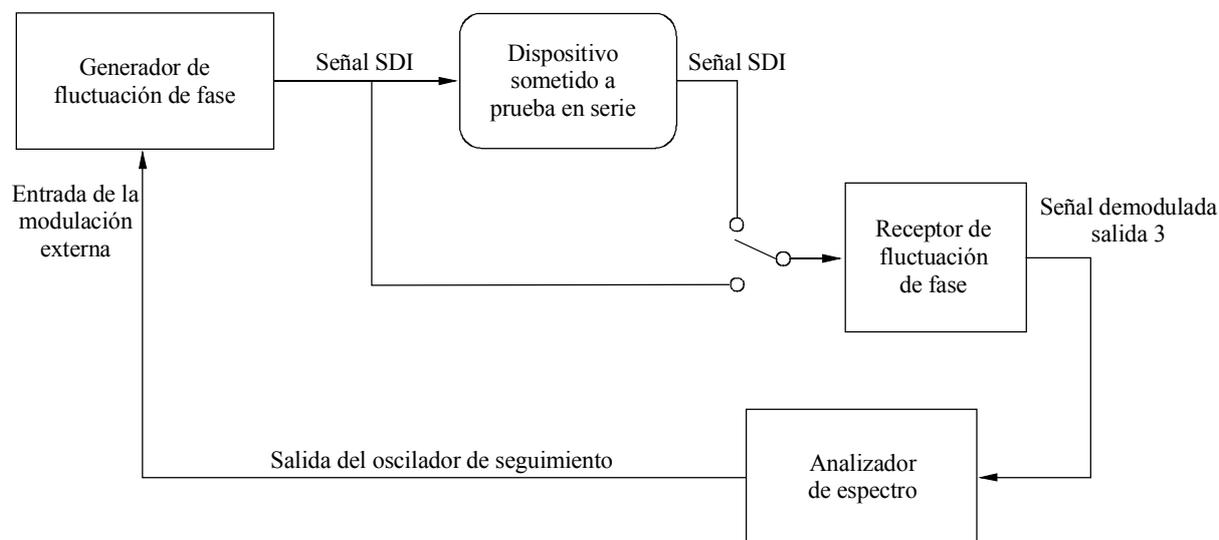


FIGURA 17

**Medición de la función de transferencia de fluctuación de fase (método mejorado)**

1363-17

**Apéndice 2****Características y mediciones de la fluctuación de fase en interfaces de estudio digital de bits en serie****Introducción**

La transferencia de señales digitales de un emplazamiento a otro supone la conversión de las señales a una representación física analógica en el extremo emisor y, posteriormente, la interpretación de esa representación para extraer los datos en el extremo receptor. Este proceso es necesario porque todas las señales que se representan físicamente tienen propiedades analógicas. Estas propiedades incluyen los niveles y la temporización de los intervalos de datos así como las transiciones entre ellos, la distribución espectral resultante y cualquier distorsión de la señal que se produzca en el sistema de transmisión. Éste es el caso tanto si las señales modulan una portadora de radiofrecuencia como si se transmiten directamente como datos utilizando una forma adecuada de codificación. Los efectos analógicos que pueden alterar a las señales digitales son la atenuación, las anomalías y regímenes de disminución espectrales, las sobre oscilaciones, las suboscilaciones, la dispersión en el tiempo y la fluctuación de fase. Los primeros efectos están relacionados con la amplitud y la frecuencia mientras que la fluctuación de fase es la única perturbación relacionada con la temporización.

## 1 **Ámbito**

Estas directrices examinan los tipos de fluctuación de fase en las señales de datos transmitidas directamente, los métodos para medir cada uno de ellos y algunas de las repercusiones que pueden tener sobre el funcionamiento del sistema. Además, también se indican algunos de los métodos de diseño del sistema que pueden minimizar o reducir la influencia de la fluctuación de fase.

## 2 **Definición de la fluctuación de fase**

En este texto, se utilizarán como ejemplo las señales de la interfaz digital serie (SDI – *serial digital interface*) de 270 Mbit/s de la Recomendación UIT-R BT.656, pero los mismos conceptos pueden aplicarse a cualquier transmisión en serie, desde los trenes de datos de audio AES-3 a 3,1 Mbit/s hasta las versiones de TVAD a 1,5 Gbit/s de la SDI. Solamente cambiarían los valores numéricos utilizados para las especificaciones y mediciones de los equipos a lo largo de esta amplia gama de señales digitales.

Para transmitir trenes de datos digitales de un lugar a otro por un solo cable o fibra óptica, los datos se codifican utilizando alguno de los métodos de autotemporización. Entre estos métodos se incluyen esquemas tales como NRZ, NRZI, AMI, codificación de bloques, marca bifásica y otros en los que normalmente se llega a un compromiso entre la anchura de banda de la señal de datos resultante y la conformación espectral para una mayor facilidad en la extracción de la señal de reloj, la capacidad de detección de errores u otras características relativas a la calidad de funcionamiento. El factor más importante de todos estos diseños es el hecho de que permiten extraer la señal de reloj del tren de datos, de forma que pueda utilizarse para recuperar dichos datos.

La información de reloj se extrae normalmente utilizando circuitos del bucle de enganche de fase (PLL – *phase lock loop*). Los instantes de transición en un tren de datos se comparan instantáneamente con las transiciones de una señal de reloj sintetizada procedente de un oscilador local en el receptor (normalmente se trata de un oscilador controlado por tensión del tipo RC o LC). A continuación, la frecuencia del reloj local se ajusta, aumentándola o disminuyéndola, hasta que los flancos de la señal de reloj extraída coincidan con los flancos de las señales de datos entrantes. Este proceso es sencillo siempre que las transiciones de los datos se produzcan en los intervalos esperados; es decir en los múltiplos enteros del periodo de la señal de reloj en serie. Sin embargo, en los sistemas reales, las transiciones de los datos diferirán algo de su posición ideal; es decir, las posiciones de los impulsos varían con respecto a un reloj enganchado en frecuencia de alta estabilidad. Esta variación no deseada en la posición de los impulsos es precisamente la fluctuación de fase.

La fluctuación de fase se define como la variación de los instantes significativos de una señal digital (tales como los puntos de transición) con respecto a sus posiciones ideales en el tiempo. La fluctuación de fase puede provocar que la señal de reloj recuperada y los datos se encuentren momentáneamente desalineados en el tiempo. Los datos pueden ser interpretados incorrectamente (sincronizados en el instante inadecuado) cuando esta falta de alineación alcanza un cierto valor.

La fluctuación de fase se mide en términos del intervalo unitario (IU), que representa el periodo de un ciclo de reloj y, en el caso de datos con codificación NRZ o NRZI, corresponde al tiempo mínimo nominal entre transiciones de los datos en serie. Esta situación puede observarse en la Fig. 18a) donde se representan los datos de una señal NRZI y los instantes de reloj correspondientes. En la Fig. 18b) aparece el efecto de la fluctuación de fase en el punto medio de los cruces de las transiciones de datos, como podría observarse en una presentación de diagrama de ojos (presentación repetitiva de los puntos de transición superpuestos uno sobre otro). El aumento de la fluctuación de fase llega a cerrar el ojo en la dimensión temporal y hace más difíciles las decisiones entre los estados de datos, al igual que el ruido de tensión de la señal lo hace en la dimensión de la amplitud.

Por consiguiente, la fluctuación de fase puede considerarse como la variación de fase (o modulación) del tren de datos en serie. Esta modulación de fase tiene un espectro que corresponde a la frecuencia con la que se modula a la señal de reloj de los datos. Por lo tanto, es posible representar la característica de amplitud en función de la frecuencia de la fluctuación de fase. Por ejemplo, en la Fig. 19 una sola cresta a 6 144 Hz indica la presencia de una variación de fase sinusoidal (fluctuación de fase) a una velocidad de 6 144 Hz. La amplitud de la cresta indicaría en qué grado está cerrado el diagrama de ojos de los datos.

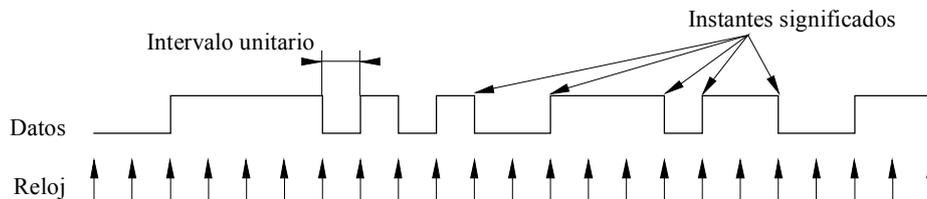
### 3 Clases de fluctuación de fase

La fluctuación de fase absoluta es la combinación de todas las componentes de frecuencia de la fluctuación de fase que aparecen en una señal, desde una frecuencia muy baja hasta una frecuencia muy alta. La medición exacta de la fluctuación de fase absoluta es prácticamente imposible ya que es muy difícil generar una referencia absoluta para definir dónde deben encontrarse los flancos de las señales de datos. El estudio práctico de la fluctuación de fase divide a ésta en tres clases, basándose en el contenido en frecuencia de la modulación de la fluctuación de fase.

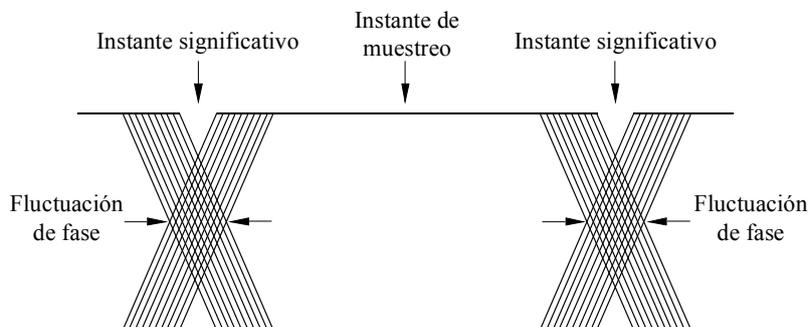
Las variaciones a la frecuencia más baja en las posiciones de las transiciones de una señal se denominan fluctuación lenta de fase. La fluctuación lenta de fase normalmente no tiene ningún efecto sobre la capacidad de extracción de la señal de reloj y la circuitería electrónica de decodificación para recuperar con precisión el tren de datos digital, ya que esta variación de baja frecuencia puede ir seguida de un PLL (a menos que la fluctuación lenta de fase dé lugar a que la velocidad de transmisión de datos se salga fuera de la gama del oscilador de referencia controlado).

FIGURA 18

Elementos de las señales de datos en serie y relación con la fluctuación de fase



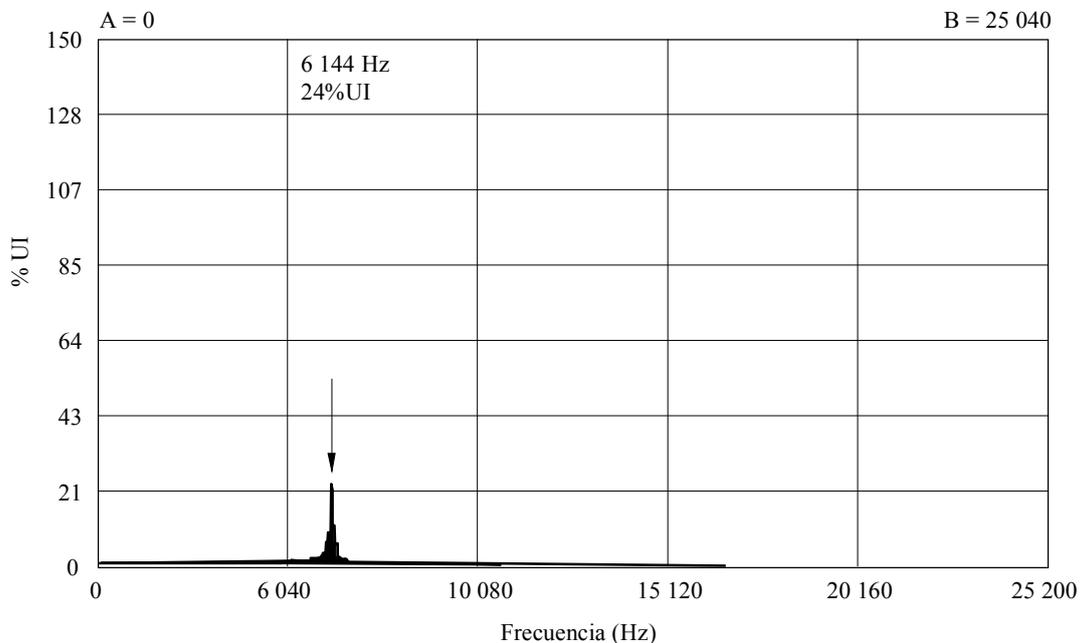
a) Relación entre los datos y las señales de reloj para señales SDI mostrando el intervalo unitario y los instantes significativos



b) Diagrama de ojos mostrando la fluctuación de fase en los instantes significativos

Sin embargo, la fluctuación lenta de fase puede causar problemas en un procesamiento posterior. La fluctuación lenta de fase generalmente se define como una fluctuación de fase cuyos componentes en frecuencia están por debajo de una frecuencia en particular. En aplicaciones SDI, este valor de frecuencia de corte asignada es de 10 Hz. La medición de la fluctuación lenta de fase y de la fluctuación de fase absoluta exige que la referencia de temporización utilizada para identificar la fluctuación de fase del flanco sea extremadamente estable y no presente componentes propios de fluctuación de fase. Las señales de reloj típicas extraídas de un PLL no son adecuadas para realizar estas mediciones. La fuente de una señal de referencia tan precisa puede ser un oscilador de cristal con un valor elevado de Q; sin embargo, el acceso a este tipo de señal no es común en aplicaciones SDI. Esta limitación da lugar a que en las mediciones de la fluctuación de fase se excluya la fluctuación lenta de fase.

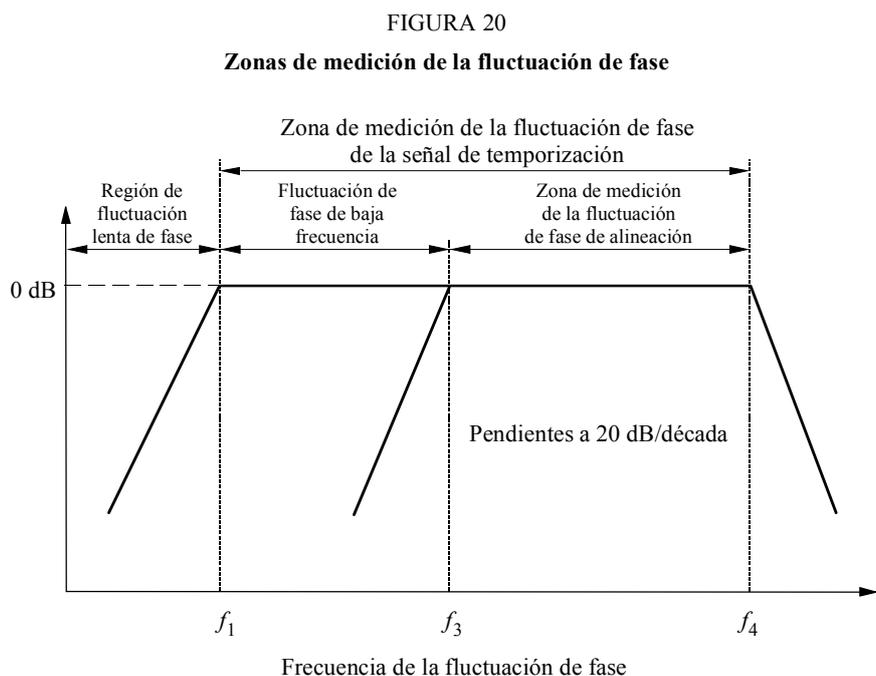
FIGURA 19  
Frecuencias de la fluctuación de fase



$F = -65\,536$  Hz, Resol = 16,00 Hz, Bias = Amplitudes, Band = 10 Hz, Delta Cursor = 25 040, C = 0

1363-19

La fluctuación de fase que aparece por encima de la frecuencia más elevada definida como fluctuación lenta de fase se denomina fluctuación de fase de la señal de temporización. La fluctuación de fase que se mide con respecto a una señal de reloj recuperada con una anchura de banda de bucle definida por  $f_3$  (Fig. 20) se denomina fluctuación de fase de alineación. La diferencia entre la fluctuación de fase de temporización y la fluctuación de alineación es la fluctuación de fase de baja frecuencia.



1363-20

La medición de la fluctuación de fase de la señal de temporización se utiliza para hacerse una idea del funcionamiento global del sistema. Puede medirse fijando a un valor  $f_1$  la anchura de banda del filtro del bucle del sistema de recuperación de la señal de reloj. El resultado incluirá todas las frecuencias de fluctuación de fase por encima de la frecuencia de corte del filtro del bucle hasta el límite superior de medición. Esta medición de banda ancha no identificará específicamente la fluctuación de fase que puede provocar errores en la recuperación de los datos.

La fluctuación de fase de alineación puede proporcionar información sobre la fluctuación de fase que afecta directamente a la capacidad del receptor para recuperar adecuadamente los datos. Este tipo de error se produce porque el PLL no puede seguir los cambios en la temporización de la señal entrante. Si los errores de temporización alcanzan un cierto valor, el decodificador «deslizará» un bit, lo cual provocará un error en los datos decodificados. Ello da lugar a un error en la alineación de trama de la palabra que no se corregirá hasta la siguiente señal de referencia de temporización.

La fluctuación de fase de baja frecuencia generalmente no causa problemas en los enlaces en serie. Estos enlaces pueden admitir una fluctuación de fase de baja frecuencia bastante intensa puesto que el PLL sigue estos cambios en la temporización y mantiene adecuadamente el mecanismo de recuperación de datos. Sin embargo, es necesario tener en cuenta esta banda de fluctuación de fase pues se encontrará presente en la señal de reloj en paralelo recuperada. Este parámetro es importante para verificar si la señal de reloj recuperada va a usarse como una señal de referencia en el dominio paralelo.

La fluctuación de fase de baja frecuencia puede determinarse sustrayendo la fluctuación de fase de alineación de la fluctuación de fase de temporización. Con ello se obtendrán resultados precisos para la mayoría de los tipos de fluctuación de fase, tales como los producidos por fuentes de fluctuación de fase sinusoidales o aleatorias. Si la fuente de la fluctuación de fase es una onda compleja, como por ejemplo una onda cuadrada, la frecuencia y el ciclo de trabajo tendrán repercusiones en este cálculo.

En el caso de la Recomendación UIT-R BT.656 – Interfaces para las señales de vídeo con componentes digitales en sistemas de televisión de 525 líneas y 625 líneas que funcionan en el nivel 4:2:2 de la Recomendación UIT-R BT.601, el valor de la frecuencia del factor de corte para las mediciones de la fluctuación de fase de alineación ( $f_3$ ) se fija a 1 kHz. Como actualmente existen muchos receptores SDI populares ampliamente utilizados en la industria, este valor debe seleccionarse de manera que sea útil para todos los sistemas. Al elegir este número, debe encontrarse una frecuencia lo suficientemente alta como para ignorar la fluctuación de fase procedente de todos los circuitos de enganche típicos (200 Hz o frecuencias superiores) o lo suficientemente baja como para incluir las anchuras de banda de las señales de recuperación de reloj en todos los circuitos integrados populares del receptor (10 kHz o frecuencias inferiores).

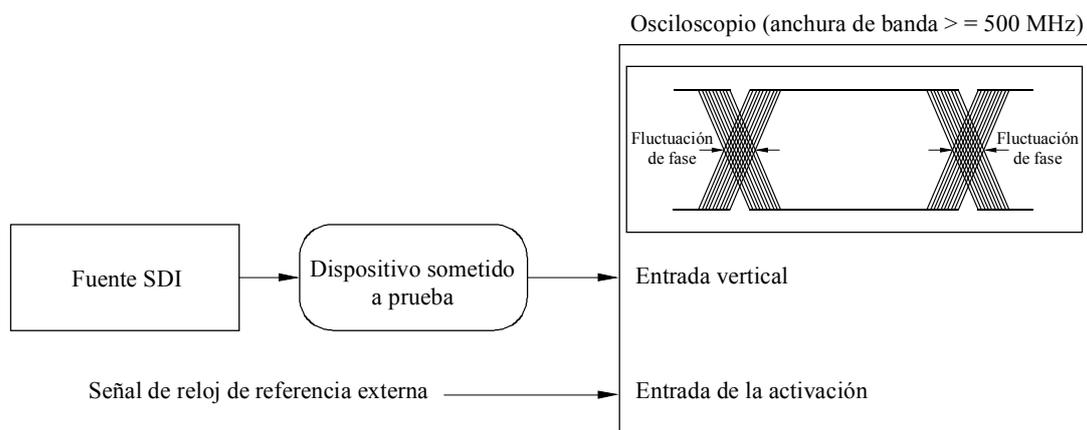
#### 4 Mediciones de la fluctuación de fase

Para realizar mediciones de los diversos tipos de fluctuación de fase pueden utilizarse distintos instrumentos y varias disposiciones de conexión. Empleando las técnicas más complejas se obtendrán los resultados más reveladores pero los métodos más sencillos puede ser un punto de partida interesante para determinar los tipos de fluctuación de fase que pueden aparecer en un sistema concreto.

El método más sencillo para observar y medir la fluctuación de fase consiste en utilizar un osciloscopio con una referencia externa para activación, como se muestra en la Fig. 21. La fuente SDI y la referencia externa deben estar sincronizadas a un reloj común, pues cualquier diferencia de frecuencia (que no sea fluctuación de fase) puede interferir con la medición. La dispersión de los puntos de cruce de una presentación en forma de diagrama de ojos revelará la amplitud de la fluctuación de fase. Si se utiliza una referencia externa muy estable, como por ejemplo un reloj obtenido a partir de una ráfaga negra, se podrá observar la fluctuación de fase absoluta, incluida la fluctuación lenta de fase.

FIGURA 21

Medición de la fluctuación de fase con osciloscopio y activador de referencia externo

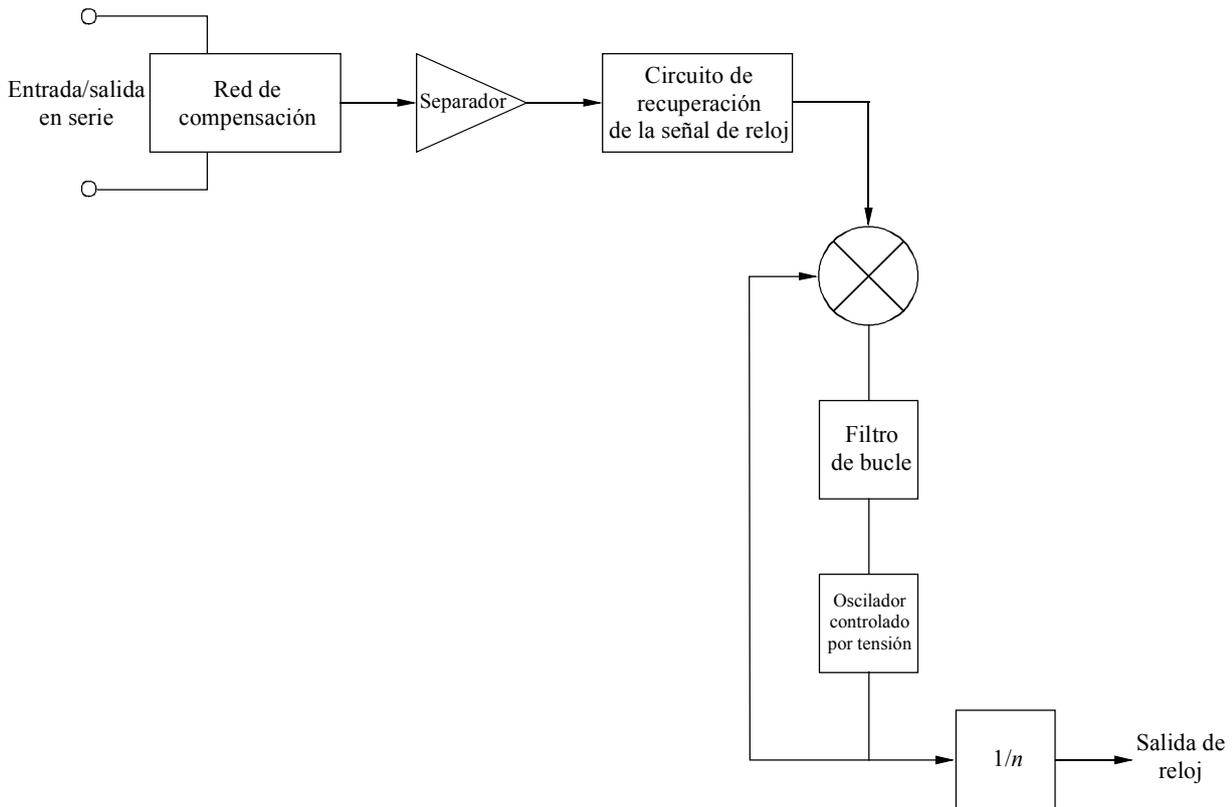


Cuando no se dispone de una referencia de activación externa, debe extraerse una señal de reloj de referencia de los propios datos. De esta forma, pueden obtenerse más detalles sobre las características de la fluctuación de fase. Ello puede hacerse utilizando un extractor de la señal de reloj que consiste en un dispositivo que recupera una señal de reloj de referencia a partir del tren de datos entrante. En la Fig. 22 se representa el diagrama de bloques de un extractor de la señal de reloj típico. Los extractores de la señal de reloj se enganchan en fase al tren de datos para sintetizar una señal de reloj de referencia y este proceso presenta inherentemente una respuesta en frecuencia al mismo. Un extractor de señal de reloj con una frecuencia natural en el bucle de enganche de fase de 1 kHz medirá únicamente las frecuencias de la fluctuación de fase por encima de 1 kHz debido a que la señal de reloj de referencia sintetizada extraída de los datos seguirá las variaciones de frecuencia a velocidades inferiores a 1 kHz. Por esa razón, los extractores de la señal de reloj normalmente soportan frecuencias de corte progresivo del filtro de múltiples bucles.

Un extractor de la señal de reloj mejorado, también denominado receptor de fluctuación de fase, consta de tres secciones y proporciona tres salidas (véase la Fig. 23). La primera sección tiene una entrada con un bucle de derivación pasivo (o divisor de potencia), un ecualizador y un bucle de enganche de fase (PLL) de anchura de banda elevada. La anchura de banda elevada del PLL da lugar a que las frecuencias de fluctuación de fase por debajo de la característica de corte del PLL lleguen hasta la señal de reloj de salida extraída (salida 1). El límite de frecuencia superior de la fluctuación de fase reproducida por el extractor de la señal de reloj ( $f_4$  en la Fig. 20) viene fijado por la anchura de banda del bucle de este PLL. Adicionalmente, antes de la salida de temporización se incorpora un divisor de frecuencia con una relación de división ajustable para dar más tiempo entre las transiciones de los flancos. Como el divisor digital permitirá perfectamente el paso de toda fluctuación de fase de la señal de temporización a la entrada como una fluctuación de fase a la salida, es posible utilizar un osciloscopio de medición de amplitudes de fluctuación de fase superiores a 1 IU. La segunda sección del extractor de la señal de reloj mejorado incluye un segundo PLL que incorpora un filtro de bucle de anchura de banda variable y un oscilador de cristal controlado por tensión de alta calidad (elevado al valor de Q). El ajuste de la anchura de banda del bucle en este segundo PLL determina el límite superior de las frecuencias de la fluctuación lenta de fase (límite inferior de las mediciones de fluctuación de fase,  $f_1$  en la Fig. 20). Otro ajuste de la anchura de banda del bucle define la frecuencia de transición entre las mediciones de la fluctuación de fase de la señal de temporización y la fluctuación de fase de alineación ( $f_3$  en la Fig. 20). A la salida de esta sección (salida 2) también aparece un divisor de frecuencia similar al que se encuentra antes de la salida 1 para realizar con el osciloscopio mediciones de amplitudes de fluctuación de fase superiores a 1 IU.

FIGURA 22

Diagrama de bloques del extractor de la señal de reloj

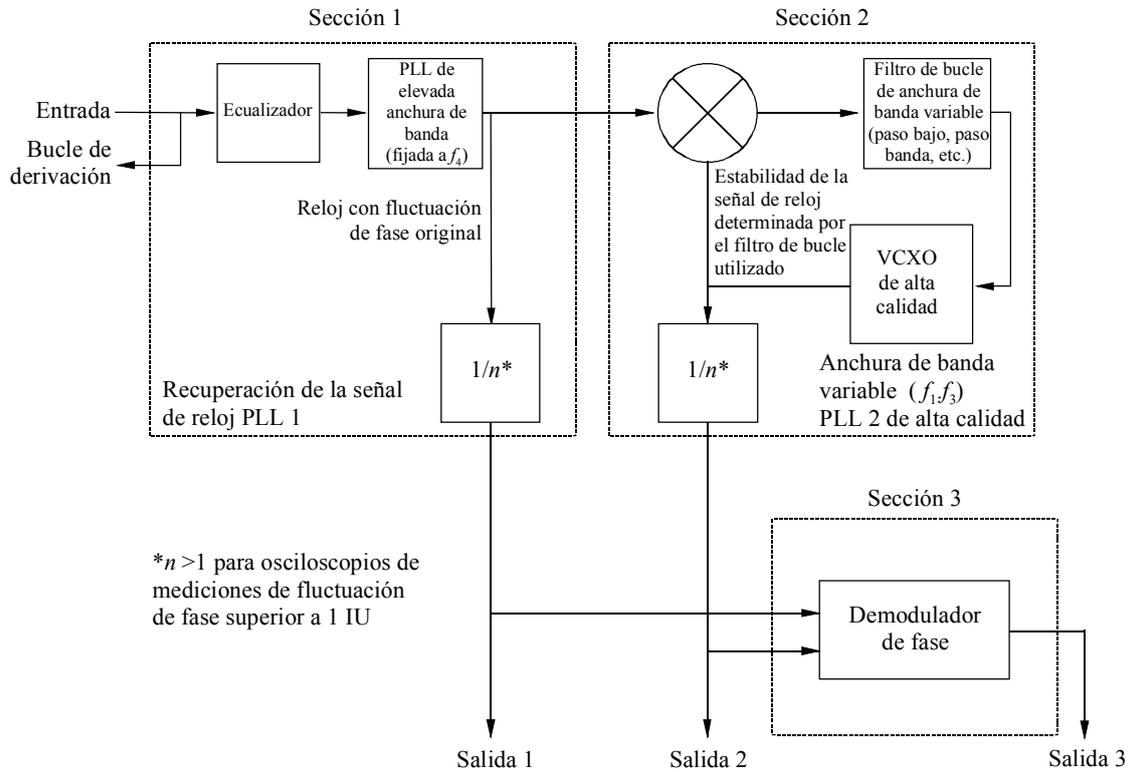


1363-22

La tercera sección de un receptor de fluctuación de fase es un demodulador de fase. Este dispositivo crea una tensión analógica que representa la diferencia de fase de dos señales de entrada. En este caso, el demodulador utiliza como entradas las salidas de temporización de las dos primeras secciones. La salida del demodulador contiene la diferencia de fluctuación de fase entre el PLL 2 y el PLL 1, que es la fluctuación de fase de la señal de entrada entre las frecuencias  $f_1$  (o  $f_3$ ) y  $f_4$ . A continuación esta salida del demodulador (salida 3) puede estudiarse para determinar su contenido en frecuencia. Por ejemplo, puede introducirse la señal en un analizador de espectro, en un voltímetro de nivel selectivo (un receptor sintonizable) o en un montaje de filtro y voltímetro que permita las mediciones de las características de la amplitud en función de la frecuencia. Este montaje se adapta a la medición de la fluctuación de fase cresta a cresta en las bandas de frecuencias especificadas para partes concretas del equipo.

FIGURA 23

Diagrama de bloques del receptor de fluctuación de fase



1363-23

Los métodos del demodulador de fase normalmente están limitados en anchura de banda a menos de 1/10 de la frecuencia de la señal de reloj. Si es preciso investigar frecuencias de la fluctuación de fase por encima de este valor, posiblemente sea necesario utilizar otras técnicas, tales como el método de diagrama de ojos discutido anteriormente. Ello es así porque se sabe que las frecuencias de la fluctuación de fase con un valor tan elevado como el 20% de la frecuencia de la señal de reloj (54 MHz en el caso de un sistema de 270 Mbit/s y apareciendo a una velocidad que duplica la de las palabras de 10 bits) han perturbado el funcionamiento adecuado de dispositivos conectados a continuación.

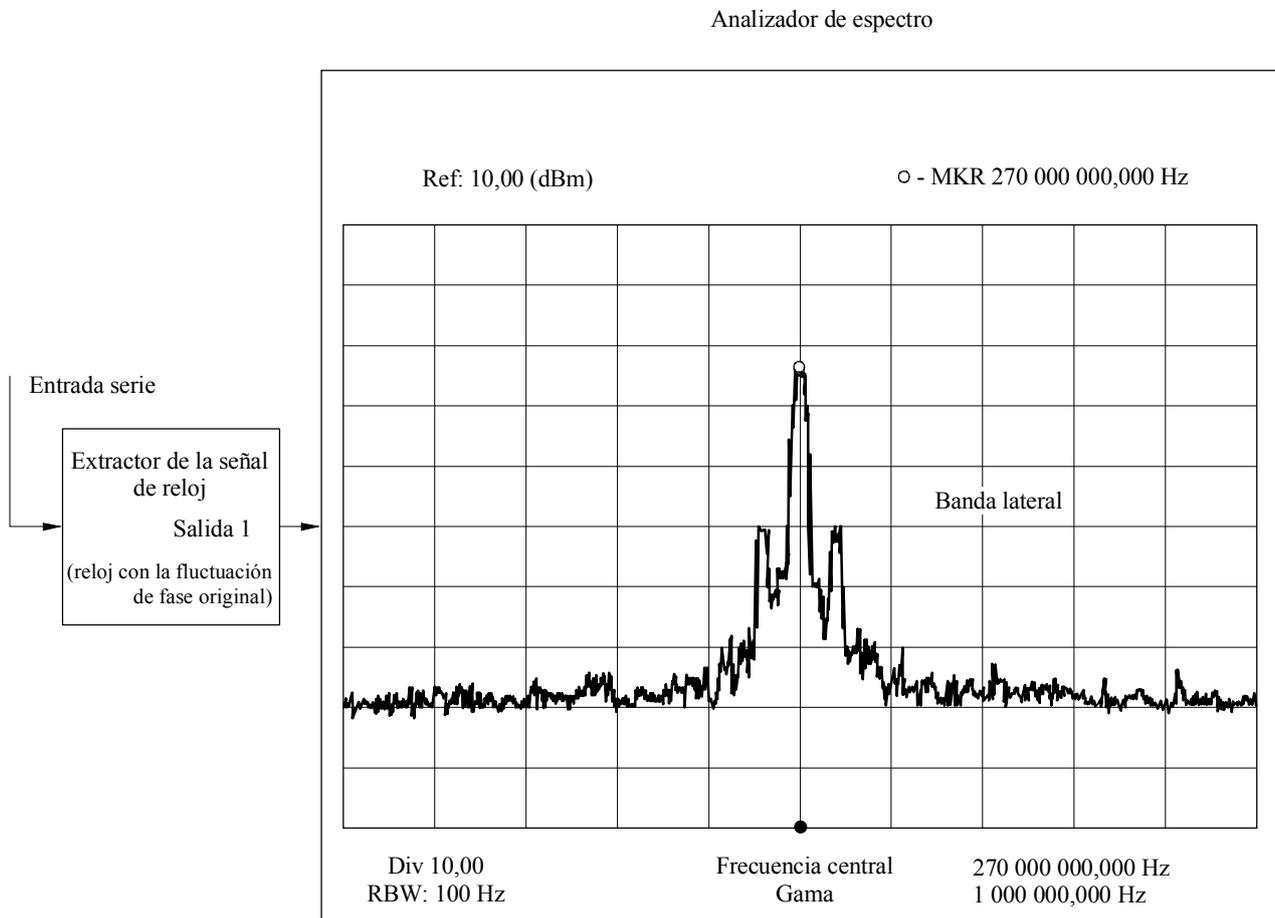
También se pueden realizar mediciones muy útiles utilizando un extractor de la señal de reloj en combinación con un analizador de espectro. La configuración exacta depende de las capacidades del analizador de espectro empleado.

Si se dispone de un analizador de espectro de alta frecuencia con una anchura de banda de resolución estrecha, puede utilizarse simplemente la primera sección del extractor de la señal de reloj en combinación con dicho analizador para representar las características espectrales de la fluctuación de fase en términos de amplitud y frecuencia. Este caso se ilustra en la Fig. 24 en la que el analizador de espectro se ha sintonizado a la frecuencia de reloj (270 MHz en este ejemplo) y en la que pueden observarse dos bandas laterales distintas que representan una sola frecuencia de modulación (de aproximadamente 40 kHz) que ha añadido fluctuación de fase a la señal de reloj en alguna parte del sistema.

Si se cuenta con un analizador de espectro de baja frecuencia o con un osciloscopio que tenga incorporado un dispositivo FFT (transformada rápida de Fourier), puede utilizarse junto con el receptor de fluctuación de fase completo para lograr una representación de la amplitud en función de la frecuencia similar a la que se acaba de describir. Como puede verse en la Fig. 25, aparece simplemente la energía de la banda lateral demodulada. Dependiendo del equipo utilizado, esta técnica es adecuada para mediciones de la fluctuación de fase de hasta aproximadamente la mitad de la frecuencia de la señal de reloj. Este límite viene determinado por la anchura de banda del PLL utilizado en el extractor de la señal de reloj del receptor de fluctuación de fase y puede que no sea suficiente, como se indica más adelante. No obstante, dentro de esta banda de paso es adecuado para determinar las frecuencias de modulación específicas de la fluctuación de fase y sus amplitudes.

FIGURA 24

Medición de la fluctuación de fase mediante un extractor de la señal de reloj y un analizador de espectro



1363-24

Los métodos descritos hasta ahora son adecuados para realizar mediciones de la fluctuación de fase con osciloscopio en las cuales la fluctuación de fase es inferior a 1 IU de la desviación total. Si estos métodos se utilizan para visualizar más de 1 IU de fluctuación de fase en un osciloscopio, el resultado sería una imagen con todo el diagrama de ojos cerrado lo que haría imposible cuantificar la propia fluctuación de fase. Cuando ésta es superior a 1 IU y va a utilizarse un osciloscopio, los divisores en las salidas 1 y 2 del receptor de fluctuación de fase pueden ajustarse para una relación de división superior a 1. Con ello se reduce la frecuencia de la portadora un factor igual a la relación

de división utilizada y se disminuye la desviación de la modulación en una cantidad proporcional. Eligiendo adecuadamente esta relación de división, la rotación de fase de la portadora no rebasa el valor de  $360^\circ$  y el ojo del diagrama no se cierra, como hubiera sido el caso para un valor de 1 IU. Este montaje se representa en la Fig. 26 en la que la salida 2 se utiliza para activar un osciloscopio de banda ancha y la salida 1 ataca el canal vertical. Al realizar estas mediciones es importante mantener la relación de división en el valor más bajo posible a fin de no enmascarar ninguno de los efectos de la fluctuación de fase relacionados con la voz, como puede ocurrir para una relación de 10 y sus submúltiplos.

### 5 Especificación del equipo

Los métodos de medición disponibles se utilizan para caracterizar el equipo con respecto a la característica de la fluctuación de fase. Se emplean igualmente para determinar que las realizaciones del sistema no permiten la suficiente acumulación de fluctuación de fase como para provocar errores en los datos o dar lugar a un comportamiento degradado durante la conversión digital a analógica.

FIGURA 25  
Medición de la fluctuación de fase utilizando la salida del demodulador de fase del receptor de fluctuación de fase

Analizador de espectro de baja frecuencia u osciloscopio con FFT

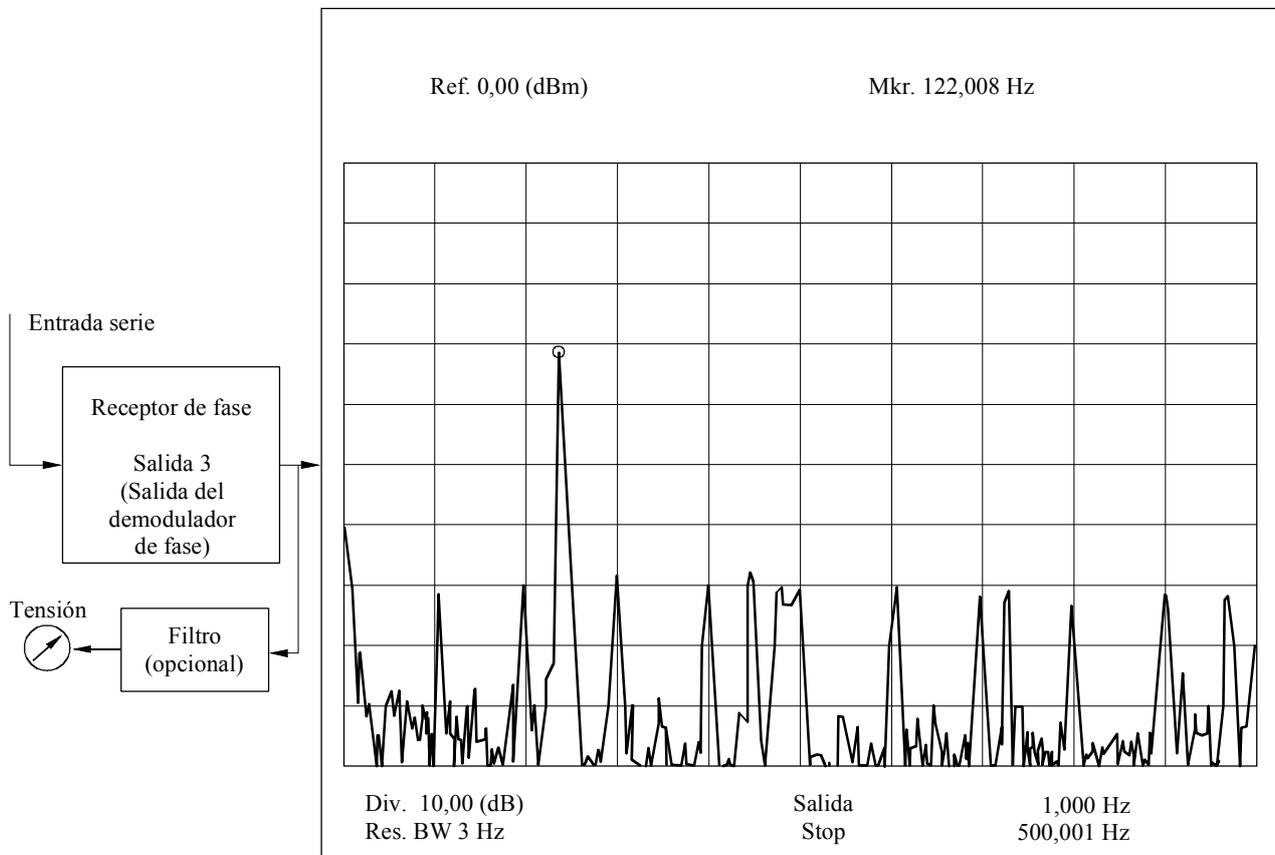
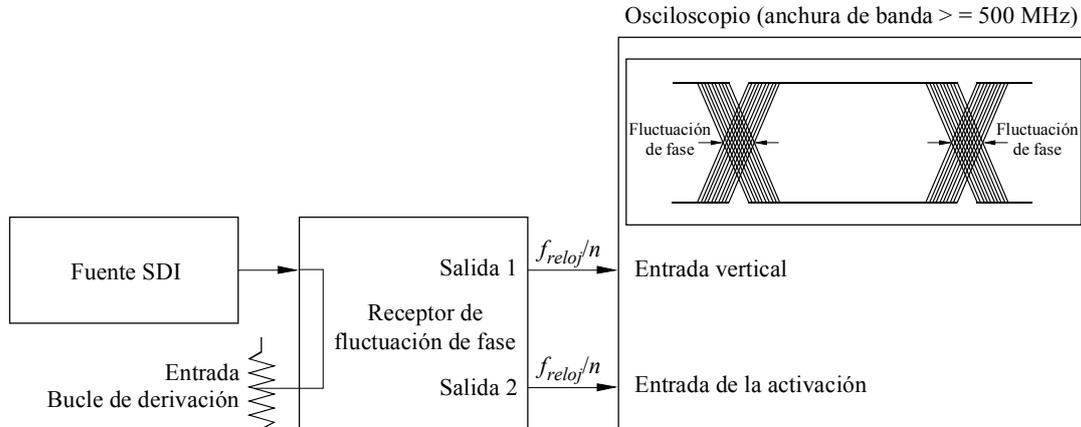


FIGURA 26

Medición de una fluctuación de fase con un  $IU > 1$  utilizando un osciloscopio y receptor de fluctuación de fase con división de frecuencia a la salida

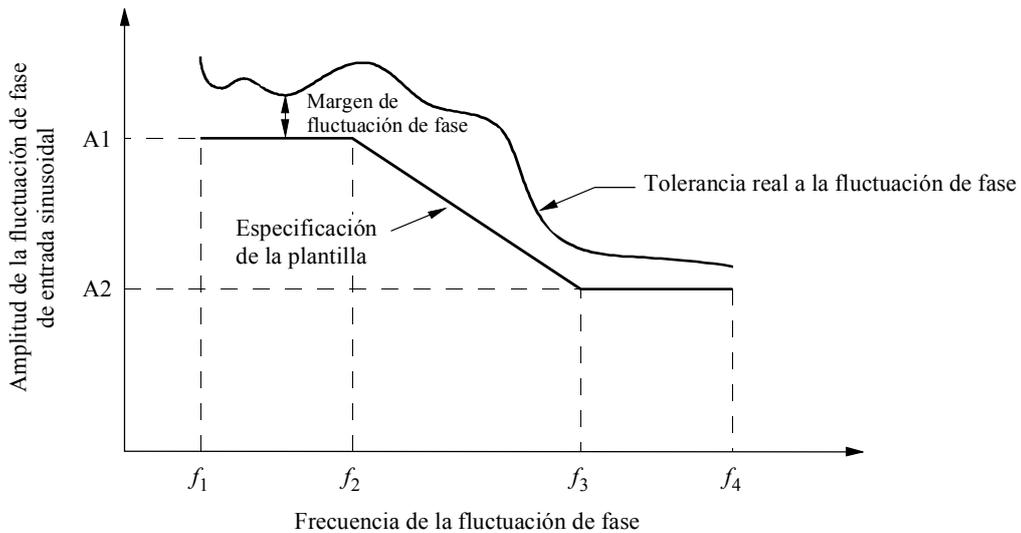


1363-26

La característica de fluctuación de fase del equipo se determina de varias formas. La tolerancia a la fluctuación de fase a la entrada es la amplitud cresta a cresta de la fluctuación de fase sinusoidal que aplicada a la entrada de un equipo provoca una degradación especificada de la característica de error. La tolerancia a la fluctuación de fase de entrada de una parte del equipo puede especificarse mediante la utilización de una plantilla, como se muestra en la Fig. 27. Dicha plantilla especifica la mínima tolerancia a la fluctuación de fase de entrada que cabe esperar en el equipo. El gráfico de la tolerancia real a la fluctuación de fase de entrada medida (también mostrada en la Fig. 27) deberá encontrarse siempre por encima de la plantilla para que los dispositivos tengan un funcionamiento correcto.

FIGURA 27

Especificación de tolerancia a la fluctuación de fase y ejemplo de tolerancia a la fluctuación de fase que cumple dicha especificación

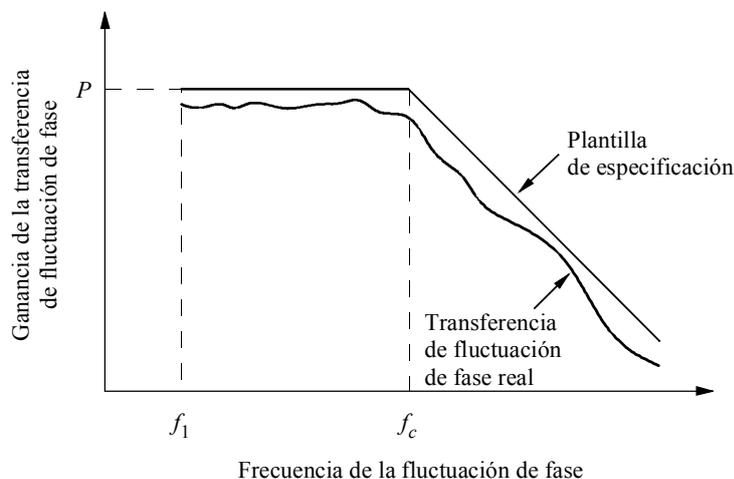


1363-27

La transferencia de fluctuación de fase es la fluctuación de fase que se produce a la salida del equipo como resultado de la fluctuación de fase aplicada a la entrada del mismo. La función de transferencia de fluctuación de fase es la relación entre la fluctuación de fase a la salida y la fluctuación de fase aplicada a la entrada en función de la frecuencia. Se utiliza una plantilla para especificar la función de transferencia de fluctuación de fase en términos de ganancia de la fluctuación de fase en función de la frecuencia. Todo ello aparece en la Fig. 28 donde se representa una función de transferencia de fluctuación de fase que cumple la especificación puesto que su gráfica se encuentra completamente por debajo de la plantilla. La especificación de la plantilla y las mediciones se realizan desde  $f_1$  (límite de la especificación de baja frecuencia) hasta  $f_c$  (borde superior de la banda de paso de transferencia de fluctuación de fase).

FIGURA 28

Plantilla de transferencia de fluctuación de fase y ejemplo de una función de transferencia de fluctuación de fase que cumple la especificación



1363-28

La fluctuación de fase a las salidas del equipo se divide en dos categorías. La fluctuación de fase intrínseca es la cantidad de fluctuación de fase a la salida del equipo cuando a la entrada no hay ninguna fluctuación de fase. Consiste esencialmente en la fluctuación generada por el propio equipo. La fluctuación de fase a la salida es el volumen de fluctuación de fase medido a la salida del equipo cuando éste forma parte de un sistema. Se compone de la suma de la transferencia de fluctuación de fase de la fluctuación de fase que aparece a la entrada del equipo y la fluctuación de fase intrínseca del propio equipo.

## 6 Consideraciones del sistema

La fluctuación de fase generalmente tiene carácter aditivo a medida que la señal atraviesa el sistema. Un funcionamiento sin errores exige que la fluctuación de fase a la salida en una parte del equipo no rebase el valor de la tolerancia a la fluctuación de fase de entrada del siguiente elemento del equipo. Las especificaciones de la fluctuación de fase permiten realizar una estimación de la acumulación de fluctuación de fase en una conexión en cascada de equipos digitales.

Los modelos para estudiar la acumulación de fluctuación de fase dividen a ésta en dos categorías: aleatoria y sistemática. La fluctuación de fase aleatoria se define como aquella que no presenta correlación con ninguna otra fluctuación de fase generada en el sistema. La fluctuación de fase del flanco causada por el ruido térmico en un circuito de segmentación es un ejemplo de fluctuación de fase aleatoria. Como no presenta correlación, la fluctuación de fase aleatoria suma las potencias: la

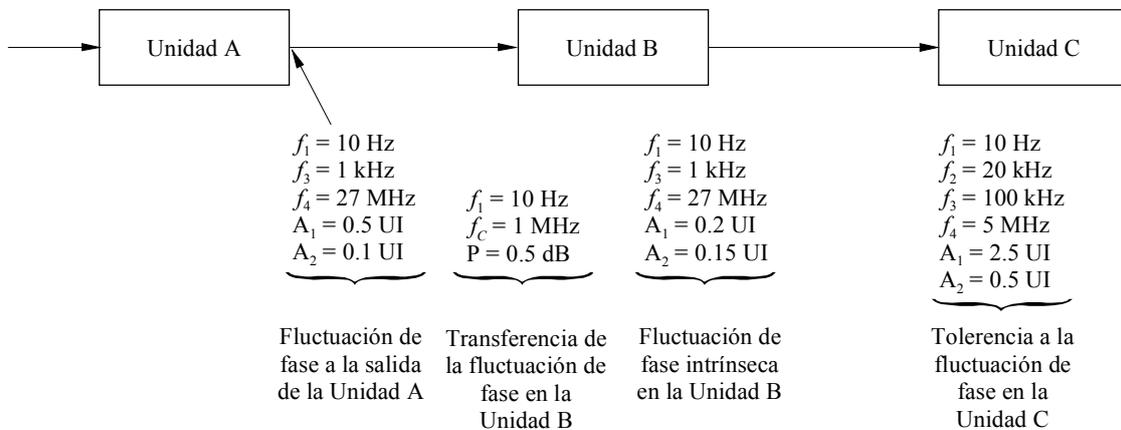
amplitud aumenta siguiendo una ley cuadrática. La fluctuación de fase sistemática es una fluctuación de fase completamente correlada con otra fluctuación de fase en el sistema. Las variaciones en la temporización provocadas por las secuencias de datos específicas son un ejemplo de fluctuación de fase sistemática puesto que en una conexión en cascada de regeneradores idénticos se produce el mismo comportamiento en cada uno de ellos. Como está correlada, la fluctuación de fase sistemática se suma aritméticamente.

La mayoría de la fluctuación de fase es una combinación de la aleatoria y la sistemática. Sin embargo, tras atravesar varios regeneradores la fluctuación de fase sistemática generalmente es la que domina porque se suma aritméticamente. En consecuencia, los modelos sencillos de acumulación de las fluctuaciones de fase tratan todas ellas como si fuesen sistemáticas.

La acumulación de la fluctuación de fase se determina de forma siguiente:

1. la fluctuación de fase a la entrada de un equipo se multiplica por la función de transferencia de la fluctuación de fase del equipo;
2. esta fluctuación de fase multiplicada se suma a la fluctuación de fase intrínseca del equipo para obtener la fluctuación de fase a la salida;
3. la fluctuación de fase a la salida se convierte en la fluctuación de fase a la entrada para la siguiente etapa y se repite el proceso;
4. en ningún punto la fluctuación de fase a la salida puede rebasar la tolerancia a la fluctuación de fase a la entrada de la siguiente etapa.

EJEMPLO:



1363-28b

*Paso 1:* Se multiplica la fluctuación de fase a la salida de la unidad A por la función de transferencia de la fluctuación de fase en la unidad B

La función de transferencia de la fluctuación de fase de la unidad B presenta una cresta de 0,5 dB entre 10 Hz y 1 MHz y un régimen de caída más allá de 1 MHz; 0,5 dB corresponde a una ganancia de 1,06.

$$f_1 \text{ a } f_c \text{ (10 Hz a 1 MHz): } (A_1) \log^{-1} (P/20) = (0,5 \text{ IU}) (1,06) = 0,53 \text{ IU}$$

$$f_3 \text{ a } f_c \text{ (1 kHz a 1 MHz): } (A_2) \log^{-1} (P/20) = (0,1 \text{ IU}) (1,06) = 0,11 \text{ IU}$$

Obsérvese que el cálculo de la fluctuación de fase se limita hasta 1 MHz ( $f_c$ ) aunque la fluctuación de fase a la entrada (fluctuación de fase a la salida procedente de la unidad A) se especifica hasta 27 MHz ( $f_4$ ). Ello es debido a que la función de transferencia de la fluctuación de fase de la unidad B realiza un filtrado paso bajo de la fluctuación de fase a la entrada recortando las frecuencias por encima de 1 MHz. Aunque aparezcan términos de frecuencias más elevadas, no son propagados por la unidad B y, por consiguiente, no figuran en el cálculo de la acumulación de la fluctuación de fase.

*Paso 2:* Se suma la fluctuación de fase intrínseca de la unidad B a la fluctuación de fase transferida por la unidad B para obtener la fluctuación de fase a la salida de la unidad B

Por encima de  $f_1$  (10 Hz): fluctuación de fase a la salida = 0,53 IU + 0,2 IU = 0,73 IU

Por encima de  $f_3$  (1 kHz): fluctuación de fase a la salida = 0,11 IU + 0,15 IU = 0,26 IU

Por encima de  $f_c$  (1 MHz): fluctuación de fase a la salida = 0,15 IU

La tercera expresión se debe a que no hay transferencia de fluctuación de fase por encima de  $f_c$  (1 MHz). Por consiguiente, la única fluctuación de fase a la salida por encima de esta frecuencia es la fluctuación de fase intrínseca de la unidad B. Aunque se ignora si 0,15 IU aparece entre 1 kHz y 1 MHz, o por encima de 1 MHz, en la práctica se supone una magnitud constante en la gama completa entre  $f_3$  y  $f_4$ .

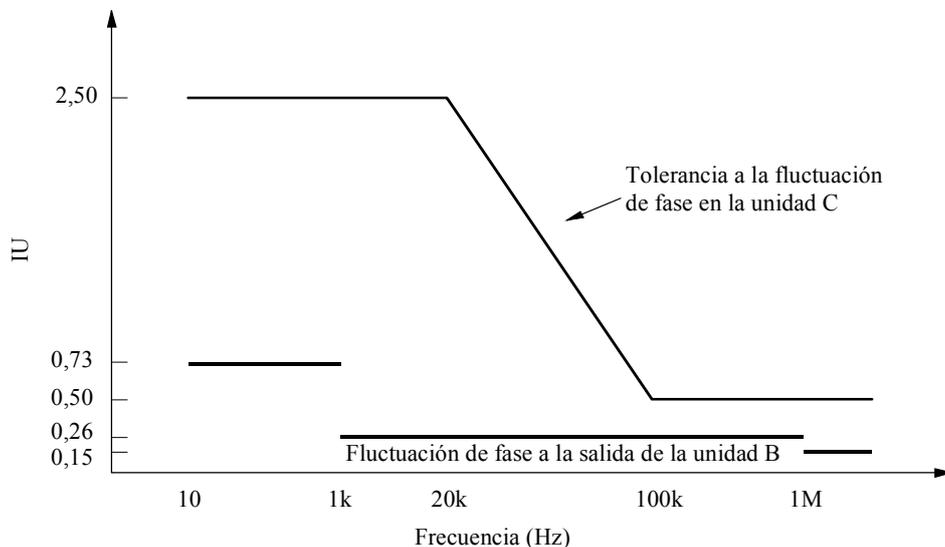
*Paso 3:* Se compara la fluctuación de fase a la salida de la unidad B con la tolerancia a la fluctuación de fase de entrada de la unidad C

La tolerancia a la fluctuación de fase en la unidad C exige que la fluctuación de fase por encima de  $f_3$  (100 kHz) sea inferior a 0,5 IU y la fluctuación de fase entre  $f_1$  (10 Hz) y  $f_2$  (20 kHz) debe ser inferior a 2,5 IU. La fluctuación de fase a la salida de la unidad B es de 0,15 IU por encima de  $f_c$  (1 MHz), 0,26 IU por encima de  $f_3$  (1 kHz) y 0,73 IU por encima de  $f_1$  (10 Hz). Una hipótesis pesimista, pero adecuada, consiste en suponer que todos los 0,73 IU aparecen entre  $f_1$  y  $f_3$  (10 Hz y 1 kHz). Obsérvese que la fluctuación de fase a la salida de la unidad B es inferior a la tolerancia a la fluctuación de fase de entrada en la unidad C (véase la Fig. 29).

Por consiguiente, esta conexión en cascada de los equipos debe funcionar.

FIGURA 29

Fluctuación de fase a la salida de la unidad B comparada con la tolerancia a la fluctuación de fase en la unidad C

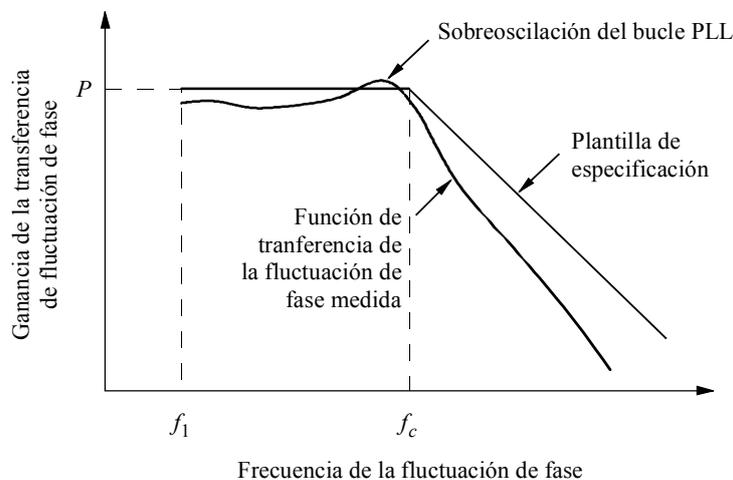


El método sencillo descrito anteriormente permite realizar cálculos teóricos relativos a una posible conexión en cascada de los equipos. Ello exige obtener, del fabricante del equipo, las especificaciones de tolerancia a la fluctuación de fase, transferencia de fluctuación de fase y fluctuación de fase intrínseca. Si no se dispone de estos datos, los parámetros pueden medirse. Los fallos en la fluctuación de fase se producen cuando la fluctuación de fase a la salida rebasa las siguientes tolerancias a la fluctuación de fase a la entrada del equipo. Las causas más comunes para que se produzca esto en un sistema son:

1. Valor excesivo de la fluctuación de fase intrínseca, normalmente como resultado de un mal diseño del equipo o de un fallo en el mismo.
2. Tras una conexión en cascada de los equipos con una transferencia de fluctuación de fase hasta  $f_c$ , incorporación de un dispositivo cuyo punto crítico de tolerancia a la fluctuación de fase  $f_3$  sea mucho menor que la frecuencia  $f_c$ . La fluctuación de fase se acumulará de forma aritmética por debajo de  $f_c$  y en un instante determinado rebasará el valor de la tolerancia a la fluctuación de fase en alta frecuencia  $A_2$ . No hay esencialmente acumulación de fluctuación de fase por encima de  $f_c$ .
3. Aparición de un valor de cresta en la función de transferencia de fluctuación de fase, normalmente cerca de  $f_c$  (véase la Fig. 30). Una conexión en cascada de equipos con esta característica puede producir un crecimiento muy acusado de la fluctuación de fase.

FIGURA 30

Función de transferencia de fluctuación de fase mostrando el valor de cresta de la fluctuación de fase



1363-30

Las causas 2 y 3 anteriores son buenos ejemplos de la importancia que tiene la publicación de las especificaciones relativas a la transferencia de fluctuación de fase y la tolerancia a la fluctuación de fase. La causa 2 puede evitarse eligiendo adecuadamente los equipos, conectándoles en cascada en la forma conveniente o instalando un supresor de fluctuación de fase antes del dispositivo con el punto crítico de tolerancia a la fluctuación de fase  $f_3$  de valor bajo. La causa 3 puede evitarse eligiendo convenientemente los equipos (valores pequeños de las crestas de la fluctuación de fase), diseñando y utilizando supresores de fluctuación de fase o limitando la longitud de las conexiones en cascada. Todas estas soluciones exigen conocer la función de transferencia de fluctuación de fase y la tolerancia a la fluctuación de fase de los componentes que constituyen el sistema.

7 Reducción de la fluctuación de fase

Puede que sea necesario eliminar la fluctuación de fase en diversos puntos de un sistema, ya sea porque se ha producido una acumulación de la fluctuación de fase suficiente como para rebasar el valor de la tolerancia a la fluctuación de fase de un dispositivo que viene a continuación, como se ha discutido anteriormente, o porque es necesario lograr una conversión de alta calidad a la forma analógica. La fluctuación de fase provoca la no linealidad en los conversores digital-analógico (D/A). Por consiguiente, una conversión D/A de alta calidad exige suprimir toda fluctuación de fase que acompañe a la señal si el reloj de conversión se obtiene a partir de la señal.

Un supresor de fluctuación de fase funciona convirtiendo las señales digitales en serie a la forma paralela, haciéndolas atravesar un registro de «primero en entrar, primero en salir» (*first-in-first-out*, FIFO) y a continuación volviéndolas a serializar utilizando un reloj muy estable. Normalmente este reloj altamente estable toma como referencia una señal de sincronización como una ráfaga negra. Como se muestra en la Fig. 31, la entrada al supresor de fluctuación de fase se estructura de forma similar a la entrada a cualquier equipo con una entrada SDI. A continuación se inserta un registro FIFO relativamente pequeño pero con suficiente longitud como para admitir las variaciones más amplias en el tiempo provocadas por las amplitudes de fluctuación de fase más elevadas que cabe esperar. Por último, la fuente de reloj de alta calidad ataca a un serializador o a un conversor D/A proporcionando una salida virtualmente sin fluctuación de fase. Los dispositivos de este tipo pueden aplicarse a un sistema tan a menudo como sea necesario para controlar la acumulación de la fluctuación de fase o para asegurar unas salidas analógicas lineales. En la implementación de los supresores de fluctuación de fase debe tomarse la precaución de tener en cuenta el retardo adicional que introducen y de asegurarse que este retardo es predecible.

FIGURA 31

Diagrama de bloques de un supresor de fluctuación de fase

