



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

**UIT-T**

SECTOR DE NORMALIZACIÓN  
DE LAS TELECOMUNICACIONES  
DE LA UIT

**G.8251**

**Enmienda 1**  
(06/2002)

SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN,  
SISTEMAS Y REDES DIGITALES

Redes digitales – Objetivos de calidad y disponibilidad

---

Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación  
lenta de fase en la red óptica de transporte

**Enmienda 1**

Recomendación UIT-T G.8251 (2001) – Enmienda 1

---

RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE G  
**SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES**

|   |                      |
|---|----------------------|
| CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES  | G.100–G.199          |
| CARACTERÍSTICAS GENERALES COMUNES A TODOS LOS SISTEMAS ANALÓGICOS DE PORTADORAS   | G.200–G.299          |
| CARACTERÍSTICAS INDIVIDUALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES DE PORTADORAS EN LÍNEAS METÁLICAS  | G.300–G.399          |
| CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES EN RADIOENLACES O POR SATÉLITE E INTERCONEXIÓN CON LOS SISTEMAS EN LÍNEAS METÁLICAS | G.400–G.449          |
| COORDINACIÓN DE LA RADIOTELEFONÍA Y LA TELEFONÍA EN LÍNEA   | G.450–G.499          |
| EQUIPOS DE PRUEBAS  | G.500–G.599          |
| CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN  | G.600–G.699          |
| EQUIPOS TERMINALES DIGITALES  | G.700–G.799          |
| REDES DIGITALES   | G.800–G.899          |
| SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS DIGITALES DE LÍNEA   | G.900–G.999          |
| CALIDAD DE SERVICIO Y DE TRANSMISIÓN  | G.1000–G.1999        |
| CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN  | G.6000–G.6999        |
| EQUIPOS TERMINALES DIGITALES  | G.7000–G.7999        |
| REDES DIGITALES   | G.8000–G.8999        |
| Generalidades   | G.8000–G.8099        |
| Objetivos de diseño para las redes digitales  | G.8100–G.8199        |
| <b>Objetivos de calidad y disponibilidad</b>  | <b>G.8200–G.8299</b> |
| Funciones y capacidades de la red   | G.8300–G.8399        |
| Características de las redes con jerarquía digital síncrona   | G.8400–G.8499        |
| Gestión de red de transporte  | G.8500–G.8599        |
| Integración de los sistemas de satélite y radioeléctricos con jerarquía digital síncrona  | G.8600–G.8699        |
| Redes ópticas de transporte   | G.8700–G.8799        |

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

## **Recomendación UIT-T G.8251**

### **Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en la red óptica de transporte**

#### **Enmienda 1**

#### **Resumen**

En esta enmienda se incluyen extensiones a la primera versión de la Rec. UIT-T G.8251 (11/2001) relacionadas con la adición de la multiplexación de ODUk.

#### **Orígenes**

La enmienda 1 a la Recomendación UIT-T G.8251, preparada por la Comisión de Estudio 15 (2001-2004) del UIT-T, fue aprobada por el procedimiento de la Resolución 1 de la AMNT el 13 de junio 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) Introducción.....  | 1             |
| 2) Adiciones .....  | 1             |
| 2.1) Cláusula 1 (Alcance) .....   | 1             |
| 2.2) Anexo A – Cláusula A.1 (Alcance).....  | 1             |
| 2.3) Cláusula A.2 (Aplicaciones).....   | 5             |
| 2.4) Subcláusula A.5.1.2 (Generación de fluctuación de fase del ODCp) .....   | 5             |
| 2.5) Subcláusula A.7.3 (Transferencia de fluctuación de fase del ODCp).....   | 6             |
| 2.6) Apéndice VI (Funciones atómicas de la OTN) .....   | 7             |
| 2.7) Nuevos apéndices VII y VIII.....   | 8             |
| Apéndice VII – Modelos ficticios de referencia (HRM) para la acumulación de<br>fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase a corto plazo de cabida útil de<br>CBRx y ODUj[i]..... | 8             |
| VII.1 Análisis .....  | 8             |
| Apéndice VIII – Análisis de acumulación de fluctuación de fase y fluctuación lenta de<br>fase a corto plazo de la cabida útil de CBRx y ODUj[i] .....                                 | 10            |
| VIII.1 Introducción.....  | 10            |
| VIII.2 Modelo de simulación .....   | 10            |
| VIII.2.1 Filtro de medición de fluctuación de fase paso alto, de primer orden.....  | 11            |
| VIII.2.2 Filtro paso bajo de segundo orden con cresta de ganancia y régimen de<br>caída de 20 dB/década .....   | 12            |
| VIII.2.3 Modelo de elemento de correspondencia/multiplexador.....   | 15            |
| VIII.2.4 Modelo general.....  | 18            |
| VIII.3 Resultados de la simulación de fluctuación de fase y fluctuación lenta de<br>fase a corto plazo .....  | 19            |
| VIII.3.1 Resultados para la acumulación de fluctuación de fase de banda ancha.....  | 21            |
| VIII.4 Bibliografía.....  | 25            |



## Recomendación UIT-T G.8251

### Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en la red óptica de transporte

#### Enmienda 1

##### 1) Introducción

En esta enmienda se incluyen extensiones a la primera versión de la Rec. UIT-T G.8251 (2001), relacionadas con la adición de la multiplexación de ODU<sub>k</sub>.

##### Palabras clave

*Reemplácese sólo en la versión española:*

"gama de tiro hacia adentro" por "gama de enganche" y "gama de tiro hacia fuera" por "gama de desenganche".

##### 2) Adiciones

###### 2.1) Cláusula 1 (Alcance)

*Reemplácese el párrafo 3 por el siguiente, a fin de reflejar el hecho de que la Recomendación G.8251 incluye ahora requisitos para los casos que involucran multiplexación de ODU<sub>k</sub>:*

Los límites de red dados en la cláusula 5, las especificaciones de la tolerancia de las interfaces de OTN de 6.1 y las especificaciones de las interfaces de los equipos de la OTN del anexo A se aplican o se refieren a la interfaz de OTU<sub>k</sub>. Se señala que algunos de los demás requisitos de la presente Recomendación, por ejemplo, los del reloj con el que se anula la correspondencia (ODC<sub>p</sub>, *demapper clock*), el reloj asíncrono con el que se establece la correspondencia (ODC<sub>a</sub>, *asynchronous mapper clock*) y el reloj con el que se establece la correspondencia síncrona de bits (ODC<sub>b</sub>, *bit-synchronous mapper clock*) del anexo A, se aplican a otras interfaces y otras velocidades binarias (es decir, el dispositivo que anula la correspondencia reside en la función de adaptación entre el ODU<sub>k</sub>P y el cliente CBR y ODU<sub>j</sub>[/i], mientras que los relojes del dispositivo que establece la correspondencia asíncrona y síncrona de bits residen entre la función de adaptación de la fuente que se halla entre el ODU<sub>k</sub>P y el cliente). En esta Recomendación, cuando el término *reloj* se utiliza para referirse a un reloj de ODU (ODC, *ODU clock*), se está haciendo referencia a una fuente de frecuencia. Nótese que la Rec. UIT-T G.8251 incluye requisitos tanto para los clientes CBR<sub>x</sub> no-OTN que se hacen corresponder en la ODU<sub>k</sub>, como para los clientes ODU<sub>j</sub>[/i] multiplexados en la ODU<sub>k</sub> ( $k > j$ ).

###### 2.2) Anexo A – Cláusula A.1 (Alcance)

a) *Reemplácese el párrafo 1 por el siguiente, a fin de reflejar el hecho de que los relojes ODC<sub>a</sub> y ODC<sub>p</sub> pueden también utilizarse ahora para la multiplexación y demultiplexación de ODU<sub>k</sub>:*

El presente anexo contiene los requisitos del reloj ODU<sub>k</sub> (ODC). El término *reloj* se refiere aquí a un circuito de filtrado y/o generación de reloj. Se han definido cuatro tipos de ODC para diferentes aplicaciones (véase la cláusula A.2):

1) ODC<sub>a</sub> para el establecimiento de la correspondencia asíncrona de los clientes de velocidad binaria constante (CBR, *constant bit rate*) (por ejemplo, cliente CBR<sub>x</sub> genérico, cliente RS,

etc.) y los clientes de velocidad binaria variable (VBR, *variable bit rate*) (por ejemplo, cliente VP, cliente GFP, etc.) en la ODU<sub>k</sub>, multiplexación asíncrona de clientes ODU<sub>j</sub>[/i] en ODU<sub>k</sub> ( $k > j$ ), generación de señales Test/NULL y para la generación AIS y OCI;

- 2) ODC<sub>b</sub> para el establecimiento de la correspondencia síncrona de bits de los clientes CBR<sub>x</sub> en ODU<sub>k</sub>;
- 3) ODC<sub>r</sub> para la regeneración 3R de la señal ODU<sub>k</sub>; y
- 4) ODC<sub>p</sub> para la anulación de la correspondencia de clientes de velocidad binaria constante (CBR) y demultiplexación de clientes ODU<sub>j</sub>[/i] de ODU<sub>k</sub> ( $k > j$ ).

El ODC<sub>a</sub> y el ODC<sub>b</sub> generan la señal de temporización de las señales de ODU<sub>k</sub> y OTU<sub>k</sub> producidas por un elemento de red OTN. El ODC<sub>r</sub> genera la señal de temporización de la OTU<sub>k</sub> producida por un regenerador 3R. El ODC<sub>p</sub> genera la señal de temporización de la señal de un cliente CBR<sub>x</sub> con correspondencia anulada o demultiplexa la señal ODU<sub>j</sub>[/i].

b) *Reemplácese el cuadro A.1 por el siguiente:*

- 1) *añadir las funciones atómicas para la multiplexación y demultiplexación de ODU<sub>k</sub>;*
- 2) *establecer claramente que ahora se utiliza el ODC<sub>p</sub> tanto para la anulación de correspondencia de clientes CBR<sub>x</sub> no-OTN como de las ODU<sub>k</sub> multiplexadas:*

**Cuadro A.1/G.8251 – Resumen de tipos de reloj de ODUk (ODC)**

|   | <b>ODCa</b>   | <b>ODCb</b>                           | <b>ODCr</b>   | <b>ODCp</b>   |
|---|---|---------------------------------------|---|---|
| Función atómica                         | ODUkP/CBRx-a_A_So<br>ODUkP/GFP_A_So<br>ODUkP/NULL_A_So<br>ODUkP/PRBS_A_So<br>ODUkP/Rsn-a_A_So<br>ODUkP/VP_A_So<br>ODUkP/ODU[i]j_A_So<br>ODUkP/ODUi[j]_A_Sk (reloj AIS)<br>OTUk/ODUk_A_Sk (reloj AIS)<br>OTUkV/ODUk_A_Sk (reloj AIS)<br>ODUk_C (reloj OCI) | ODUkP/CBRx-b_A_So<br>ODUkP/Rsn-b_A_So | OTUk/ODUk_A_So<br>y<br>OTUk/ODUk_A_Sk (es decir, los relojes de estas funciones atómicas están concentrados en un solo ODCr; véase la Rec. UIT-T G.798) | ODUkP/CBRx_A_Sk<br>ODUkP/ODU[i]j_A_Sk   |
| Exactitud de la frecuencia              | ± 20 ppm  | ± 20 ppm                              | ± 20 ppm  | ± 20 ppm  |
| Modo libre soportado                    | Sí  | Sí                                    | Sí  | Sí  |
| Modo enganchado soportado               | No  | Sí                                    | Sí  | Sí  |
| Modo retención soportado                | No  | No                                    | No  | No  |
| Gama de enganche                        | NA  | ± 20 ppm                              | ± 20 ppm  | ± 20 ppm  |
| Gama de desenganche                     | NA  | ± 20 ppm                              | ± 20 ppm  | ± 20 ppm  |
| Generación de fluctuación de fase       | Cuadro A.2/G.8251   | Cuadro A.2/G.8251                     | Cuadro A.2/G.8251   | Cuadro A.3/G.8251   |
| Generación de fluctuación lenta de fase | NA  | NA (nota 1)                           | NA  | NA (nota 2)   |
| Tolerancia de la fluctuación de fase    | NA  | Rec. UIT-T G.825                      | Cuadro 2/G.8251, figura 1/G.8251 (OTU1)<br>Cuadro 3/G.8251, figura 2/G.8251 (OTU2)<br>Cuadro 4/G.8251, figura 3/G.8251 (OTU3)                           | Cuadro 2/G.8251, figura 1/G.8251 (OTU1)<br>Cuadro 3/G.8251, figura 2/G.8251 (OTU2)<br>Cuadro 4/G.8251, figura 3/G.8251 (OTU3) |

**Cuadro A.1/G.8251 – Resumen de tipos de reloj de ODUk (ODC)**

|  | <b>ODCa</b>   | <b>ODCb</b>   | <b>ODCr</b>  | <b>ODCp</b>  |
|--|---|---|--|--|
| Tolerancia de la fluctuación lenta de fase           | NA  | Rec. UIT-T G.825  | Cláusula 6.1/G.8251  | Cláusula 6.1/G.8251  |
| Transferencia de fluctuación de fase                 | NA  | Anchura de banda máxima:<br>ODU1: 1 kHz<br>ODU2: 4 kHz<br>ODU3: 16 kHz<br>Ganancia máxima de cresta:<br>0,1 dB para ODU1, 2 y 3<br>(véanse el cuadro A.4/G.8251 y la figura A.1/G.8251) | Anchura de banda máxima:<br>OTU1: 250 kHz<br>OTU2: 1000 kHz<br>OTU3: 4000 kHz<br>Ganancia máxima de cresta:<br>0,1 dB para OTU1, 2 y 3<br>(véanse el cuadro A.5/G.8251 y la figura A.1/G.8251) | Anchura de banda máxima:<br>300 Hz<br>Ganancia máxima de cresta:<br>0,1 dB<br>(véase A.7.3/G.8251) |
| Señal de salida cuando se pierde la señal de entrada | AIS (cliente CBRx)<br>OTUk: sin obtención de trama<br>OTUk: frecuencia inalterada | AIS (cliente CBRx)<br>OTUk: sin obtención de trama<br>OTUk: cambio de frecuencia inicial $\leq 9$ ppm   | AIS (cliente OTUk)<br>OTUk: obtención de trama permitida<br>Desplazamiento de frecuencia de OTUk temporal $> 20$ ppm permitido   | AIS (cliente CBRx), AIS (cliente ODUj[i])<br>Desplazamiento de frecuencia $\leq 20$ ppm            |

NA No hay ningún requisito porque no es aplicable.

NOTA 1 – Se prevé que la generación de fluctuación lenta de fase del ODCb sea irrelevante en comparación con la fluctuación lenta de fase en la señal del cliente CBR (por ejemplo, SDH) a la entrada, porque la anchura de banda del ODCb es relativamente amplia.

NOTA 2 – La generación de fluctuación lenta de fase intrínseca del ODCp es irrelevante en comparación con la fluctuación lenta de fase generada por el proceso de anulación de la correspondencia.

- c) *Reemplácese la nota al final de la cláusula A.1 por la siguiente, a fin de reflejar el hecho de que puede ahora ocurrir la multiplexación de ODUk:*

NOTA – En el caso de correspondencia asíncrona o multiplexación, no es necesario un único reloj maestro, esto es, un solo ODCa, en los equipos de la OTN. En dichos equipos puede haber múltiples relojes ODCa independientes para cada longitud de onda saliente (es decir, para la fuente de cada OCh, OTUk, y ODUk). En el caso de correspondencia síncrona de bits, regeneración 3R y anulación de la correspondencia, no puede haber un reloj maestro único para múltiples OCh, lo que significa que un ODCb, ODCr, u ODCp suministra la temporización para un único cliente ODUk, OTUk o CBR, respectivamente.

### **2.3) Cláusula A.2 (Aplicaciones)**

- a) *Reemplácese los párrafos 1 y 2 por los siguientes, para reflejar el hecho de que los relojes ODCa y ODCp pueden también ser utilizados ahora para la multiplexación y demultiplexación de ODUk, respectivamente:*

El ODCa y el ODCb se utilizan para establecer la correspondencia entre la cabida útil y la señal ODUk, el ODCr se utiliza para la regeneración 3R, el ODCp se utiliza en el dispositivo que anula la correspondencia de CBR y en la demultiplexación de ODU[i]j.

El ODCa, utilizado para el establecimiento de la correspondencia asíncrona y la multiplexación ODU[i]j funciona de manera libre y el desplazamiento de la velocidad binaria se acomoda mediante un relleno controlado apropiadamente. El ODCa es también el reloj AIS y OCI.

- b) *Reemplácese el párrafo 5 por el siguiente, a fin de reflejar el hecho de que se puede también utilizar ahora el reloj ODCp para la demultiplexación de ODUk:*

El ODCp, utilizado para el dispositivo que anula la correspondencia de CBR y el demultiplexador de ODU[i]j, está enganchado a la velocidad binaria del reloj de OPuk espaciado, (es decir, la temporización de la señal que resulta de tomar la cabida útil de OPuk y aplicar el control de justificación). Si la señal entrante falla, el ODCp pasa a la condición de funcionamiento libre.

### **2.4) Subcláusula A.5.1.2 (Generación de fluctuación de fase del ODCp)**

- a) *Reemplácese el párrafo 1 por el siguiente, a fin de reflejar el hecho de que se puede también utilizar ahora el reloj ODCp para la demultiplexación de ODUk:*

En ausencia de fluctuación de fase a la entrada, fluctuación de fase a la salida del ODCp, es decir, la señal CBR/RS\_CI\_CK o la señal ODUj[i]\_CI\_Ck, no deberá rebasar los valores especificados en el cuadro A.3/G.8251, cuando se mida en un intervalo de 60 segundos con los filtros de medición especificados en ese cuadro. Se señala que la salida se produce en la interfaz CBRx/RSn\_CP o en la interfaz ODUj[i]\_CP. Los requisitos se cumplirán cuando la frecuencia de entrada del cliente CBRx u ODUj[i] sea constante dentro de los límites de  $-20$  ppm a  $+20$  ppm respecto a la frecuencia nominal.

NOTA – Los CBR\_CP y ODUk[i]\_CP están dentro de un elemento de red y, por consiguiente, no son normalmente accesibles para pruebas. Se puede verificar la conformidad con los requisitos variando la frecuencia de entrada del cliente en el OS\_CP o en el OCh\_CP dentro de los límites de  $-20$  ppm a  $+20$  ppm con respecto a la frecuencia nominal y verificando que, para una señal de entrada sin fluctuación de fase, la fluctuación de fase de la señal de salida del cliente cuya correspondencia ha sido anulada en el ODCp está dentro de los límites especificados en el cuadro A.3/G.8251.

- b) *Reemplácese el cuadro A.3/G.8251 por el siguiente, para indicar que:*
- 1) *los requisitos para la demultiplexación de ODU1 a partir de ODU2 u ODU3 son idénticos a aquéllos para la anulación de correspondencia de CBR2G5 desde ODU1; y*
  - 2) *los requisitos para la demultiplexación de ODU2 desde ODU3 son idénticos a aquéllos para la anulación de correspondencia de CBR10G a partir de ODU2:*

**Cuadro A.3/G.8251 – Requisitos de la generación de fluctuación de fase del ODCp**

| <b>Interfaz</b> | <b>Anchura de banda de medición, frecuencias a -3 dB (Hz)</b> | <b>Amplitud cresta a cresta (UIpp) (nota 2)</b> |
|-----------------|---|---|
| CBR2G5<br>ODU1  | 5 k a 20 M  | 1,0   |
|                 | 1 M a 20 M  | 0,1   |
| CBR10G<br>ODU2  | 20 k a 80 M   | 1,0   |
|                 | 4 M a 80 M  | 0,1   |
| CBR40G          | 80 k a 320 M (nota 1)   | 1,0   |
|                 | 16 M a 320 M  | 0,1   |

NOTA 1 – Los valores para STM-256 son provisionales y no figuran en la Rec. UIT-T G.825 en la fecha de publicación de la Rec. UIT-T G.8251.

NOTA 2 – CBR2G5  $1 \text{ UI} = \frac{1}{2,48832} \text{ [ns]} = 401,9 \text{ ps}$

CBR10G  $1 \text{ UI} = \frac{1}{9,95328} \text{ [ns]} = 100,5 \text{ ps}$

CBR40G  $1 \text{ UI} = \frac{1}{39,81312} \text{ [ns]} = 25,12 \text{ ps}$

ODU1  $1 \text{ UI} = \frac{238}{(239)(2,48832)} \text{ [ns]} = 400,2 \text{ ps}$

ODU2  $1 \text{ UI} = \frac{237}{(239)(9,95328)} \text{ [ns]} = 99,63 \text{ ps}$

## 2.4 bis

Reemplácese en la versión española los párrafos A.4, A.4.1 y A.4.2 por los siguientes:

### A.4 Gamas de enganche y desenganche

#### A.4.1 Gama de enganche

La gama de enganche mínima del ODCb, ODCr y ODCp será de  $\pm 20$  ppm, cualquiera que sea el desplazamiento de frecuencia del oscilador interno. No hay ningún requisito con respecto a la gama de enganche del ODCa porque está en funcionamiento libre.

#### A.4.2 Gama de desenganche

La gama de desenganche mínima del ODCb, ODCr y ODCp será de  $\pm 20$  ppm, cualquiera que sea el desplazamiento de frecuencia del oscilador interno. No hay ningún requisito con respecto a la gama de desenganche del ODCa porque está en funcionamiento libre.

### 2.5) Subcláusula A.7.3 (Transferencia de fluctuación de fase del ODCp)

Reemplácese el párrafo 1 por el siguiente, para reflejar el hecho de que también se puede utilizar ahora el reloj ODSp para la demultiplexación de ODUk:

Los requisitos de transferencia de fluctuación de fase del ODCp son, básicamente, los de la transferencia para un dispositivo que anula la correspondencia (o sea, un desincronizador) de CBR (por ejemplo, SDH) o un demultiplexador de ODU[i]j. La función del dispositivo que anula la correspondencia, incluido el ODCp, está contenida en las funciones atómicas ODUkP/CBRx\_A\_Sk y ODUkP/RSn\_A\_Sk. Las funciones del demultiplexor, incluido el ODCp, están contenidas en la función atómica ODUkP/ODU[i]j\_A\_Sk. El ODCp lleva a cabo el filtrado necesario para controlar

la acumulación de fluctuación de fase y de fluctuación lenta de fase en el establecimiento o la anulación de la correspondencia en múltiples islas de la OTN.

## 2.6) Apéndice VI (Funciones atómicas de la OTN)

Reemplácese la figura VI.1/G.8251 por la que se muestra a continuación, para incluir las nuevas funciones atómicas necesarias para la multiplexación de ODUk, así como para incluir todas las funciones atómicas del cuadro A.1/G.8251 de una manera más simple. Reemplácese las descripciones de funciones atómicas en G.8251 por las descripciones que se presentan más adelante, que incluyen las nuevas funciones atómicas para la multiplexación de ODUk y que son coherentes con la figura simplificada.

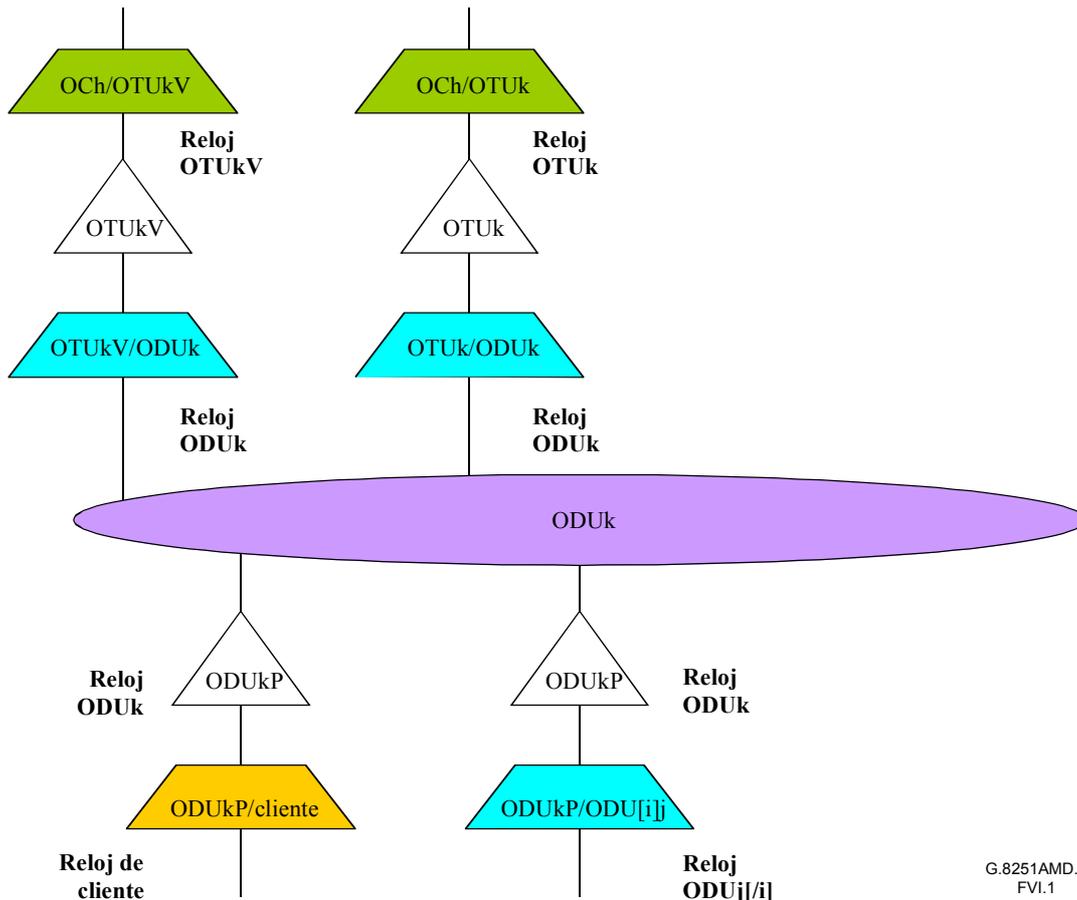


Figura VI.1/G.8251 – Funciones atómicas utilizadas para la temporización de la OTN

**OCh/OTUk\_A\_Sk:** Recuperación del reloj de OTUk.

**OTUk/ODUk\_A\_Sk:** Genera un reloj de ODUk a partir del reloj de OTUk (relación 239:255). Si se producen anomalías en la OTUk, incluido el fallo de señal, se genera una AIS con un reloj de AIS. El reloj de ODUk ha de estar dentro de los límites incluso en caso de pérdida de la señal.

**OTUk/ODUk\_A\_So:** Genera un reloj de OTUk a partir del reloj ODUk (relación 255:239). Puesto que la señal ODUk está siempre disponible, no se requiere un reloj de AIS. Una conmutación entre varias señales ODUk con fases de reloj diferentes y frecuencias diferentes no afectará de manera negativa al reloj de OTUk.

**OCh/OTUkV\_A\_Sk:** Recuperación del reloj de OTUkV.

**OTUkV/ODUk\_A\_Sk:** Genera un reloj de ODUk a partir del reloj OTUkV con una relación fija (correspondencia síncrona) o a partir del reloj de OTUkV y el relleno (correspondencia asíncrona).

**OTUkV/ODUk\_A\_So:** Genera un reloj de OTUkV a partir del reloj de ODUk con una relación fija (correspondencia síncrona) o en funcionamiento libre (correspondencia asíncrona) con relleno de la ODUk en la OTUk.

**ODUkP/Client\_A\_So:** Genera un reloj de ODUk en funcionamiento libre (correspondencia asíncrona) con el relleno de la señal de cliente en el ODUk, si es necesario, o a partir del reloj de cliente con una relación fija (correspondencia síncrona).

**ODUkP/Client\_A\_Sk:** Genera un reloj de cliente basado en el reloj de ODUk y decisiones de relleno cuando sea necesario.

**ODUk\_C:** Genera un reloj de ODUk en funcionamiento libre para OCI.

**ODUkP/ODU[i]j\_A\_So:** Genera un reloj de ODUk en funcionamiento libre. Relleno de ODUj[I] en ODUk.

**ODUkP/ODU[i]j\_A\_Sk:** Genera un reloj ODUj[I] basado en el reloj de ODUk y decisiones de relleno. Reloj de AIS al fallar la señal entrante.

## 2.7) Nuevos apéndices VII y VIII

*Añádase el nuevo apéndice VII, que describe los dos modelos ficticios de referencia (HRM, hypothetical reference models) utilizados para estudiar la acumulación de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase a corto plazo (TDEV) de cabida útil para los casos de multiplexación de ODUk. Añádase el nuevo apéndice VIII, que describe los estudios de acumulación de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase a corto plazo.*

## Apéndice VII

### **Modelos ficticios de referencia (HRM) para la acumulación de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase a corto plazo de cabida útil de CBRx y ODUj[i]**

#### **VII.1 Análisis**

En este apéndice se describen los modelos ficticios de referencia (HRM, *hypothetical reference models*) utilizados para obtener los requisitos de transferencia de fluctuación de fase de ODCp (desincronizador) de A.7.3, y los requisitos de generación de fluctuación de fase de ODCp de A.5.1.2. Estos requisitos, junto con el HRM, son coherentes con los límites de red de la fluctuación de fase de cabida útil de CBRx y los de la tolerancia de la fluctuación de fase, es decir, los requisitos para señales SDH de la Rec. UIT-T G.825. Asimismo, son compatibles con los requisitos de los límites de red de la fluctuación de fase de la cabida útil de ODUj[i] y los de tolerancia de la fluctuación de fase, puestos de manifiesto por los requisitos para señales OTUk de 5.1/G.8251 y 6.1.1/G.8251 (y sus subcláusulas). Además, estos requisitos son conformes con los requisitos de fluctuación lenta de fase (TDEV) a corto plazo de la cabida útil de CBRx, expresados por las plantillas de TDEV de las opciones 1 y 2 de la Rec. UIT-T G.813 [véase la figura 6/G.813, Tolerancia de fluctuación lenta de fase a la entrada (TDEV) para la opción 1, y la figura I.1/G.813, Límite de red de sincronización para mantener la característica de deslizamientos a 1544 kbit/s como se define en la Rec. UIT-T G.822, respectivamente]. En el apéndice VIII se presenta el análisis detallado de la acumulación de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase (TDEV) a corto plazo de la cabida útil del que se obtienen los requisitos y a los HRM antes mencionados.

En el apéndice II/G.8251 se describe un HRM para el transporte de sincronización en la OTN mediante clientes SDH. Este modelo contiene un total de 100 elementos de correspondencia o multiplexación de red OTN (y para cada uno de ellos existe un elemento de red que anula la correspondencia o demultiplexa, respectivamente). En el ejemplo de la figura II.1/G.8251 hay

10 "islas OTN", cada una de ellas<sup>1</sup> compuesta por un elemento de red de correspondencia/anulación de correspondencia y 9 de multiplexación/demultiplexación y separada de las islas adyacentes por una SSU. No obstante, el apéndice II sólo es relevante en caso de acumulación de fluctuación de fase a largo plazo, que depende principalmente del almacenamiento total de memoria intermedia de todos los elementos de la OTN. De hecho, la distribución de los elementos de correspondencia/anulación de correspondencia o multiplexación/demultiplexación no es importante para la acumulación de fluctuación de fase a largo plazo (como, efectivamente, se indica en la cláusula II.2) y, en el peor de los casos, puede haber hasta 100 elementos de correspondencia/anulación de correspondencia o multiplexación/demultiplexación entre dos SSU o SEC adyacentes. La acumulación total de fluctuación lenta de fase a largo plazo está limitada por la capacidad total de la memoria intermedia del dispositivo de correspondencia o del multiplexador de 100 elementos de red (sin importar dónde estén en el HRM). Esta consideración dió lugar a los requisitos de histéresis de memoria intermedia máxima descritos en la cláusula II.5/G.8251 y especificados en la Rec. UIT-T G.798.

Aunque la acumulación de fluctuación lenta de fase a largo plazo puede estar limitada por el almacenamiento total de la memoria intermedia de todos los elementos de red, la acumulación de fluctuación de fase y la acumulación de fluctuación lenta de fase a corto plazo dependen en mayor medida de la distribución de los elementos de correspondencia/anulación de correspondencia y multiplexación/demultiplexación en el HRM. Cuando no exista multiplexación de ODUk, es decir, si sólo existe la correspondencia y anulación de correspondencia de la cabida útil de CBRx, el caso más desfavorable será entonces aquél de 100 operaciones de correspondencia/anulación de correspondencia entre los SEC o las SSU adyacentes. Si hay multiplexación de ODUk, el caso más desfavorable sigue siendo el de 100 operaciones de correspondencia/anulación de correspondencia o multiplexación/demultiplexación entre los SEC o las SSU adyacentes, aunque también se debe considerar la cantidad y ubicación relativas de las correspondencias de CBRx con ODU1, la multiplexación de ODU1 a ODU2, y las multiplexaciones de ODU2 a ODU3.

Se han desarrollado dos HRM para los estudios de acumulación de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase a corto plazo descritos en el apéndice VIII/G.8251. Estos HRM, denominados *HRM 1* y *HRM 2*, respectivamente, son:

**HRM 1:** (CBR2G5→ODU1→CBR2G5) + (33 elementos idénticos en cascada CBR2G5→ODU1→ODU2→ODU3→ODU2→ODU1→CBR2G5).

**HRM 2:** (33 CBR2G5→ODU1→ CBR2G5) + [CBR2G5→ODU1+ (33 ODU1→ODU2→ODU1) + {ODU1→ODU2 + (33 ODU2→ODU3→ODU2) + ODU2→ODU1} + ODU1→ CBR2G5]

Se escogieron estos HRM para:

- 1) delimitar los tipos de supuestos que pueden ocurrir en la práctica para la distribución de los niveles superiores de multiplexación de ODUk en las islas OTN; y
- 2) delimitar la acumulación de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase a corto plazo que aparece en una red de islas OTN.

Estos modelos están destinados a ser supuestos de delimitación más que a representar configuraciones reales de red. El HRM 1 es un caso extremo, en el que los niveles superiores de multiplexación de ODUk (nivel superior de islas ODUk) se distribuyen uniformemente entre los niveles inferiores de islas ODUk. En este modelo, cada isla ODU1 (isla OTN en la que se hace corresponder CBR2G5 en ODU1) salvo la primera contiene exactamente una isla ODU2 (isla en la que ODU1 se multiplexa en ODU2), y cada isla ODU2 contiene exactamente una isla ODU3 (isla OTN en la que se multiplexa ODU2 en ODU3). Por otra parte, el HRM 2 representa el extremo

---

<sup>1</sup> El término "isla" no significa aquí lo mismo que en otra acepción en la que una isla se supone un par único de elementos de correspondencia/anulación de correspondencia o multiplexador/demultiplexador.

opuesto, donde los niveles superiores de multiplexación de ODU<sub>k</sub> se concentran en una de las islas de nivel inferior de ODU<sub>k</sub>. En él, todas las islas de ODU<sub>2</sub> se concentran en la isla final de ODU<sub>1</sub>, y todas las islas de ODU<sub>3</sub> lo hacen en la isla final de ODU<sub>2</sub>.

Los resultados del apéndice VIII/G.8251 indican que estos dos modelos delimitan la acumulación de fluctuación de fase y la acumulación lenta de fluctuación de fase a corto plazo, tanto en las cabidas útiles de CBR<sub>x</sub> como en las de ODU<sub>j</sub>[/i] presentes en una red de islas OTN.

## Apéndice VIII

### Análisis de acumulación de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase a corto plazo de la cabida útil de CBR<sub>x</sub> y ODU<sub>j</sub>[/i]

#### VIII.1 Introducción

En este apéndice se describe el análisis detallado de la acumulación de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase a corto plazo de la cabida útil de CBR<sub>x</sub> y ODU<sub>j</sub>[/i] que condujeron a los requisitos de transferencia de fluctuación de fase de ODC<sub>p</sub> de A.7.3, y al HRM del apéndice VII. Se desarrolló un modelo de simulación en el dominio de tiempo para la correspondencia de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase de la cabida útil y para la fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase debidas a la multiplexación de ODU<sub>k</sub>. En la cláusula VIII.2 se describen los detalles de esta simulación y en la cláusula VIII.3 se presentan los resultados de la simulación de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase a corto plazo. En estos análisis no se incluye ningún regenerador 3R entre el elemento de correspondencia/multiplexador y el elemento de anulación de correspondencia/demultiplexador. Esta fluctuación de fase es de alta frecuencia si se le compara con la anchura de banda máxima del ODC<sub>p</sub> de 300 Hz y, por ende, es fácilmente filtrada por éste.

#### VIII.2 Modelo de simulación

Se desarrolló un simulador en el dominio del tiempo a fin de poder evaluar la fase y la acumulación de fluctuación de fase en una red de islas OTN. La expresión *islas OTN* indica una correspondencia de una señal de cliente CBR<sub>x</sub> o ODU<sub>j</sub>[/i] en un ODU<sub>k</sub>P, transporte del ODU<sub>k</sub>P con posible multiplexación múltiple a ODUM ( $m > k$ ) y la demultiplexación subsiguiente, y la anulación de correspondencia del cliente de un ODU<sub>k</sub>P con un desincronizador o demultiplexador con ancho de banda y ganancia máxima especificados. Tal como se dijo antes, se ignora el efecto de los regeneradores 3R puesto que la fluctuación de fase de estos regeneradores es de alta frecuencia y puede ser filtrada fácilmente por el ODC<sub>p</sub>. Se supone que esta operación se puede repetir varias veces, es decir, que pueden existir múltiples islas OTN. Además, esta operación es recursiva ya que una isla OTN puede incluir otras y de mayor nivel. En la figura VIII.1-1<sup>2</sup> se presenta un esquema del modelo.

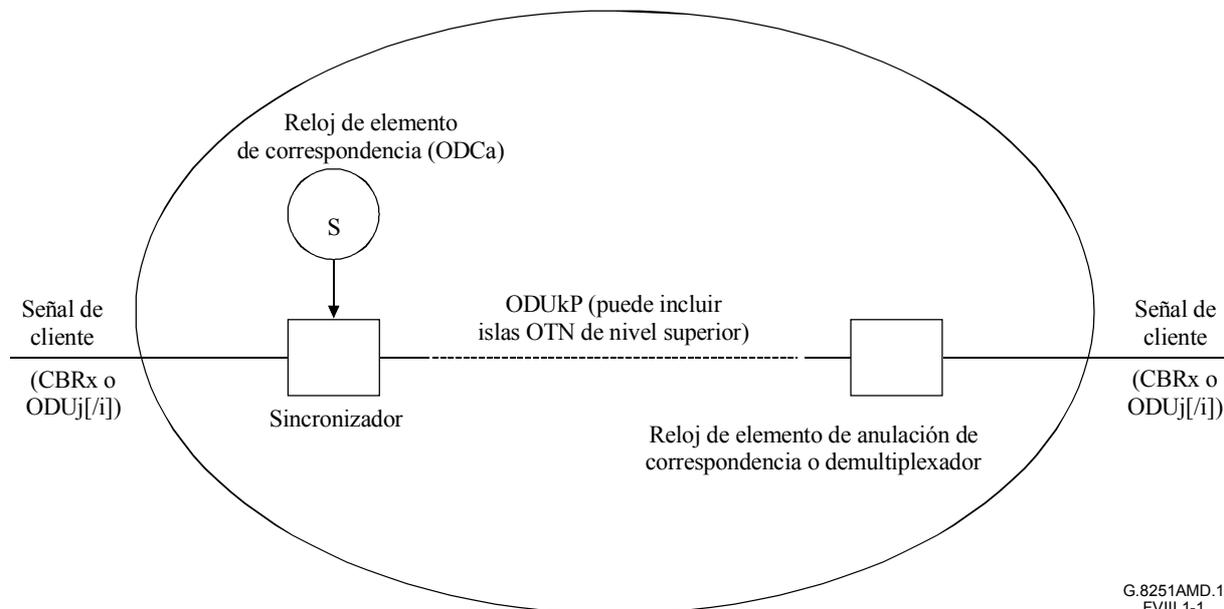
En las subcláusulas siguientes se describen las diferentes partes del modelo, a saber:

- El filtro de primer orden paso alto para la medición de fluctuación de fase.

---

<sup>2</sup> Nótese que en este contexto la expresión *isla OTN* no significa lo mismo que en los apéndices II y VII, pues aquí una isla OTN es un par único de elementos de correspondencia/anulación de correspondencia o multiplexador/demultiplexador y, por ende, una isla puede contener una o varias islas de nivel superior. En los apéndices II y VII, una isla OTN consta del elemento de correspondencia/anulación de correspondencia de CBR<sub>x</sub> y de todos los pares de multiplexación/demultiplexación entre esos dos elementos.

- El filtro de segundo orden con cresta de ganancia y régimen de caída de 20 dB/década (utilizado en el dispositivo de anulación de correspondencia (desincronizador) y en el demultiplexador).
- Un esquema de justificación de octeto +1/0/-1 para el elemento de correspondencia de CBRx o +2/+1/0/-1 para el de ODUj[i], incluida la posibilidad de justificación con espaciamiento desigual cuando se multiplexa ODU2 en ODU3.
- Un modelo general (combina el elemento de correspondencia y el de anulación de correspondencia, y la acumulación en islas múltiples).



G.8251AMD.1  
FVIII.1-1

NOTA – Obsérvese que esta isla OTN puede incluir una o varias islas OTN de nivel superior.

**Figura VIII.1-1/G.8251 – Diagrama del modelo para una isla OTN**

### VIII.2.1 Filtro de medición de fluctuación de fase paso alto, de primer orden

Este modelo es necesario para evaluar la fluctuación de fase acumulada en la señal del cliente a la salida de una isla OTN. La entrada al filtro es la fase de la señal del cliente acumulada hasta ese punto; la salida es la fluctuación de fase. En general, el filtro es de primer orden, paso alto y su ancho de banda a 3 dB depende de cada cliente. Para los clientes CBRx, el filtro de medición de fluctuación de fase se especifica en el cuadro 1/G.825; para los clientes ODUj[i], el filtro de medición de fluctuación de fase se especifica en el cuadro 1/G.8251. Un filtro de medición de fluctuación de fase es, en realidad, un filtro paso banda cuyas frecuencias de corte tanto superior (paso bajo) como inferior (paso alto) dependen de la velocidad real (y se incrementan cuando ésta se incrementa)<sup>3</sup>. Ahora bien, la medición de fluctuación de fase paso bajo tiene las frecuencias de corte en 20 MHz, 80 MHz y 320 MHz para los clientes de aproximadamente 2,5, 10, y 40 Gbit/s, respectivamente. Más adelante se verá que estas frecuencias corresponden a constantes de tiempo pequeñas si se les compara con el intervalo de tiempo de la simulación. Por lo tanto, no es necesario incluir en el modelo la parte paso bajo del filtro de medición de fluctuación de fase. La parte paso alto depende de si se simula la fluctuación de fase de banda ancha o la de banda alta. El modelo de

<sup>3</sup> Además, la parte paso bajo del filtro de medición de fluctuación de fase tiene un régimen de caída de 60 dB/década y es plana en la banda de paso (Butterworth).

filtro de primer orden, paso alto, considera ambos casos, siempre que se especifique el ancho de banda adecuado.

La función de transferencia para un filtro paso alto de primer orden es:

$$H(s) = \frac{s}{s+a} = 1 - \frac{a}{s+a} \quad (\text{VIII-1})$$

donde  $a = 2\pi f_0$ , y  $f_0$  es la frecuencia de corte a 3 dB del filtro. Se puede obtener un modelo discreto en el tiempo obteniendo antes un modelo para el filtro paso bajo representado por el término  $a/(s+a)$  en la ecuación (VIII-1), y sustrayéndolo de la entrada. La ecuación diferencial lineal de primer orden que corresponde al filtro paso bajo es:

$$\frac{dy}{dt} + ay(t) = au(t) \quad (\text{VIII-2})$$

donde  $y(t)$  es la salida y  $u(t)$  es la entrada del filtro. Ahora bien, sea  $T$  el intervalo de tiempo en la implementación numérica de este filtro,  $t = 0$  el inicio de un intervalo de tiempo y  $t = T$  el final de dicho intervalo. Se puede entonces convertir la ecuación anterior en una discreta en el tiempo, multiplicándola por el factor de integración  $e^{at}$  e integrando desde 0 hasta  $T$ . El resultado es:

$$e^{aT} y(T) - y(0) = \int_0^T a e^{at} u(t) dt \quad (\text{VIII-3})$$

Para terminar, se supone que el parámetro de entrada  $u(t)$  se puede modelar como una constante igual a  $u(0)$  en el intervalo de tiempo que va desde 0 hasta  $T$ , y por consiguiente:

$$y(T) = e^{-aT} y(0) + (1 - e^{-aT}) u(0) \quad (\text{VIII-4})$$

La ecuación (VIII-4) es un modelo discreto en el tiempo para el filtro paso bajo, representado por el término  $a/(s+a)$  de la ecuación (VIII-1). Se puede obtener un modelo discreto en el tiempo para el filtro paso alto sustrayendo la ecuación (VIII-4) de  $u(0)$ , a saber:

$$y(T) = -e^{-aT} y(0) + e^{-aT} u(0) \quad (\text{VIII-5})$$

La ecuación (VIII-5) es el modelo discreto en el tiempo para el filtro de medición de fluctuación de fase paso alto.

### VIII.2.2 Filtro paso bajo de segundo orden con cresta de ganancia y régimen de caída de 20 dB/década

Se necesita este modelo para el anulador de correspondencia (desincronizador) de CBRx y para el demultiplexador de ODUj[i]. La función de transferencia para un filtro paso bajo de segundo orden con régimen de caída de 20 dB/década es:

$$H(s) = \frac{2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (\text{VIII-6})$$

donde  $\omega_n$  es la frecuencia natural no amortiguada y  $\zeta$  es la relación de amortiguamiento. En los casos que interesan aquí  $\zeta > 1$ , es decir, el sistema está sobreamortiguado. La relación de amortiguamiento depende de la ganancia de cresta [véase la ecuación (IV.2-31) de la Rec. UIT-T G.8251] mediante la ecuación:

$$H_p \approx 1 + \frac{1}{4\zeta^2} \quad (\text{VIII-7})$$

donde  $H_p$  es la ganancia de cresta expresada como ganancia pura (la ganancia de cresta en dB es  $20 \log_{10} H_p$ ). La relación de amortiguamiento y la frecuencia natural no amortiguada se relacionan

con el ancho de banda a 3 dB de la siguiente manera [véase ecuación (IV.2-30) de la Rec. UIT-T G.8251]:

$$f_{3dB} = \frac{\omega_n}{2\pi} \left[ 2\zeta^2 + 1 + \sqrt{(2\zeta^2 + 1)^2 + 1} \right]^{1/2} \quad (\text{VIII-8})$$

donde  $f_{3dB}$  es el ancho de banda a 3 dB en Hz. Se pueden determinar la relación de amortiguamiento y la frecuencia natural no amortiguada utilizando las ecuaciones (VIII-7) y (VIII-8), con el ancho de banda a 3 dB y la ganancia de cresta respectivas.

La ecuación (VIII-6) es equivalente a la siguiente ecuación diferencial lineal de segundo orden:

$$\frac{d^2y}{dt^2} + 2\zeta\omega_n \frac{dy}{dt} + \omega_n^2 y(t) = 2\zeta\omega_n \frac{du}{dt} + \omega_n^2 u(t) \quad (\text{VIII-9})$$

donde, como en la cláusula anterior,  $y(t)$  es la salida y  $u(t)$  es la entrada del filtro. Se puede convertir la ecuación (VIII-9) en un modelo discreto en el tiempo mediante el método normalizado de variables de estado (véase [1]). Considérese una ecuación de segundo orden cuyo término izquierdo es idéntico al de la ecuación (VIII-9) pero cuyo término derecho es igual a la función de entrada  $u(t)$ . Defínase, para esta ecuación, las variables de estado  $x_1$  y  $x_2$ , donde  $x_1$  es igual a la salida de esta ecuación y  $x_2$  es la derivada de la salida. Se puede entonces obtener fácilmente la salida  $y(t)$  de la ecuación (VIII-9) como una combinación lineal de  $x_1$  y  $x_2$ , gracias a la linealidad de dicha ecuación. Las ecuaciones resultantes, escritas en notación matricial, son:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}u \\ y &= \mathbf{C}\mathbf{x} \end{aligned} \quad (\text{VIII-10})$$

donde:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_n^2 & -2\zeta\omega_n \end{bmatrix} \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} \omega_n^2 & 2\zeta\omega_n \end{bmatrix}$$

La obtención de un modelo discreto en el tiempo para la ecuación (VIII-6) es, por tanto, equivalente a encontrar un modelo discreto en el tiempo para la primera de las ecuaciones (VIII-10); se puede obtener fácilmente la función de salida  $y$  y el estado  $\mathbf{x}$  en un intervalo de tiempo utilizando la segunda de las ecuaciones (VIII-10).

Se puede calcular la solución  $\mathbf{x}(t)$  a la primera de las ecuaciones (VIII-10) de la misma manera que se obtiene la solución a la ecuación de primer orden correspondiente, es decir la ecuación (VIII-3). No obstante, el factor de integración es ahora una exponencial matricial  $e^{\mathbf{A}t}$ . Esta exponencial matricial se define utilizando la representación normal en serie de potencias para  $e^x$ , para la que se puede demostrar que converge para todas aquellas matrices cuyos componentes sean números complejos (y, entonces, para todos los sistemas que interesan aquí)<sup>4</sup>. El resultado, tras una integración como la anterior entre 0 y  $T$  donde,  $T$  es el intervalo de tiempo, es:

$$\mathbf{x}(T) = e^{\mathbf{A}T} \mathbf{x}(0) + \int_0^T e^{\mathbf{A}(T-t)} \mathbf{B}u(t) dt \quad (\text{VIII-11})$$

A partir de aquí, el proceso se diferencia del análisis de primer orden puesto que ahora es necesario aproximar la función de entrada  $u(t)$  como una expresión de primer orden en  $t$  al calcular la integral de la ecuación (VIII-11), en lugar de una expresión de orden cero como se hizo al pasar de la ecuación (VIII-3) a la ecuación (VIII-4). Esto se hace porque la entrada al filtro de sincronizador es, en general, una función en diente de sierra "irregular", es decir, la función, si se desprecia el ruido

<sup>4</sup> La prueba de esta característica es simple para el caso de una matriz  $\mathbf{A}$  diagonalizable.

de reloj y de regenerador de orden inferior, parece una función lineal en el tiempo que presenta saltos cada vez que hay relleno. Es necesaria una aproximación lineal en la integral para poder representar convenientemente la fase no filtrada (que es la entrada al filtro del sincronizador), puesto que se desea utilizar un intervalo de tiempo correspondiente al tiempo transcurrido entre las oportunidades de relleno o, al menos, no muy inferior (de tal manera que los tiempos de ejecución sean razonables). Nótese que se podría, en principio, utilizar aproximaciones de orden superior (la aproximación lineal es, en general, una aproximación de tipo trapezoidal).

Una interpolación lineal de la entrada  $u(t)$  entre 0 y  $T$  viene dada por:

$$u(t) \approx u(0) + \frac{u(T) - u(0)}{T} t \quad (\text{VIII-12})$$

Si se introduce la ecuación (VIII-12) en la ecuación (VIII-11) y se integra (teniendo en cuenta que las funciones exponenciales matriciales pueden integrarse como funciones exponenciales ordinarias siempre que se preserve el orden de matrices no conmutativas (en este caso  $\mathbf{A}$  y  $\mathbf{B}$ ) se obtiene:

$$\mathbf{x}(t) = e^{\mathbf{A}T} \mathbf{x}(0) + (e^{\mathbf{A}T} - \mathbf{I}) \mathbf{A}^{-1} \mathbf{B} u(0) + (e^{\mathbf{A}T} - \mathbf{I}) \mathbf{A}^{-2} \mathbf{B} \frac{u(T) - u(0)}{T} - [u(T) - u(0)] \mathbf{A}^{-1} \mathbf{B} \quad (\text{VIII-13})$$

donde  $\mathbf{I}$  es la matriz identidad (y es de  $2 \times 2$ ). Nótese que los dos primeros términos de la ecuación (VIII-13) son aquellos que resultarían de una aproximación de orden cero para la entrada; mientras que los dos términos finales resultan del término lineal en la aproximación.

A fin de completar la discretización de la ecuación (VIII-10), se necesita una expresión explícita para la exponencial matricial  $e^{\mathbf{A}t}$ . Esto se puede obtener si se observa que la transformada de Laplace de  $e^{\mathbf{A}t}$  viene dada por:

$$\mathbf{L}(e^{\mathbf{A}t}) = (s\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \quad (\text{VIII-14})$$

donde  $\mathbf{L}$  es la transformada de Laplace. Se puede entonces evaluar la exponencial matricial  $e^{\mathbf{A}t}$  calculando la inversa de la matriz  $s\mathbf{I} - \mathbf{A}$ , y estimando la transformada inversa de Laplace de cada una de las componentes de dicha matriz (es posible demostrar que la transformada de Laplace de una función exponencial matricial es igual a la matriz de las transformadas de Laplace de cada una de las componentes). El resultado es:

$$e^{\mathbf{A}T} = \begin{bmatrix} e^{-aT} \cosh bT + \frac{a}{b} e^{-aT} \sinh bT & \frac{1}{b} e^{-aT} \sinh bT \\ -\frac{a^2 - b^2}{b} e^{-aT} \sinh bT & e^{-aT} \cosh bT - \frac{a}{b} e^{-aT} \sinh bT \end{bmatrix} \quad (\text{VIII-15})$$

donde:

$$\begin{aligned} a &= \zeta \omega_n \\ b &= \omega_n \sqrt{\zeta^2 - 1} \\ a^2 - b^2 &= \omega_n^2 \end{aligned} \quad (\text{VIII-16})$$

El filtro discreto en el tiempo viene dado por las ecuaciones (VIII-13), (VIII-15), y la segunda de las ecuaciones (VIII-10). Dado el estado  $\mathbf{x}(0)$  y la entrada  $u(0)$  al comienzo de un intervalo de tiempo, se utilizan las ecuaciones (VIII-13) y (VIII-15) para obtener el estado  $\mathbf{x}(T)$  al final de dicho intervalo. Se utiliza entonces la segunda de las ecuaciones (VIII-10) con el fin de obtener la función de salida del filtro  $y(t)$ .

### VIII.2.3 Modelo de elemento de correspondencia/multiplexador

Se modela un esquema de justificación (relleno) de octeto +1/0/-1 ó +2/+1/0/-1 para el elemento de correspondencia o el multiplexador, respectivamente. Para poder decidir si se efectúa una justificación positiva en una oportunidad de justificación, se controla el relleno de la memoria intermedia y la cantidad total de justificaciones hasta ese punto (de una manera independiente para el elemento de correspondencia/multiplexador de cada isla). Sea  $\phi_r(t)$  la fase del reloj de lectura (en UI) en el instante  $t$ ,  $\phi_w(t)$  la fase del reloj de escritura (en UI) en el instante  $t$ ,  $B(t)$  el relleno de la memoria intermedia de sincronizador (en UI) en el instante  $t$ ,  $B_0$  el relleno inicial de la memoria intermedia (en UI) en el instante cero,  $n_{stuff}(t)$  la suma algebraica de las justificaciones de octeto hasta el instante  $t$  (pero sin incluirlo), y  $U$  la cantidad de intervalos unitarios en un octeto (es decir, 8). Entonces, se cumple que:

$$B(t) = \phi_w(t) - \phi_r(t) + B_0 + Un_{stuff}(t) \quad (\text{VIII-17})$$

Si  $B(t)$  es mayor, en el sentido positivo, que el umbral superior de memoria intermedia de elemento de correspondencia/multiplexador, se efectúa una justificación negativa<sup>5</sup>. De esta manera,  $n_{stuff}$  disminuye en 1. Por otra parte, si  $B(t)$  es superior en el sentido negativo al umbral inferior de memoria intermedia del elemento de correspondencia/multiplexador, se efectúa una justificación positiva. Siendo así,  $n_{stuff}$  se incrementa en 1. Nótese que  $n_{stuff}$  es necesario para calcular la función de entrada de fase al desincronizador (que se describirá más adelante).

La fase del reloj de escritura es igual a la fase de salida de la isla anterior en este nivel (es decir, si la isla actual es una isla ODUk, es la salida de fase de la isla ODUk anterior en la cadena actual) con cualquier fluctuación de fase acumulada de dicha isla. La fase de reloj de escritura de la primera isla en la cadena vigente es igual a la fase de la señal de cliente a la entrada de esa isla. Cuando la fase se mide con respecto a la velocidad nominal de la señal de cliente,  $f_0$  (en UI/s), que es una entrada, y cuando se permite al cliente tener un desplazamiento de frecuencia,  $y_{client}$ , en relación con  $f_0$  (en ppm), la fase del reloj de escritura para la primera isla en la cadena vigente será:

$$\phi_{w, island 1}(t) = (1,0 \times 10^{-6}) U f_0 y_{client} t \quad (\text{VIII-18})$$

El modelo de simulación permite fijar el desplazamiento de frecuencia de cliente a la entrada o escogerlo aleatoriamente a partir de una distribución uniforme entre  $\pm y_{client, max}$ , donde  $y_{client, max}$  se fija a la entrada.

Al calcular la fase del reloj de lectura, la tara fijada de capa de servidor se desprecia. Además, en el caso de multiplexación, el reloj de lectura se refiere solamente a la parte de cabida útil de servidor disponible para el cliente en cuestión (y no a aquella utilizada por otros clientes multiplexada con ésta). Las frecuencias nominales efectivas del cliente y del servidor son, por lo tanto, idénticas. Sin embargo, se permite al reloj servidor (reloj de lectura) tener un desplazamiento de frecuencia  $y_{clock}$  relativo a su frecuencia nominal. La fase del reloj de lectura es entonces:

$$\phi_{read}(t) = (1,0 \times 10^{-6}) f_0 y_{clock} t \quad (\text{VIII-19})$$

La fase no filtrada a la entrada del desincronizador es igual a la fase del reloj de lectura, más la fase debida a cualquier multiplexación/demultiplexación del servidor en señales de más alto nivel, más la fase debida a las justificaciones de octeto.

$$\phi_{unfilt}(t) = \phi_{read}(t) - Un_{stuff}(t) + \phi_{mux/demux}(t) \quad (\text{VIII-20})$$

<sup>5</sup> El convenio de signos es el siguiente: cuando se transmite un octeto adicional, si  $B(t)$  es mayor que el umbral superior, se considera como justificación positiva, mientras que la transmisión de un octeto menos, que se produce cuando  $B(t)$  es menor que el umbral inferior, se considera como justificación positiva.

Obsérvese que el término  $Un_{stuff}(t)$ , que tiene en cuenta las justificaciones, se encuentra en las ecuaciones (VIII-17) y (VIII-20) con signos opuestos, porque una justificación positiva produce un octeto extra en la salida y un octeto menos en la memoria intermedia, y viceversa en el caso de una justificación negativa.

La fase no filtrada dada por la ecuación (VIII-20) es una entrada al modelo del desincronizador. Éste es un filtro de segundo orden con cresta de ganancia, tal como se describió en la cláusula anterior. El intervalo de tiempo escogido para este modelo se discutirá más adelante.

Para obtener la fase debida a cualquier multiplexación/demultiplexación del servidor en señales de nivel superior,  $\phi_{mux/demux}$ , considérese primero el caso simple de un CBR2G5 que se hace corresponder en ODU1, que luego se multiplexa (hace corresponder) en ODU2, que a su vez se multiplexa en ODU3. En el elemento de correspondencia de CBR2G5 a ODU1, las decisiones de relleno se basan en las diferencias entre el reloj de CBR2G5 y el de correspondencia. Estas decisiones son, por consiguiente, independientes de cualquier fluctuación de fase debida a las correspondencias de ODU1 a ODU2, o de ODU2 a ODU3. En el elemento de anulación de correspondencia de ODU1 a CBR2G5, el reloj de ODU1 recuperado incluye toda fluctuación de fase debida a las correspondencias de ODU1 a ODU2, y de ODU2 a ODU3; esta fase se añade a la fase originada por las decisiones de relleno hechas en el elemento de correspondencia de CBR2G5 a ODU1, y la suma se filtra mediante el desincronizador de CBR2G5. A continuación, la consideración del reloj de ODU1 recuperado en el elemento de anulación de correspondencia de ODU1 a CBR2G5 permite argumentar por analogía que éste tiene una fluctuación de fase debida al proceso de relleno de ODU1 a ODU2 en el elemento de correspondencia de ODU1 a ODU2, más toda fluctuación de fase en ODU2 debida a que se le hace corresponder en ODU3. Ambos procesos se filtran en el desincronizador (demultiplexador) de ODU2 a ODU1. Para terminar, el reloj recuperado de ODU2 en el elemento de anulación de correspondencia de ODU2 a ODU1 tiene una fluctuación de fase causada por el proceso de relleno de ODU2 a ODU3; estos rellenos se filtran mediante el desincronizador de ODU3 a ODU2.

Se puede entonces tratar cada nivel de multiplexación independientemente de los niveles inferiores (por ejemplo, la multiplexación de ODU1 en ODU2 es independiente de la multiplexación de CBR2G5 en ODU1). El simulador representará el orden de las operaciones de multiplexación, es decir, la distribución de las islas (fácilmente realizable si se utiliza, por ejemplo, el lenguaje C). En cualquier isla, las decisiones de relleno se efectúan basándose en la diferencia de fase entre los relojes de cliente y de elemento de correspondencia. La fase se acumula dentro de una isla al pasar del elemento de correspondencia al de anulación de correspondencia, cuando existan niveles superiores de correspondencia/anulación de correspondencia. Esta fase se añade a la fase causada por el relleno en el elemento anulador de correspondencia, y el total se filtra mediante el desincronizador. El proceso completo se implementa en cada nivel.

Como la simulación se implementa en tiempo discreto, es recomendable que las oportunidades de relleno ocurran en instantes iguales a múltiplos enteros de los intervalos de tiempo. No obstante, no es fácil lograrlo puesto que los intervalos entre oportunidades de relleno para los diferentes niveles de correspondencia no son múltiplos enteros entre ellos. Esto se debe a que la duración de la trama OTU1/ODU1/OPU1 de 48,971  $\mu$ s (véase la Rec. UIT-T G.709/Y.1331) es ligeramente superior a 4 veces la duración de la trama OTU2/ODU2/OPU2 de 12,191  $\mu$ s, que a su vez es ligeramente superior a 4 veces la de la trama OTU3/ODU3/OPU3 de 3,035  $\mu$ s. Estas duraciones de trama no se relacionan en múltiplos exactos de 4 porque, cuando se multiplexan 4 ODU<sub>k</sub> en ODU<sub>m</sub> ( $m = k+1$ ), cada ODU<sub>k</sub> tiene su tara OPU y ODU y, además, el ODU<sub>m</sub> tiene su tara OPU y ODU. El interés principal aquí se centra, no obstante, en el efecto de la fluctuación de fase en tiempo de espera y la fluctuación lenta de fase a corto plazo, es decir, los rellenos variables causados por las decisiones de relleno en los elementos de correspondencia/multiplexadores. El efecto de la tara fija interesa menos, puesto que ésta produce una variación de fase de alta frecuencia, fácilmente filtrable por los desincronizadores. Se puede normalizar el proceso de correspondencia a todos los

niveles a una base común de tiempo, basándose en la duración de la trama OTU1/ODU1/OPU1, si se desprecian las taras ODU y OPU (salvo para los rellenos reales). De esta manera, sólo se necesita ajustar los desplazamientos de frecuencia máximos positivo y negativo (es decir, la gama aceptable de desplazamientos de frecuencia) para los relojes de elemento de correspondencia ODU1, ODU2, y ODU3, de tal manera que las gamas de las relaciones de relleno para las correspondencias de CBRx en ODU1, ODU1 en ODU2, y ODU2 en ODU3 sean las adecuadas. Se pueden efectuar estos cálculos mediante las relaciones dadas en el apéndice V/G.709/Y.1331 (Enmienda 1) [véase la ecuación (V-3)/G.709/Y.1331].

Gracias a la anterior aproximación, la duración "efectiva" de la trama ODU2 en el simulador se convierte en la cuarta parte de la duración de la trama ODU1. Un ODU1 multiplexado en un ODU2 obtiene una oportunidad de relleno cada 4 tramas ODU2, y el intervalo de tiempo entre oportunidades de relleno para este proceso es igual al tiempo necesario para la correspondencia de CBR2G5 en ODU1 (es decir, la duración de la trama ODU1 ó 48,971  $\mu$ s). De la misma manera, la duración "efectiva" de la trama ODU3 es la cuarta parte de la duración "efectiva" de la trama ODU2. Una ODU2 multiplexada en una ODU3 obtiene 4 oportunidades de relleno cada 16 tramas ODU3. Se debe entonces escoger la unidad de tiempo básica en el simulador como igual a la duración "efectiva" de la trama ODU3, es decir 1/16 de la duración de la trama ODU1 o  $(48,971)/(16) \mu$ s = 3,06069  $\mu$ s. El intervalo de tiempo de la simulación no puede ser superior a éste, pero puede tener que ser inferior si cualquiera de los filtros (filtros de medición de sincronizador o de fluctuación de fase) tiene constantes de tiempo menores. Si el intervalo de tiempo debe ser inferior a la duración "efectiva" de la trama ODU3, se le escoge como un submúltiplo entero de este intervalo de tiempo. El intervalo de tiempo de la simulación es, en particular, el submúltiplo mayor de la duración "efectiva" de la trama ODU3, es decir, inferior a 0,1 veces la menor constante de tiempo de filtro. Se permiten los rellenos para la correspondencia de CBR2G5 en ODU1, y ODU1 en ODU2 cada 16 intervalos de tiempo básicos ("efectivos") de la trama ODU3. Los rellenos para la correspondencia de ODU2 en ODU3 se permiten cada cuatro de estos 16 intervalos de tiempo básicos.

Al multiplexar ODU2 en ODU3, no es necesario que las oportunidades de relleno estén igualmente espaciados. En la Rec. UIT-T G.709/Y.1331 se describe con detalle la correspondencia. Cuando se multiplexa una ODU2 en una ODU3, aquélla obtiene cuatro de cada 16 oportunidades de relleno en 16 tramas ODU3 sucesivas. Las otras 12 oportunidades de relleno pasan a las demás ODU1 y/o ODU2 que son multiplexadas. Ahora bien, las 4 tramas específicas que obtiene una ODU2 determinada pueden no estar igualmente espaciadas, en especial si se permite la multiplexación de ODU1 en ODU3, puesto que el cliente ODU1 necesita solamente una oportunidad de relleno por cada 16 tramas ODU3. Las conexiones de cliente ODU1 y ODU2 no siempre se establecerán simultáneamente; y no existe garantía, entonces, de que cuando se desee una conexión ODU2 (y se disponga de ancho de banda) las 4 tramas ODU3 que disponen de oportunidades de relleno estén igualmente espaciadas. Es fundamental que el ancho de banda pueda utilizarse en casos de oportunidades de relleno desigualmente espaciadas. Se modela entonces la posibilidad de oportunidades de relleno no igualmente espaciadas asociando a cada isla (elemento de correspondencia) un conjunto de longitud 16. Cada elemento de este conjunto indica si un relleno está o no disponible en dicha trama ODU3 efectiva en cada conjunto de 16. El simulador inicializa, para cada isla, al comienzo de la ejecución, las tramas particulares (efectivas) ODU3 que corresponden a las oportunidades de relleno. Se puede hacer la inicialización de tres maneras diferentes, a saber:

- 1) selección aleatoria;
- 2) concentrada; y
- 3) igualmente espaciada.

Cuando se escoge la primera de ellas, cada isla tendrá muy probablemente oportunidades de relleno en tramas ODU3 diferentes (incluso para correspondencias de CBR2G5 en ODU1 o de ODU1

en ODU2, para las cuales existe una oportunidad de relleno cada 16 oportunidades "efectivas" ODU3; esta oportunidad en particular será diferente para cada isla).

#### VIII.2.4 Modelo general

Se combinaron los modelos descritos en VIII.2.1 a VIII.2.3 en uno general para la acumulación de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase en una red de islas OTN. Se supone que la señal de cliente de entrada a la primera isla no tiene fluctuación de fase, pero que puede existir un desplazamiento de frecuencia a partir de la frecuencia nominal (que se puede escoger aleatoriamente dentro de una gama). La salida de fase de cada isla, filtrada por el elemento anulador de correspondencia/demultiplexador, es la fase de entrada a la isla siguiente en el mismo nivel (el reloj de lectura para dicha isla). La salida de cada isla puede también ser separadamente la entrada a un filtro de medición de fluctuación de fase paso alto que evalúe la fluctuación de fase de esa isla. Tanto los valores de cresta a cresta como el valor cuadrático medio (más exactamente, la desviación típica) de la fase y la fluctuación de fase se calculan para las salidas de cada isla. Estos cálculos se efectúan cuando ha transcurrido un intervalo inicial de tiempo (especificado en la entrada) de forma que se atenúe cualquier transitorio inicial (este intervalo de tiempo se puede determinar a partir del conocimiento de las constantes de tiempo del filtro y se puede verificar mediante una prueba inicial en la que se examinen formas de onda de muestra). Por otra parte, se pueden salvar en un fichero todas las salidas de formas de onda de fase (filtradas y no filtradas) y fluctuación de fase de todas las islas, aunque en general esto no se hace en el caso de un gran número de islas y un tiempo apreciable de simulación, ya que puede ser necesario un espacio de almacenamiento de disco bastante importante.

La fase y la fluctuación de fase cresta a cresta se evalúan registrando en cada intervalo de tiempo, tras el periodo de inicialización, las muestras mínimas y máximas de fase y fluctuación de fase hasta dicho punto. La desviación típica (RMS) se evalúa como la raíz cuadrada de la varianza típica de la muestra, que viene dada por (se supone en este cálculo que la cantidad de intervalos de tiempo es suficientemente grande como para que la diferencia entre la cantidad de muestras y la cantidad de muestras menos uno (cantidad de grados de libertad) pueda ser despreciado).

$$\sigma_{\phi}^2 = \frac{1}{n - n_0} \sum_{j=n_0+1}^n \phi^2(jT) - \left( \frac{1}{n - n_0} \sum_{j=n_0+1}^n \phi(jT) \right)^2 \quad (\text{VIII-21})$$

Donde  $\phi(jT)$  es la fase o fluctuación de fase en el intervalo de tiempo  $j^{\text{th}}$ ,  $\sigma_{\phi}^2$  es la varianza de la muestra,  $n$  es la cantidad de intervalos de tiempo, y  $n_0$  es el número de intervalos de tiempo durante el periodo de inicialización.

Es necesario un generador numérico aleatorio para el modelo de simulación. En los casos de simulaciones efectuadas aquí, se utilizó un generador numérico aleatorio basado en una combinación de un algoritmo lineal congruente y un registro de desplazamiento. El periodo de este generador es de orden  $(2^{32} - 1)(2^{48} - 1) = 1,2 \times 10^{24}$ . En todos los casos, se efectuaron múltiples réplicas independientes grabando el estado del generador numérico aleatorio en un archivo y utilizándolo para inicializar el generador de la réplica subsiguiente. El número de muestras aleatorias, es decir, la cantidad de veces que ha sido invocado el generador, se contó (usando dos variables enteras de 32-bit) de tal manera que se pudiera siempre verificar que no se estaba agotando la provisión de muestras aleatorias.

El modelo de simulación se implementó en un programa escrito en lenguaje C.

### VIII.3 Resultados de la simulación de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase a corto plazo

Se efectuaron simulaciones para cada uno de los dos HRM descritos en el apéndice VII. En la cláusula anterior se indicó que no era necesario tener oportunidades de justificación igualmente espaciadas para la multiplexación de ODU2 en ODU3. Se consideraron tres tipos de casos, a saber:

- Oportunidades de relleno escogidas aleatoriamente en cada correspondencia ODU2→ODU3.
- Oportunidades de relleno concentradas para cada correspondencia ODU2→ODU3 (es decir, por cada conjunto de 16 tramas ODU3, una ODU2 obtiene 4 oportunidades de relleno una tras otra, seguida por 12 tramas sin oportunidad de relleno).
- Oportunidades de relleno equiespaciadas (una cada 4 tramas ODU3).

El primer caso es el más realista, el segundo el más conservador y el tercero el menos conservador.

La condición más desfavorable puede entonces ocurrir cuando se utilice un esquema de justificación positivo/cero/negativo, a efectos de acumulación de fluctuación de fase y fluctuación lenta de fase, cuando el desplazamiento de frecuencia entre los relojes de cliente y de elemento de correspondencia sea pequeño pero no cero, y lo suficientemente pequeño para que la tasa de relleno resultante sea pequeña en comparación con el ancho de banda del desincronizador. Se consideran entonces los dos tipos de casos siguientes.

- Relojes de cliente y de elemento de correspondencia en funcionamiento libre cuyos desplazamientos de frecuencia se encuentran dentro de las tolerancias de frecuencia requeridas (es decir,  $\pm 20$  ppm, pero teniendo en cuenta el hecho de que se desprecia la tara fija de ODUk).
- Relojes de cliente y de elemento de correspondencia en funcionamiento libre y desplazamientos de frecuencia de  $\pm 0,05$  ppm.

En este último caso, el desplazamiento máximo de frecuencia entre cliente y servidor es de 0,1 ppm. Para la correspondencia entre CBR2G5 y ODU1 (y, por ende, aproximadamente para la de ODU1 en ODU2) esto da lugar a un valor máximo de la frecuencia media de relleno de 31 Hz, muy inferior a los 300 Hz de ancho de banda del desincronizador. Para demostrarlo, sea  $y$  el desplazamiento de frecuencia entre los relojes de cliente y OPU1 (para un elemento de correspondencia en particular), y  $f_0$  la frecuencia nominal de OPU1. La frecuencia a la cual se acumula entonces el exceso de fase (positivo o negativo) es  $yf_0$ . Puesto que la unidad de relleno es 1 octeto, u 8 UI (positiva o negativa), el periodo de tiempo medio entre rellenos es aproximadamente  $8/yf_0$ , y la frecuencia media de relleno es  $yf_0/8$ . Si la magnitud del desplazamiento máximo de frecuencia entre cliente y OPU1 es  $y_{\max} = 0,1$  ppm, el valor máximo de la frecuencia media de relleno viene dado por

$$f_{stuff, \max} = (0,1 \times 10^{-6})(2,488320 \times 10^9)/8 = 31 \text{ Hz} \quad (\text{VIII-22})$$

Para la correspondencia de ODU2 en ODU3, en el mejor de los casos la frecuencia será 4 veces ésta, o 124 Hz, que está aún dentro de los 300 Hz del ancho de banda del desincronizador.

Si se tiene en cuenta entonces que existen 2 HRM, 3 conjuntos de suposiciones acerca de las oportunidades de relleno, y 2 conjuntos de suposiciones sobre las precisiones de reloj, se pueden considerar 12 casos en total, que se resumen en el cuadro VIII-1 (denominados casos 1-12).

En el cuadro VIII.1 se indica también la cantidad de réplicas independientes de la simulación para cada caso. Si se efectúan 300 réplicas independientes, es posible obtener un buen nivel de confianza estadística para el percentil 95° de una distribución [es decir, si se ponen en orden ascendente 300 muestras independientes de una población, un intervalo de confianza del 99% para el percentil 95° de la distribución para esta población viene dado por el intervalo entre las muestras

275 y 294 (las 7ª y 26ª muestras más grandes)]. Este resultado se deriva del hecho de que si se seleccionan independientemente las muestras y todas tienen la misma distribución, se obtienen intervalos de confianza razonablemente cortos para un percentil de la distribución a partir de una distribución binomial (en [2] se pueden encontrar más detalles al respecto). Lo cierto es que, debido a restricciones en recursos de cómputo, sólo se han completado las 300 réplicas para los casos 9-12. Para los demás, es aún posible obtener intervalos de confianza del 99% para el percentil 95º de la distribución respectiva; no obstante, los intervalos serán mayores que aquéllos con 300 réplicas puesto que la cantidad de réplicas es menor (véase el cuadro VIII.3).

**Cuadro VIII.1/G.8251 – Resumen de los casos de simulación**

| <b>Caso de simulación</b> | <b>Modelo ficticio de referencia</b> | <b>Oportunidades de relleno</b> | <b>Desplazamientos de reloj</b>                              | <b>Número de réplicas independientes de simulación</b> |
|---------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|--|--|
| 1                         | HRM 1                                | Escogidas aleatoriamente        | Aleatorios dentro de las precisiones de funcionamiento libre | 271  |
| 2                         | HRM 2                                | Escogidas aleatoriamente        | Aleatorios dentro de las precisiones de funcionamiento libre | 271  |
| 3                         | HRM 1                                | Escogidas aleatoriamente        | Aleatorios dentro de $\pm 0,05$ ppm                          | 271  |
| 4                         | HRM 2                                | Escogidas aleatoriamente        | Aleatorios dentro de $\pm 0,05$ ppm                          | 271  |
| 5                         | HRM 1                                | Concentradas                    | Aleatorios dentro de las precisiones de funcionamiento libre | 191  |
| 6                         | HRM 2                                | Concentradas                    | Aleatorios dentro de las precisiones de funcionamiento libre | 191  |
| 7                         | HRM 1                                | Concentradas                    | Aleatorios dentro de $\pm 0,05$ ppm                          | 255  |
| 8                         | HRM 2                                | Concentradas                    | Aleatorios dentro de $\pm 0,05$ ppm                          | 255  |
| 9                         | HRM 1                                | Equiespaciadas                  | Aleatorios dentro de las precisiones de funcionamiento libre | 300  |
| 10                        | HRM 2                                | Equiespaciadas                  | Aleatorios dentro de las precisiones de funcionamiento libre | 300  |
| 11                        | HRM 1                                | Equiespaciadas                  | Aleatorios dentro de $\pm 0,05$ ppm                          | 300  |
| 12                        | HRM 2                                | Equiespaciadas                  | Aleatorios dentro de $\pm 0,05$ ppm                          | 300  |

En el cuadro VIII.2 se indican los parámetros restantes para los casos de simulación. Estos parámetros son comunes a todos los casos. Nótese que el tiempo de inicialización indicado en el cuadro VIII.2 es igual al tiempo necesario para que se atenúen los transitorios iniciales antes del comienzo del cálculo de cualquier fluctuación de fase cresta a cresta o de TDEV.

**Cuadro VIII.2/G.8251 – Parámetros comunes a todos los casos de simulación**

| Parámetro   | Valor   |
|---|---|
| Mecanismo de relleno  | Relleno de octeto +/-0                                  |
| Orden del desincronizador/demultiplexador                                     | Segundo orden, con régimen de caída de 20 dB/década     |
| Ancho de banda a 3 dB del desincronizador/demultiplexador                     | 300 Hz  |
| Cresta de ganancia del desincronizador/demultiplexador                        | 0,1 dB  |
| Relación de amortiguamiento del desincronizador/demultiplexador               | 4,6465 (corresponde a una cresta de ganancia de 0,1 dB) |
| Condiciones iniciales de la memoria intermedia de elemento de correspondencia | Aleatorio   |
| Intervalo de tiempo   | $3,0607 \times 10^{-6}$ s                               |
| Tiempo de simulación  | 31 s  |
| Tiempo de inicialización  | 1,0 s   |

### VIII.3.1 Resultados para la acumulación de fluctuación de fase de banda ancha

En esta cláusula se presentan resultados para la acumulación de fluctuación de fase de banda ancha de cresta a cresta para el cliente CBR2G5 y, con el modelo 2, para el cliente ODU1. Los resultados de acumulación de fluctuación de fase de ODU1 con el modelo 2 son los de la isla final ODU1; en esta Recomendación, la ODU1 se transporta a través de 33 islas ODU2 seguidas de una isla ODU2 que contiene 33 islas ODU3.

Se obtiene para cada caso un intervalo de confianza del 99% para el percentil 95° ordenando los resultados de fluctuación de fase cresta a cresta desde el menor hasta el mayor. El intervalo de confianza de 99% para el percentil 95° de la distribución cae entonces entre las muestras cuyos índices se proporcionan (después de ordenarlos) en el cuadro VIII.3. Como ya se dijo, esto se debe a que los intervalos de confianza se pueden obtener a partir de una distribución binomial; en [2] se pueden encontrar más detalles (se aplica el mismo resultado para obtener los intervalos de confianza para el error de intervalo de tiempo máximo (MTIE) en la cláusula II.5/G.810).

**Cuadro VIII.3/G.8251 – Amplitud del intervalo de confianza de 99% para el percentil 95° de una distribución, con diversas cantidades de muestras**

| Número de muestras | Índice de muestra para el extremo inferior del intervalo de confianza del 99% | Índice de muestra para el extremo superior del intervalo de confianza del 99% |
|--------------------|---|---|
| 300                | 275   | 294   |
| 271                | 248   | 266   |
| 255                | 234   | 251   |
| 191                | 174   | 189   |

NOTA – Se supone que las muestras han sido ordenadas de menor a mayor.

### **VIII.3.1.1 Resultados de acumulación de fluctuación de fase de banda ancha para el cliente CBR2G5**

En las figuras VIII.3-1 a VIII.3-12 se presentan los resultados para la acumulación de fluctuación de fase de banda ancha para el cliente CBR2G5, para los casos 1-12, respectivamente. Se muestra la acumulación en 34 islas ODU1 (ésta es la cantidad de islas ODU1 para cada caso; el resto son islas ODU2 y ODU3).

Lo primero que cabe destacar es que la acumulación de fluctuación de fase cresta a cresta está dentro del límite de red de 1,5 UIpp de la Rec. UIT-T G.825, para todos los casos. El caso 7 es el más desfavorable, donde el máximo del valor más elevado de la fluctuación de fase cresta a cresta (máximo del valor más elevado del intervalo de confianza del 99% para el percentil 95°) es aproximadamente 1,08 UIpp. A continuación se discuten algunas tendencias generales encontradas en los resultados.

Si se examinan primero los casos del modelo 1 (figuras VIII.3-1, VIII.3-3, VIII.3-5, VIII.3-7, VIII.3-9 y VIII.3-11), se puede observar que la fluctuación de fase cresta a cresta se incrementa en las primeras islas ODU1, para luego permanecer a un nivel casi constante en las demás. Hay alguna fluctuación alrededor de ese nivel casi constante, pero su amplitud es menor que el incremento inicial. Si se comparan ahora los casos de tolerancia holgada de reloj (casos 1, 5, y 9, en las figuras VIII.3-1, VIII.3-5 y VIII.3-9, respectivamente) con los casos de tolerancia rigurosa de reloj (casos 3, 7 y 11, en figuras VIII.3-3, VIII.3-7 y VIII.3-11, respectivamente), se puede observar que la fluctuación de fase cresta a cresta es mayor en los casos de tolerancia rigurosa de reloj, y la cantidad de fluctuación es menor. Por otra parte, el incremento en el nivel casi constante se produce con mayor rapidez en los casos de tolerancia rigurosa de reloj, en aproximadamente 3 islas mientras que lo hace entre 4 y 10 islas en los casos de tolerancia holgada de reloj (en estos últimos, al ser el incremento más gradual, la definición del momento en que se alcanza el nivel constante es más subjetiva).

La fluctuación de fase es mayor en los casos de tolerancia rigurosa de reloj porque en ellos los rellenos ocurren a frecuencias suficientemente bajas para que sean filtradas independientemente por el desincronizador. En estos casos, la fluctuación de fase máxima aparece cuando la fluctuación de fase alcanza su máximo en niveles sucesivos alineados. Este valor máximo es aproximadamente 1,22 UIpp, que se puede calcular de la siguiente manera: primero, se evalúa la fluctuación de fase entre cero y el máximo causada por una justificación de 8 UI para la correspondencia de CBR2G5 a ODU1, filtrada por un desincronizador de filtro paso bajo a 300 Hz y un filtro de medición de fluctuación de fase paso alto a 5 kHz. Después, se calcula la fluctuación de fase entre cero y el máximo debida a una justificación de 8 UI para la correspondencia de ODU1 a ODU2, filtrada por dos desincronizadores paso bajo de 300 Hz (ODU2 a ODU1 y ODU1 a CBR2G5) y un filtro de medición de fluctuación de fase paso bajo a 5 kHz. Se suman estos dos resultados, suponiendo que en el caso más desfavorable los dos máximos están alineados. Se obtiene entonces el resultado para la correspondencia de ODU2 a ODU3, utilizando tres filtros desincronizadores y reconociendo que la UI es ahora aproximadamente un cuarto de la UI de CBR2G5. Para terminar, se multiplica todo por 2 a fin de obtener la fluctuación de fase de cresta a cresta a partir de la fluctuación de fase entre cero y el máximo.

Se puede observar que se necesitan dos islas para tener una probabilidad razonable de alcanzar esta fluctuación de fase (la fluctuación de fase cresta a cresta es alrededor de 0,6 UI, después de 2 islas en las figuras VIII.3-3, VIII.3-7 y VIII.3-11). Se requiere una tercera isla para obtener un máximo en la fluctuación de fase en el sentido contrario. Aun así, no se obtiene el máximo teórico de 1,22 UIpp; aparentemente siempre existe algún solapamiento de las crestas en los sentidos positivo y negativo. En los casos de tolerancia holgada de reloj (figuras VIII.3-1, VIII.3-5 y VIII.3-9) el nivel de fluctuación de fase máxima de cresta a cresta es menor, y hay más fluctuación. Esto se debe a que, para estos casos, los rellenos pueden aparecer a frecuencias superiores y, cuando éstas

sean del mismo orden o mayores que el ancho de banda del desincronizador, pueden interferir entre ellas.

Considérese entonces qué ocurre si las oportunidades de relleno de ODU2 están concentradas, son aleatorias, o están igualmente espaciadas. Para los casos de tolerancia rigurosa de reloj (figuras VIII.3-3, VIII.3-7 y VIII.3-11), la fluctuación máxima de cresta a cresta es similar en los tres casos (1,08 UIpp para las oportunidades de relleno concentrada y 1,06 UIpp para los otros dos casos). Esto ocurre porque los rellenos tienden a separarse mucho en esos casos (es decir, una separación de más de 16 tramas ODU3). En los casos de tolerancia holgada de reloj existe un poco más de dependencia; la fluctuación de fase máxima cresta a cresta en el caso 9 (oportunidades de relleno igualmente espaciadas, figura VIII.3-9) es cercana a 0,77 UIpp, mientras que para los otros dos casos su valor es de 0,81 UIpp (figuras VIII.3-1 y VIII.3-5). De todas maneras, el efecto del espaciamiento de las oportunidades de relleno es reducido en todos los casos puesto que afecta solamente a la correspondencia de ODU2 a ODU3, para la que el intervalo unitario es solamente un cuarto del de las correspondencias de CBR2G5 a ODU1 o de ODU1 a ODU2.

A continuación, considérese los casos del modelo 2 (figuras VIII.3-2, VIII.3-4, VIII.3-6, VIII.3-8, VIII.3-10 y VIII.3-12), y obsérvese que para las islas ODU1 iniciales que no contengan ninguna isla ODU2 o ODU3 (islas 1-33), la fluctuación cresta a cresta se incrementa en las primeras islas ODU1 y luego permanece grosso modo a ese nivel, fluctuando. El comportamiento es más o menos análogo al del modelo 1, salvo que el nivel estacionario es menor que en este modelo ya que refleja solamente un nivel de correspondencia. Asimismo, hay menos fluctuación en los casos del modelo 2 si se les compara con los correspondientes del modelo 1 (es decir, si se efectúa una comparación entre los casos 1 y 2, 3 y 4, 5 y 6, 7 y 8, 9 y 10 y 11 y 12). En consecuencia, todos los casos del modelo 2 presentan un incremento en la fluctuación de fase en la isla ODU1 34, debido a los niveles superiores de correspondencia en esta isla. (33 correspondencias/anulación de correspondencias de ODU1 a ODU2, seguidas por una isla ODU2 con 33 islas ODU3). Este incremento en la fluctuación de fase en la isla final hace que la fluctuación de fase cresta a cresta se aproxime al nivel del caso correspondiente del modelo 1 (un nivel ligeramente inferior en el caso de tolerancia rigurosa de reloj y ligeramente superior en el caso de tolerancia holgada de reloj).

Según estos resultados, se puede decir lo siguiente acerca de la acumulación de fluctuación de fase de banda ancha de CBR2G5:

- se cumple con el límite de red de 1,5 UIpp G.825;
- la acumulación de fluctuación de fase de cresta a cresta se incrementa rápidamente con respecto al valor máximo y permanece en este valor; el orden de los tipos de islas (es decir, ODU1, ODU2, y ODU3) es de importancia secundaria;
- depende poco de la ubicación de las oportunidades de relleno;
- cuanto más pequeñas son las tolerancias de reloj mayor es la acumulación de fase.

### **VIII.3.1.2 Resultados de acumulación de fluctuación de fase de banda ancha para el cliente ODU1**

En las figuras VIII.3-13 a VIII.3-18 se presentan los resultados de acumulación de fluctuación de fase de banda ancha para el cliente ODU1 para los casos 2, 4, 6, 8, 10 y 12, respectivamente. La acumulación se indica para el caso de 33 islas ODU2, numeradas de 35 a 67 (ésta es la cantidad de islas ODU2 en la isla final ODU1 para cada caso; nótese que la isla final ODU2 contiene 33 islas ODU3).

La acumulación de fluctuación de fase de cresta a cresta cumple con el límite de red de 1,5 UIpp de 5.1/G.8251 en todos los casos. La fluctuación de fase máxima cresta a cresta es mayor en los casos de tolerancia rigurosa de reloj (figuras VIII.3-14, VIII.3-16 y VIII.3-18), cuando alcanza un valor de 0,84 UIpp.

Los resultados son cualitativamente similares a los de los clientes CBR2G5. El efecto de la ubicación de las oportunidades de relleno es pequeño. La fluctuación de fase cresta a cresta se incrementa en las primeras islas hasta un nivel grueso modo constante, alrededor del cual fluctúa para las islas restantes. El incremento es más rápido y las fluctuaciones menores en los casos de tolerancia rigurosa de reloj si se le compara con los casos de tolerancia holgada. La acumulación total de fluctuación de fase es mayor para los casos de tolerancia rigurosa de reloj. Para terminar, existe un incremento en la fluctuación de fase en la isla final ODU2 causado por las islas ODU3 en dicha isla (la isla ODU2 anterior no contiene ningún nivel superior de multiplexación).

### **VIII.3.1.3 Resultados de acumulación lenta de fase (TDEV) a corto plazo del cliente STM-16**

En la presente cláusula se indican los resultados para la acumulación de fluctuación lenta de fase a corto plazo del cliente CBR2G5 en todas las islas. Los resultados se presentan como la TDEV para el cliente CBR2G5 que se obtiene de la isla final ODU1. Se presenta la TDEV para tiempos de integración que van desde 3,06  $\mu$ s (el intervalo de tiempo de simulación) hasta aproximadamente 10 s (un tercio del tiempo total de simulación de 30 s tras el tiempo de inicialización de 1 s; nótese que la TDEV incluye un segundo cálculo diferencial, y por ende se puede obtener para tiempos de integración de hasta un tercio del total de los datos). Obsérvese que esto interesa principalmente para tiempos de integración de 0,05 s o mayores, puesto que la TDEV caracteriza la fluctuación lenta de fase.

Se obtienen para cada valor del tiempo de integración la raíz cuadrada del valor medio de TVAR (valor medio de todas las réplicas) y la raíz cuadrada de la desviación típica de TVAR (es decir, la raíz cuarta de la varianza de TVAR, calculada sobre todas las réplicas). Aquella es una estimación puntual del valor esperado de la TDEV, mientras que ésta es una aproximación a la desviación típica de la TDEV. El percentil 95° de TVAR es aproximadamente el valor de dos veces la desviación típica a partir del valor medio de TVAR, y el percentil 95° de la TDEV es aproximadamente igual a la raíz cuadrada de esto.

En las figuras VIII.3-19 a VIII.3-30, se presentan los resultados de la TDEV para CBR2G5 y para los casos 1-12 respectivamente. En primer lugar, obsérvese que la TDEV cumple con el límite de 10 ns para la opción 2 de SDH y con el límite de 12 ns para la opción 1 de SDH (en el caso de tiempos de integración menores que 10 segundos, que son los pertinentes aquí, véase la Rec. UIT-T G.813). La TDEV máxima es cercana a 1 ns en los casos de tolerancia holgada del reloj, que ocurren para tiempos de integración de aproximadamente 0,01 s. Es aproximadamente 3 ns en los casos de tolerancia rigurosa del reloj, presentes para tiempos de integración de 0,3 s. La TDEV es mayor en los casos de tolerancia rigurosa del reloj para tiempos de integración mayores, no obstante, es mayor en los casos de tolerancia holgada del reloj para los tiempos de integración más cortos. Esto se debe probablemente a que la variación de fase en los casos de tolerancia holgada de reloj posee una frecuencia superior.

### **VIII.3.1.4 Conclusiones**

De los resultados anteriores se puede concluir que:

- se cumple el límite de red de 1,5 UIpp G.825 para clientes CBR2G5;
- se cumple el límite de red de 1,5 UIpp G.8251 para clientes ODU1;
- la acumulación de fluctuación de fase máxima de cresta a cresta se incrementa relativamente rápido (en las islas iniciales) hasta un valor máximo; el orden de los tipos de islas (ODU1, ODU2, ODU3) es poco importante;
- existe poca dependencia de la ubicación de las oportunidades de relleno;
- cuanto más pequeñas sean las tolerancias del reloj mayor será la acumulación de fluctuación de fase;
- se cumplen los límites de la TDEV de fluctuación lenta de fase G.813, 10 ns para la opción 2 de SDH y 12 ns para la opción 1 de SDH, en el caso de clientes CBR2G5.

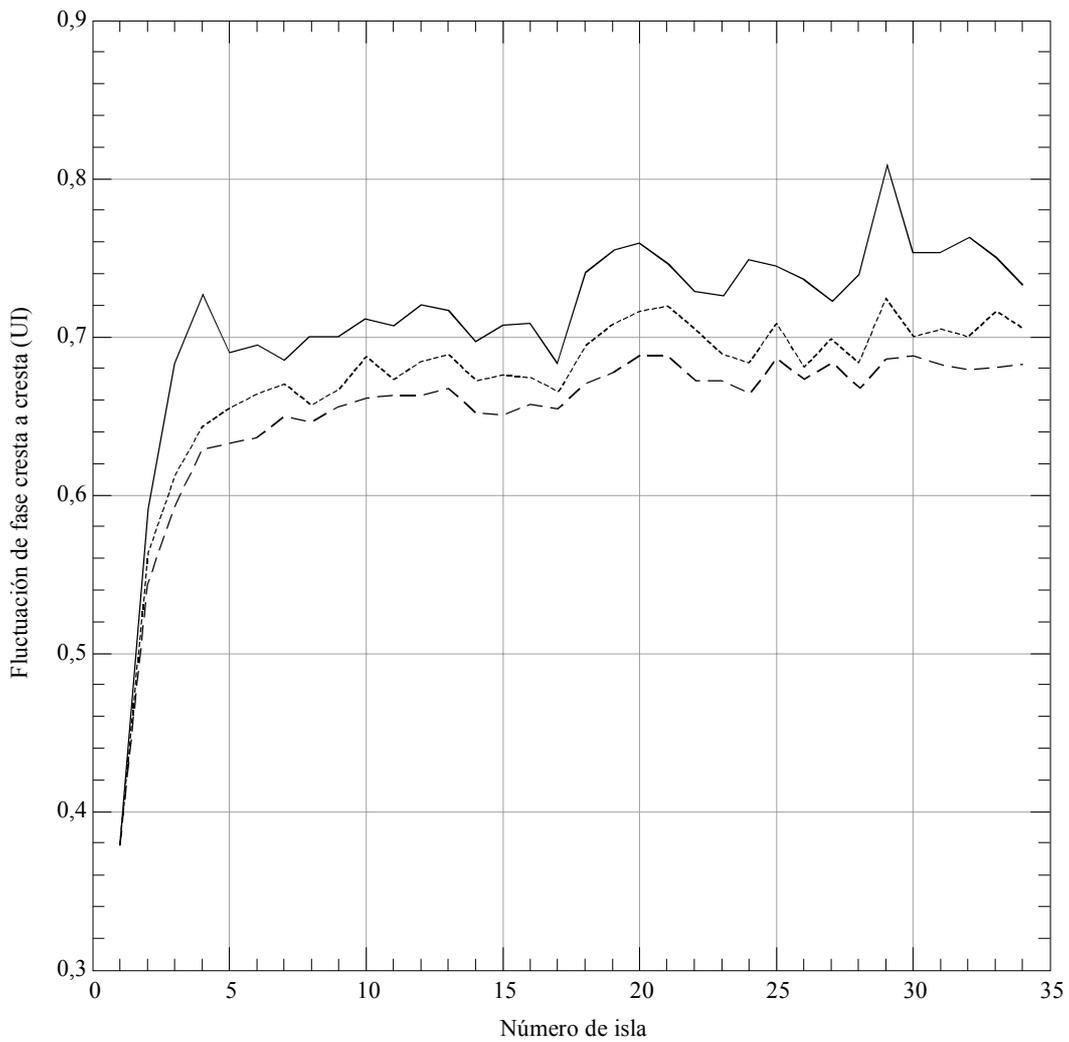
El tercer elemento de esta lista es importante puesto que implica que mientras que el número de islas supere una cierta cantidad, poco importa cuántas sean o en qué orden se presenten, puesto que la acumulación de fluctuación de fases se satura. De hecho, esta acumulación se satura para todos los casos de clientes CBR2G5 y ODU1 presentados aquí. Es decir, no es necesario considerar más islas para el caso de multiplexación ODU1 (la cadena más larga de clientes ODU1 contaba con 33 islas), puesto que la fluctuación de fase ya se ha saturado.

Aunque no se consideró la fluctuación de fase para clientes ODU2, se espera que ésta sea similar a la correspondencia de STM-64 en ODU2, puesto que la velocidad máxima de justificación es aproximadamente igual en ambos casos. La fluctuación de fase será también menor en ambos casos que la fluctuación de fase de correspondencia de CBR2G5 en ODU1, debido al mayor ancho de banda del filtro paso alto de medición de la fluctuación de fase.

En los casos de simulación anteriores no se considera la fluctuación de fase de banda alta, puesto que el ancho de banda del filtro paso alto de medición de fluctuación de fase de banda alta supera el ancho de banda de filtro paso alto de banda ancha por un factor de aproximadamente 200, mientras que el límite de red de fluctuación de fase de banda alta es menor que el límite de red de fluctuación de fase de banda ancha en un factor de 10. Esto hace que la acumulación de la fluctuación de fase de banda alta esté muy por debajo del límite de red – 20 o más veces (se puede obtener este resultado si se considera la fluctuación de fase debida a una justificación aislada de 8 UI).

#### **VIII.4 Bibliografía**

- [1] SCHULTZ (Donald G.), MELSA (James L.): State Functions and Linear Control Systems, *McGraw-Hill*, New York, 1967.
- [2] PAPOULIS (Athanasios): Probability, Random Variables, and Stochastic Processes, Third Edition, *McGraw-Hill*, p.254 (Ecuación (9-25)), New York, 1991).

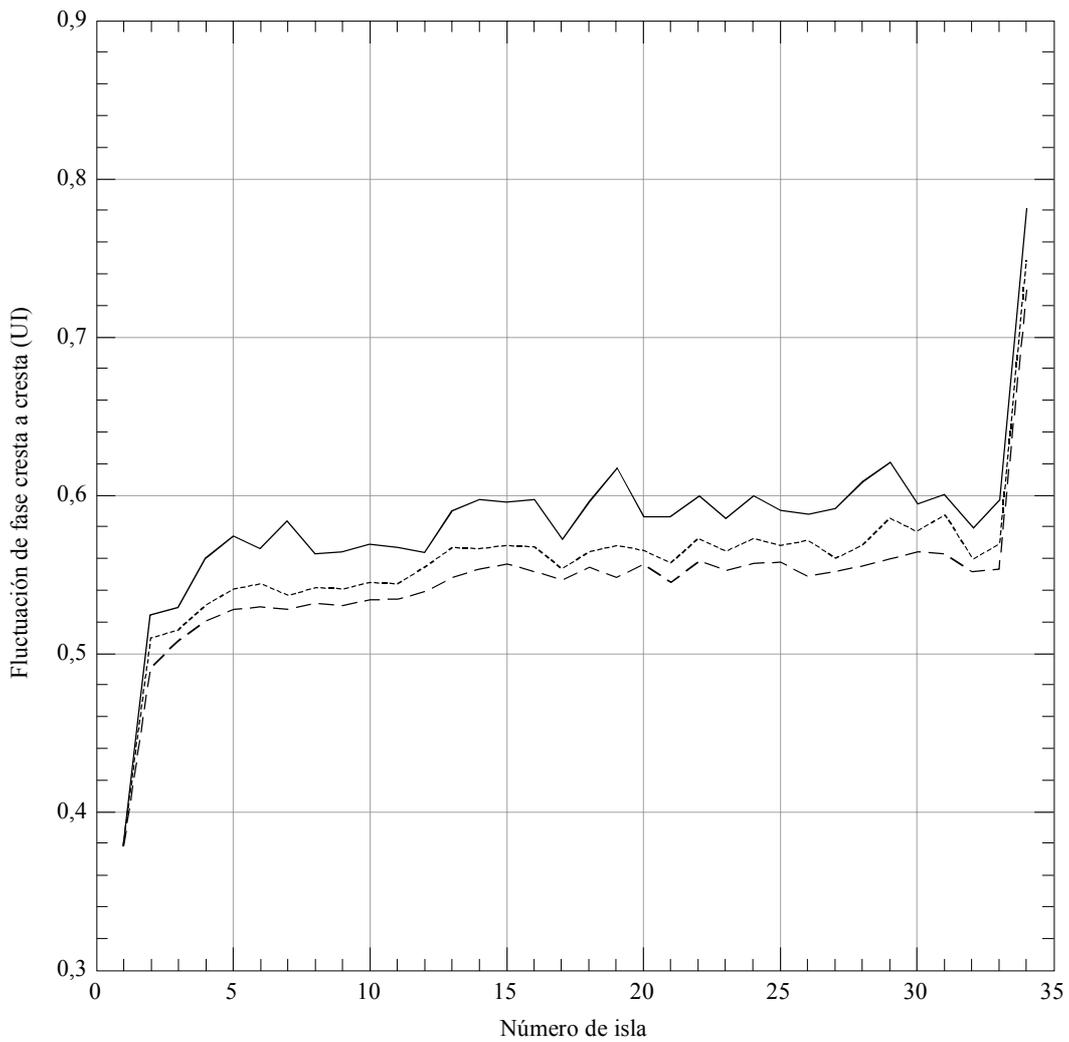


——— Percentil 95°, extremo superior del intervalo de confianza de 99%  
 ..... Percentil 95°, estimación puntual  
 - - - - Percentil 95°, extremo inferior del intervalo de confianza de 99%

G.8251AMD.1  
FVIII.3-1

NOTA – Islas ODU1 numeradas de 1 a 34. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Filtro de medición de fluctuación de fase de 5 kHz. Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-1/G.8251 – Resultados de fluctuación de fase de banda ancha cresta a cresta para el cliente CBR2G5, caso 1 (modelo 1)**

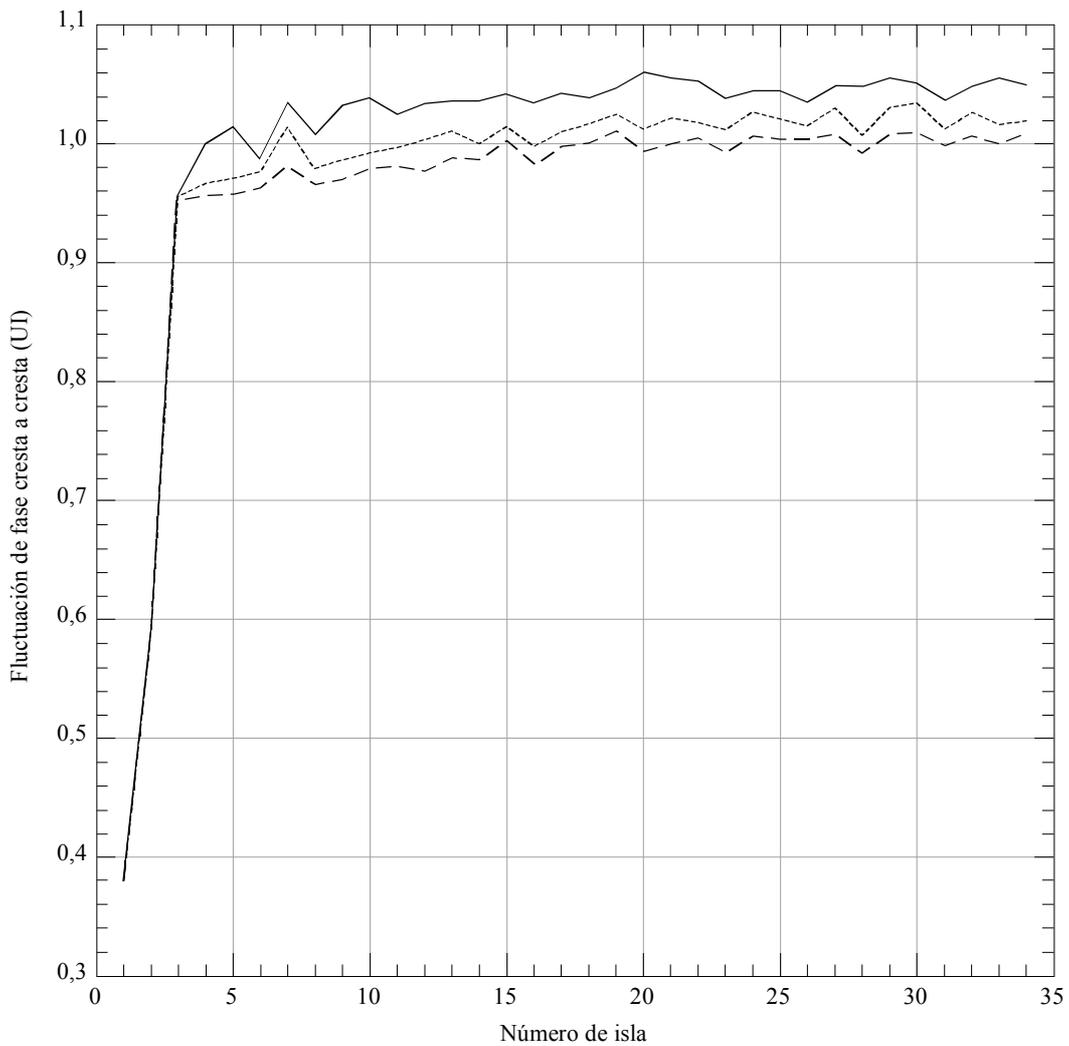


——— Percentil 95°, extremo superior del intervalo de confianza de 99%  
 - - - - - Percentil 95°, estimación puntual  
 - - - - - Percentil 95°, extremo inferior del intervalo de confianza de 99%

G.8251AMD.1  
FVIII.3-2

NOTA – Islas ODU1 numeradas de 1 a 34. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Filtro de medición de fluctuación de fase de 5 kHz. Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-2/G.8251 – Resultados de fluctuación de fase de banda ancha cresta a cresta para el cliente CBR2G5, caso 2 (modelo 2)**

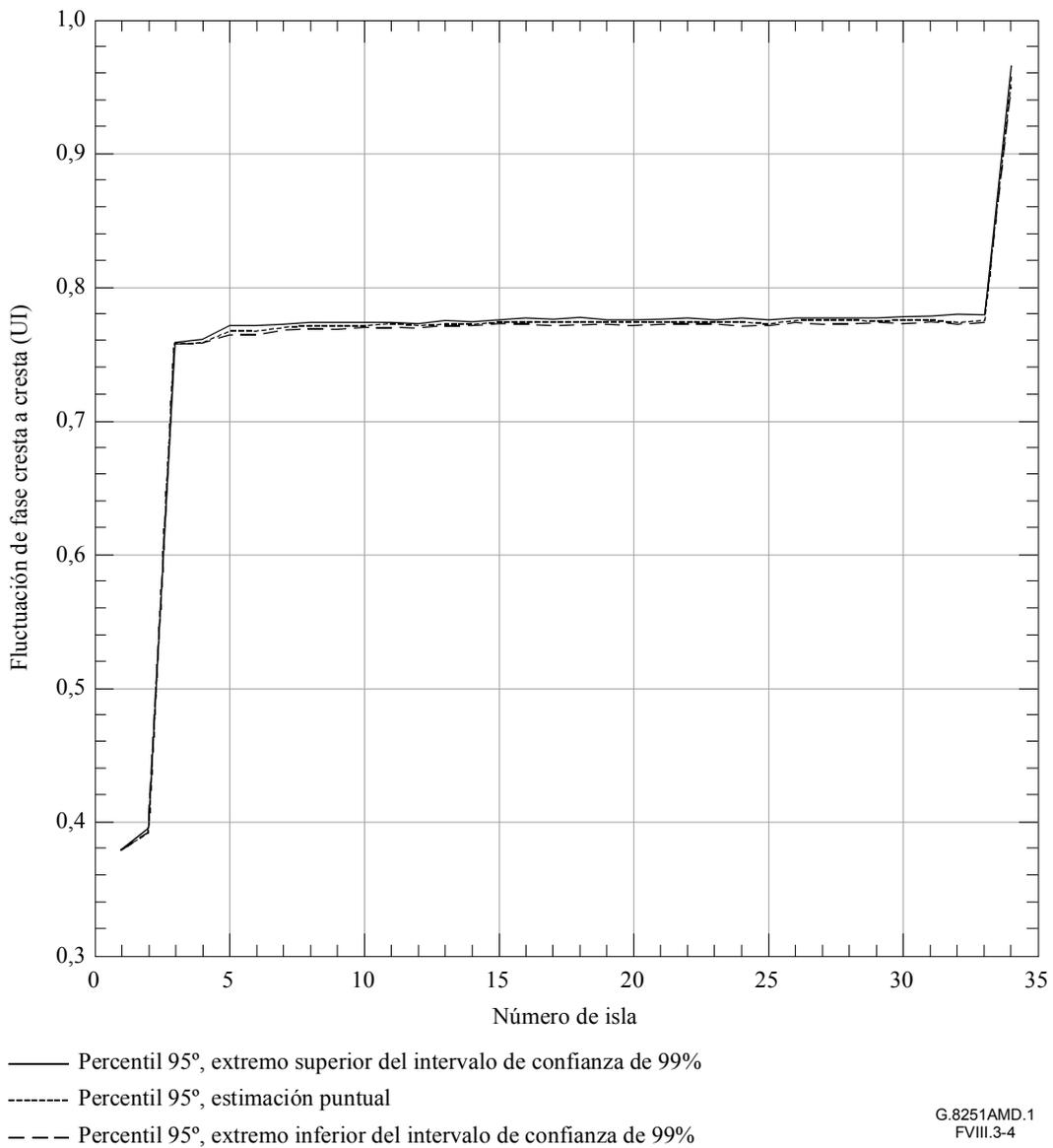


——— Percentil 95°, extremo superior del intervalo de confianza de 99%  
 - - - - - Percentil 95°, estimación puntual  
 - . - . - Percentil 95°, extremo inferior del intervalo de confianza de 99%

G.8251AMD.1  
FVIII.3-3

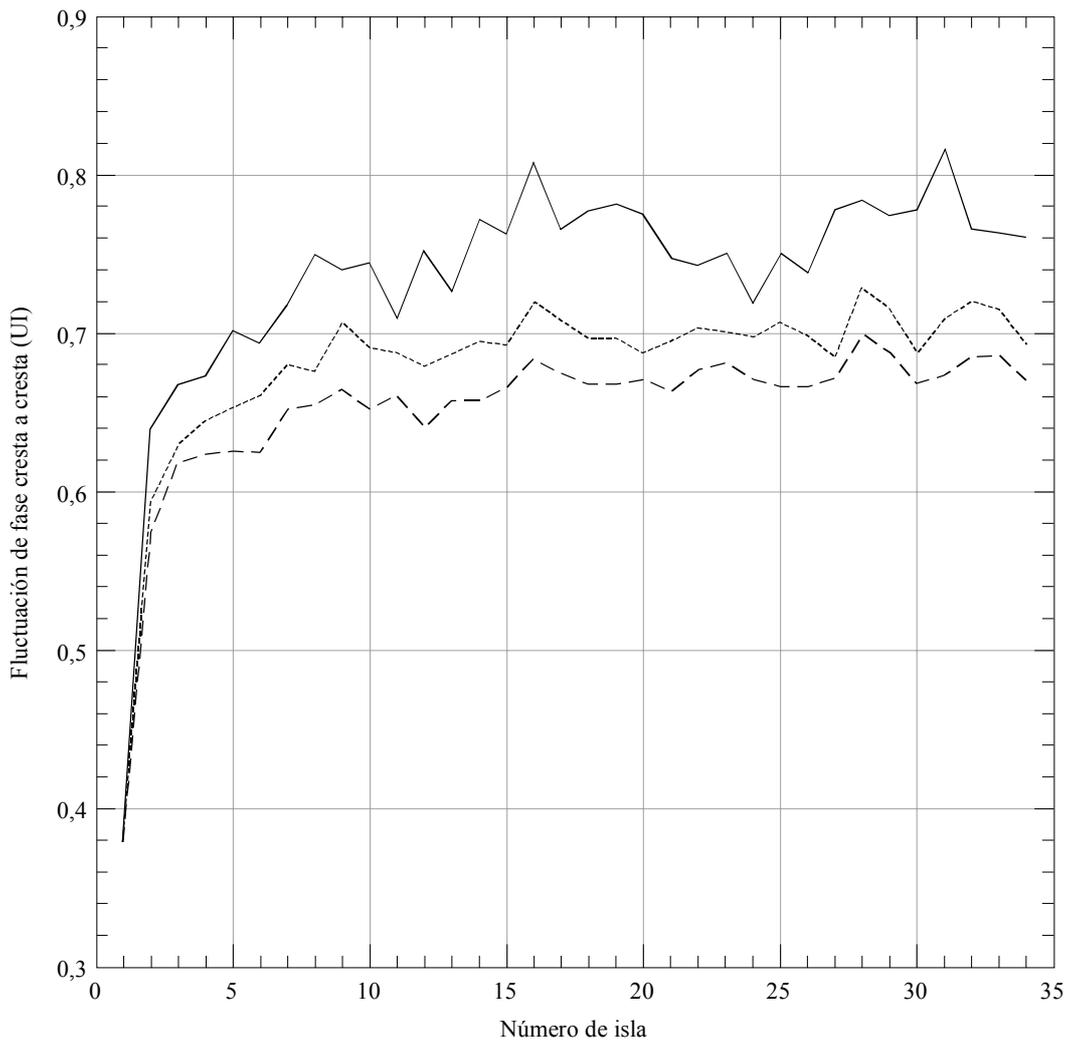
NOTA – Islas ODU1 numeradas de 1 a 34. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Filtro de medición de fluctuación de fase de 5 kHz. Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-3/G.8251 – Resultados de fluctuación de fase de banda ancha cresta a cresta para el cliente CBR2G5, caso 3 (modelo 1)**



NOTA – Islas ODU1 numeradas de 1 a 34. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Filtro de medición de fluctuación de fase de 5 kHz. Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-4/G.8251 – Resultados de fluctuación de fase de banda ancha cresta a cresta para el cliente CBR2G5, caso 4 (modelo 2)**

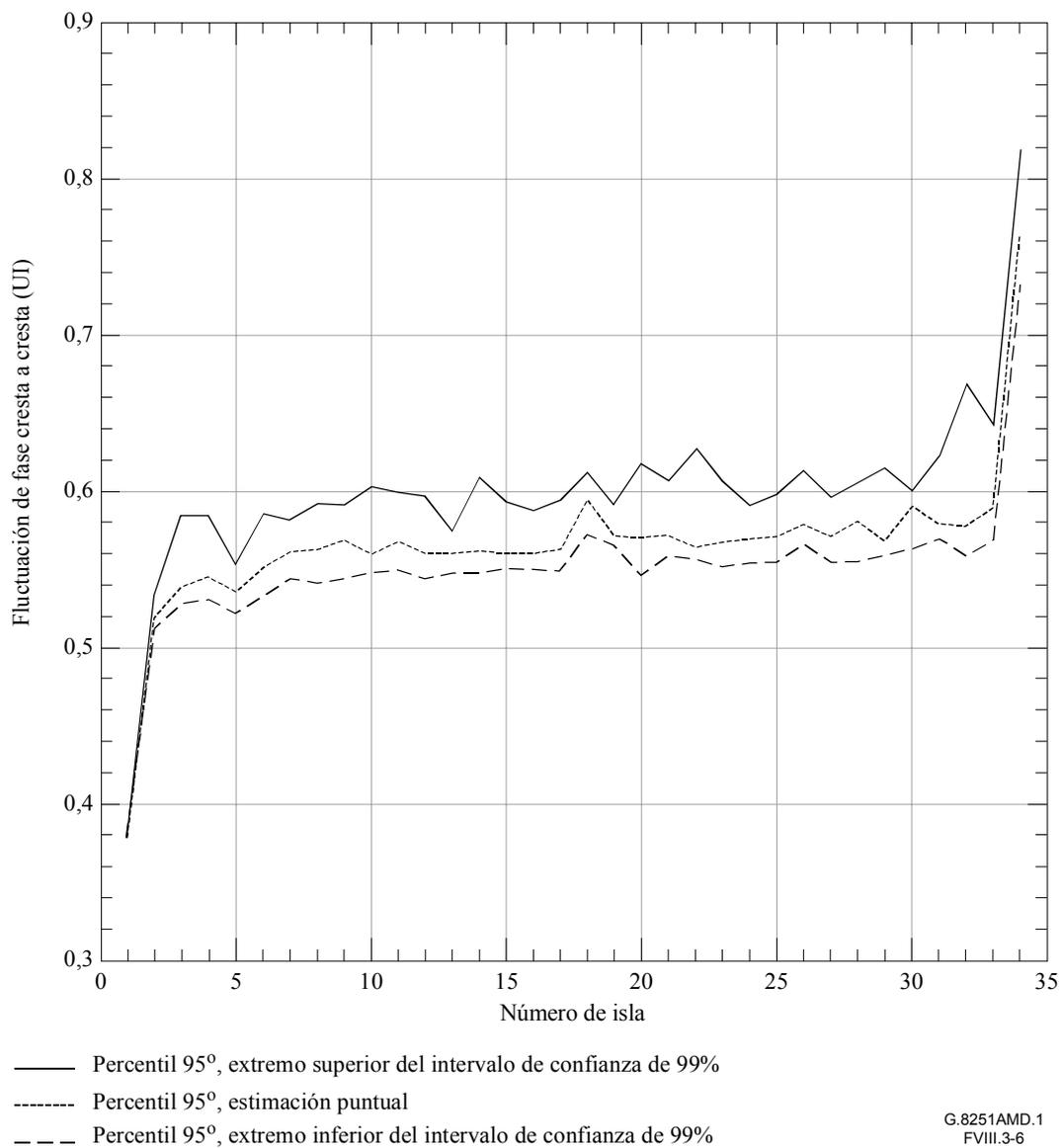


——— Percentil 95°, extremo superior del intervalo de confianza de 99%  
 - - - - - Percentil 95°, estimación puntual  
 - . - . - Percentil 95°, extremo inferior del intervalo de confianza de 99%

G.8251AMD.1  
FVIII.3-5

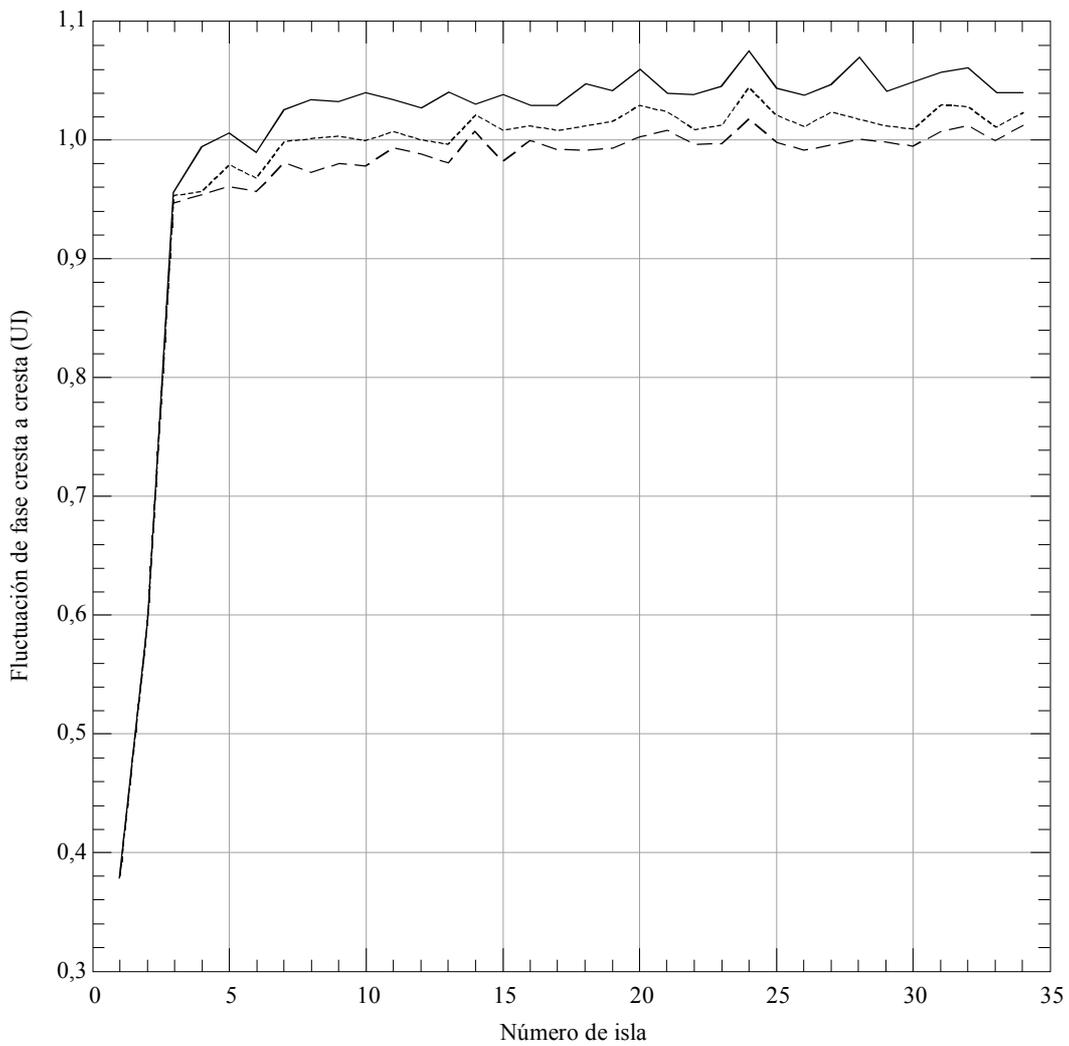
NOTA – Islas ODU1 numeradas de 1 a 34. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Filtro de medición de fluctuación de fase de 5 kHz. Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-5/G.8251 – Resultados de fluctuación de fase de banda ancha cresta a cresta para el cliente CBR2G5, caso 5 (modelo 1)**



NOTA – Islas ODU1 numeradas de 1 a 34. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Filtro de medición de fluctuación de fase de 5 kHz. Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-6/G.8251 – Resultados de fluctuación de fase de banda ancha cresta a cresta para el cliente CBR2G5, caso 6 (modelo 2)**

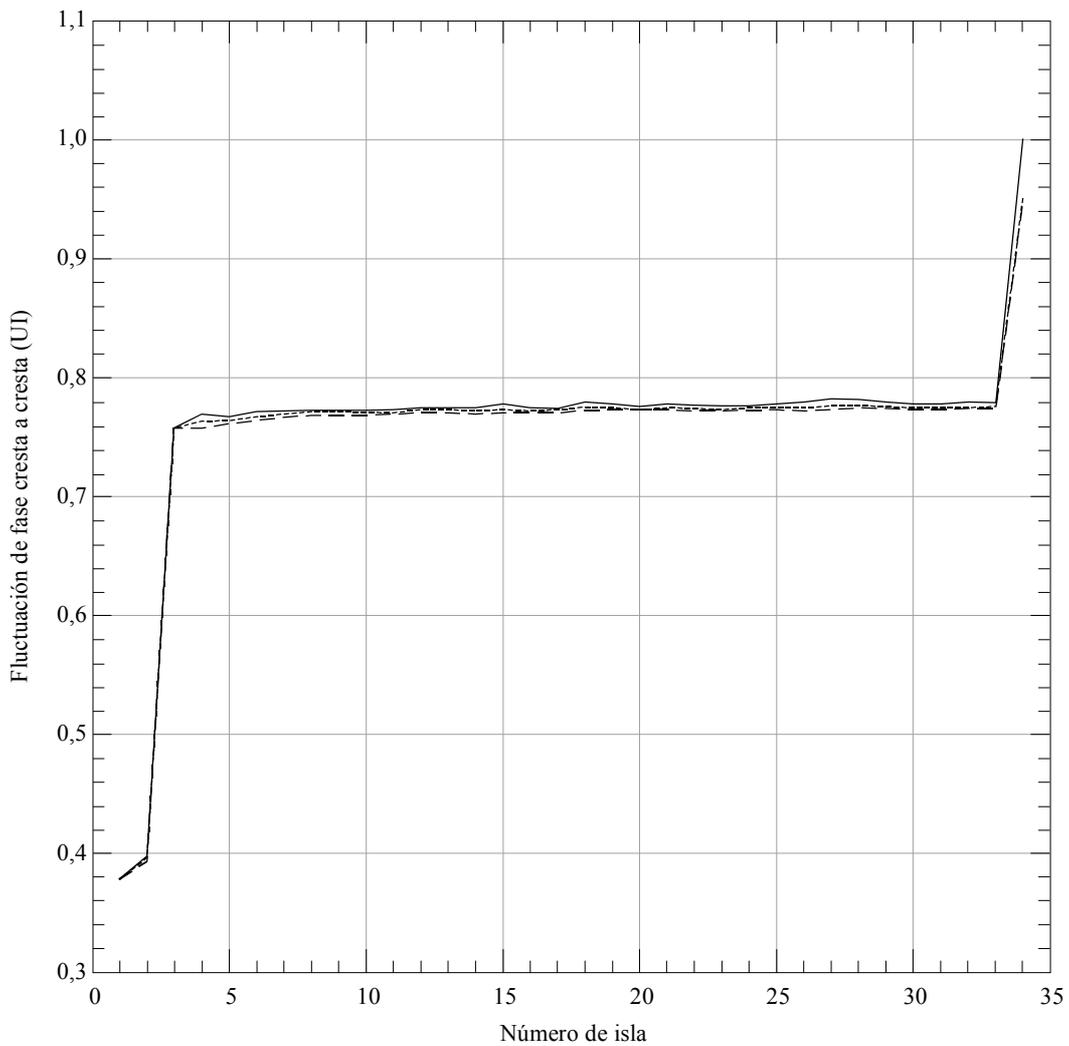


- Percentil 95°, extremo superior del intervalo de confianza de 99%
- Percentil 95°, estimación puntual
- - - Percentil 95°, extremo inferior del intervalo de confianza de 99%

G.8251AMD.1  
FVIII.3-7

NOTA – Islas ODU1 numeradas de 1 a 34. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Filtro de medición de fluctuación de fase de 5 kHz. Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-7/G.8251 – Resultados de fluctuación de fase de banda ancha cresta a cresta para el cliente CBR2G5, caso 7 (modelo 1)**

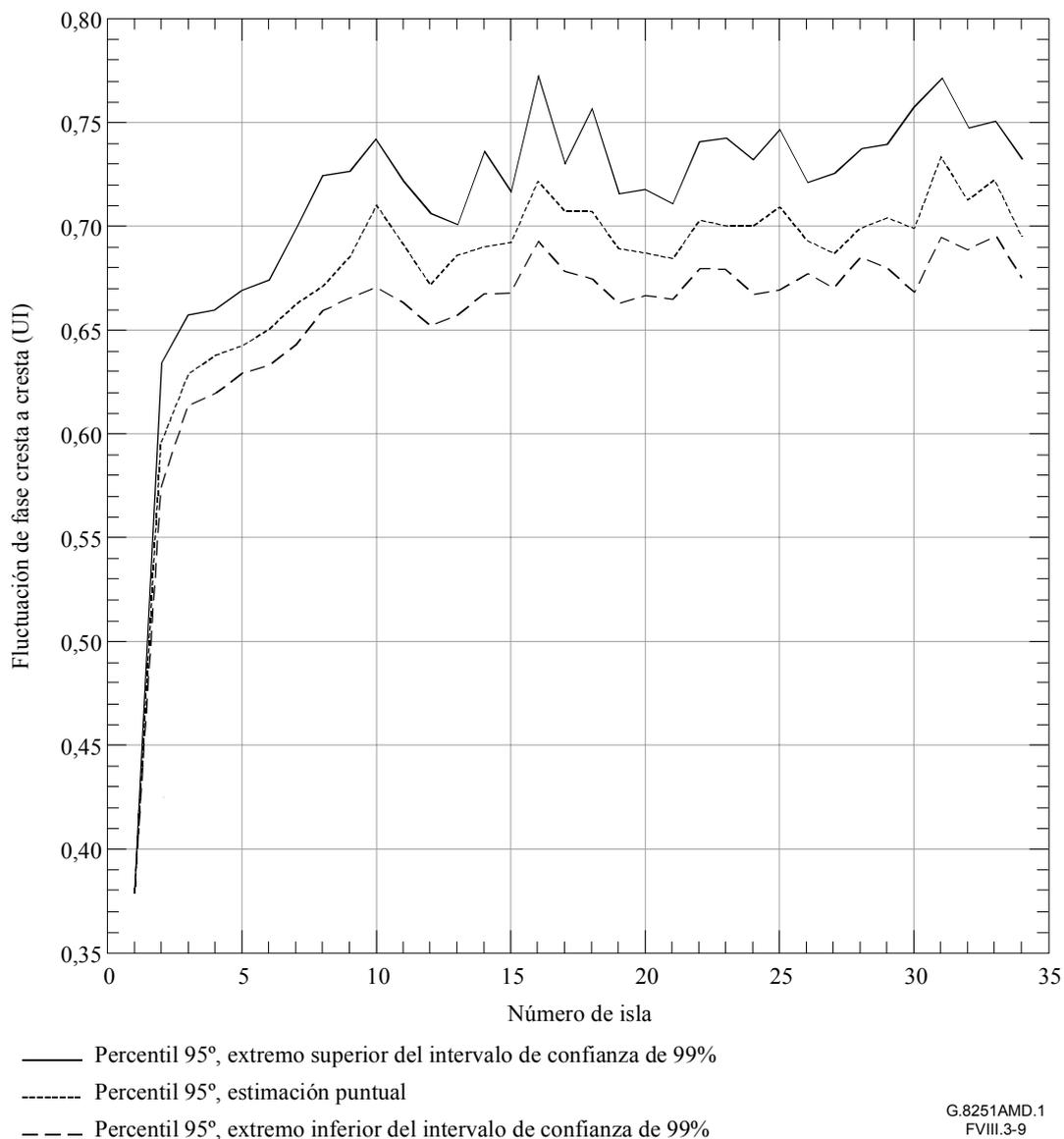


- Percentil 95°, extremo superior del intervalo de confianza de 99%
- Percentil 95°, estimación puntual
- - - - Percentil 95°, extremo inferior del intervalo de confianza de 99%

G.8251AMD.1  
FVIII.3-8

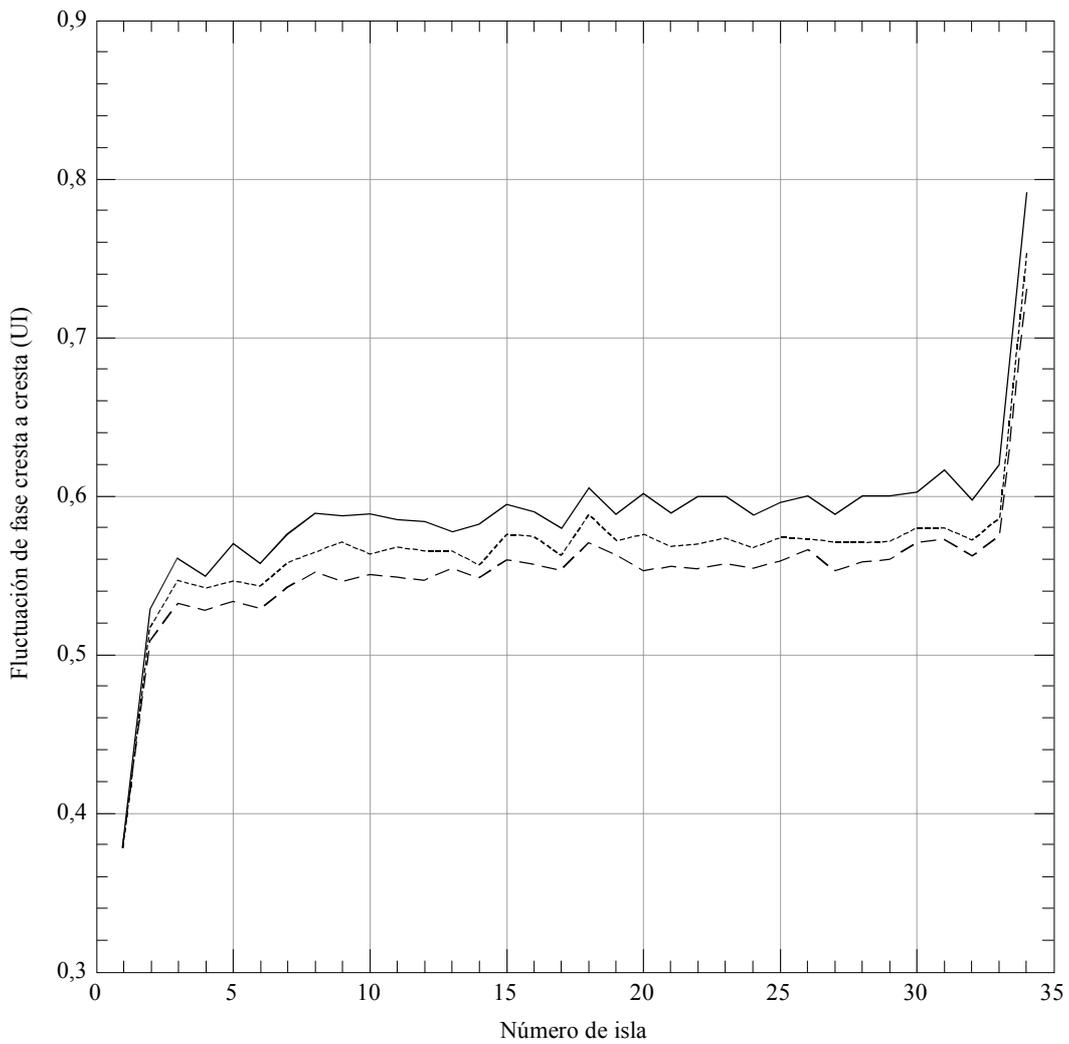
NOTA – Islas ODU1 numeradas de 1 a 34. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Filtro de medición de fluctuación de fase de 5 kHz. Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-8/G.8251 – Resultados de fluctuación de fase de banda ancha cresta a cresta para el cliente CBR2G5, caso 8 (modelo 2)**



NOTA – Islas ODU1 numeradas de 1 a 34. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Filtro de medición de fluctuación de fase de 5 kHz. Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-9/G.8251 – Resultados de fluctuación de fase de banda ancha cresta a cresta para el cliente CBR2G5, caso 9 (modelo 1)**

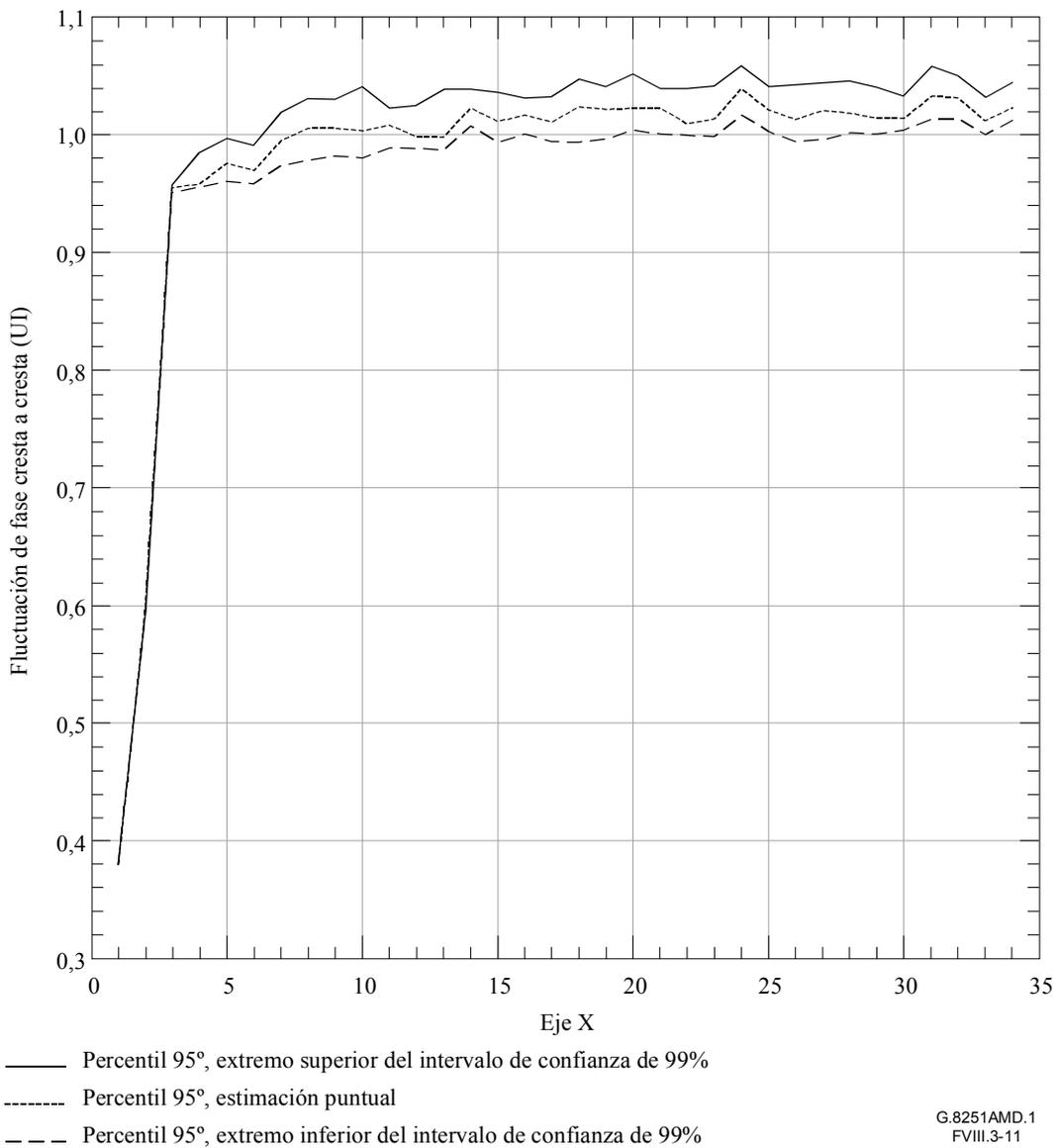


——— Percentil 95°, extremo superior del intervalo de confianza de 99%  
 - - - - - Percentil 95°, estimación puntual  
 - . - . - Percentil 95°, extremo inferior del intervalo de confianza de 99%

G.8251AMD.1  
FVIII.3-10

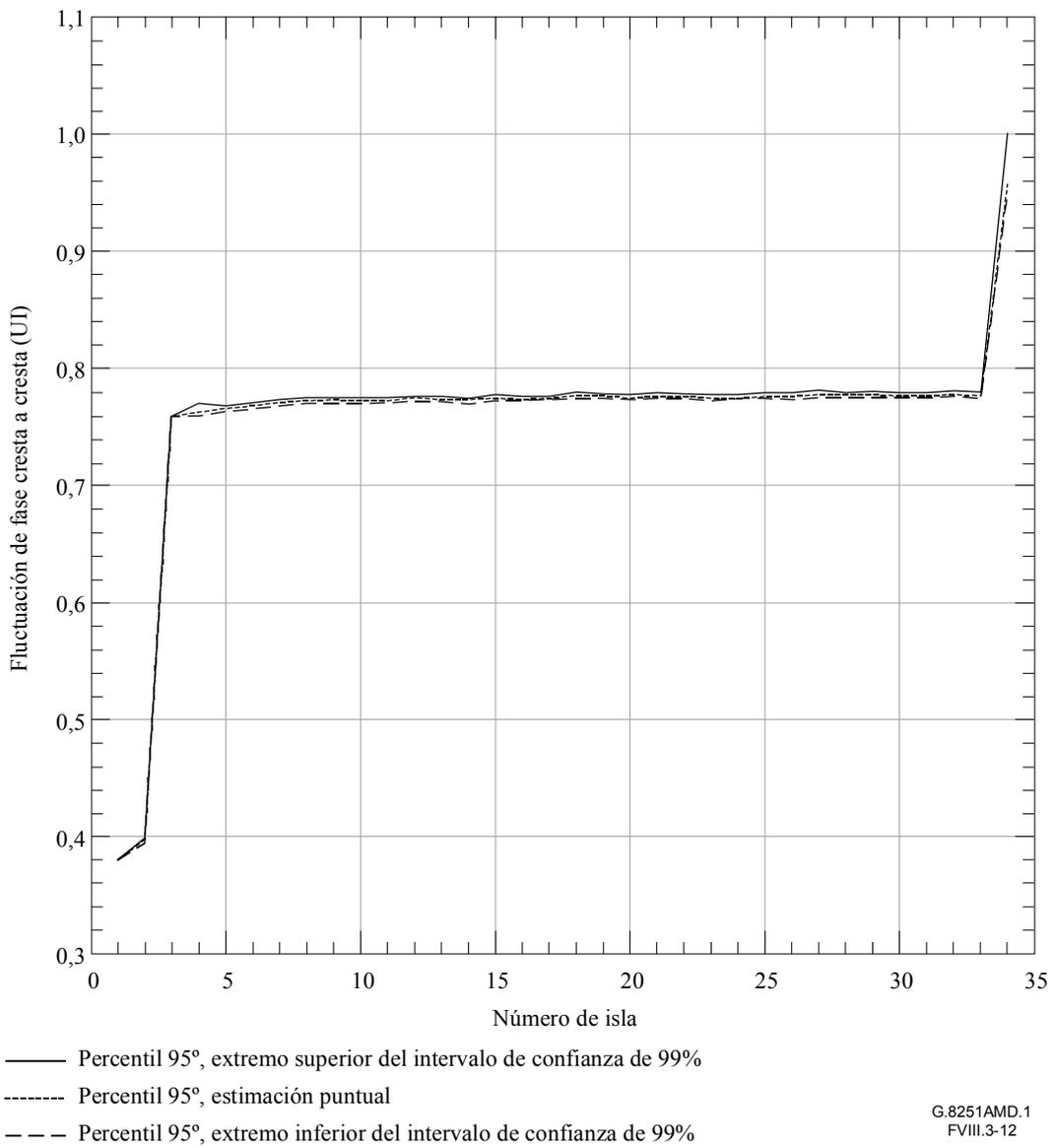
NOTA – Islas ODU1 numeradas de 1 a 34. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Filtro de medición de fluctuación de fase de 5 kHz. Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-10/G.8251 – Resultados de fluctuación de fase de banda ancha cresta a cresta para el cliente CBR2G5, caso 10 (modelo 2)**



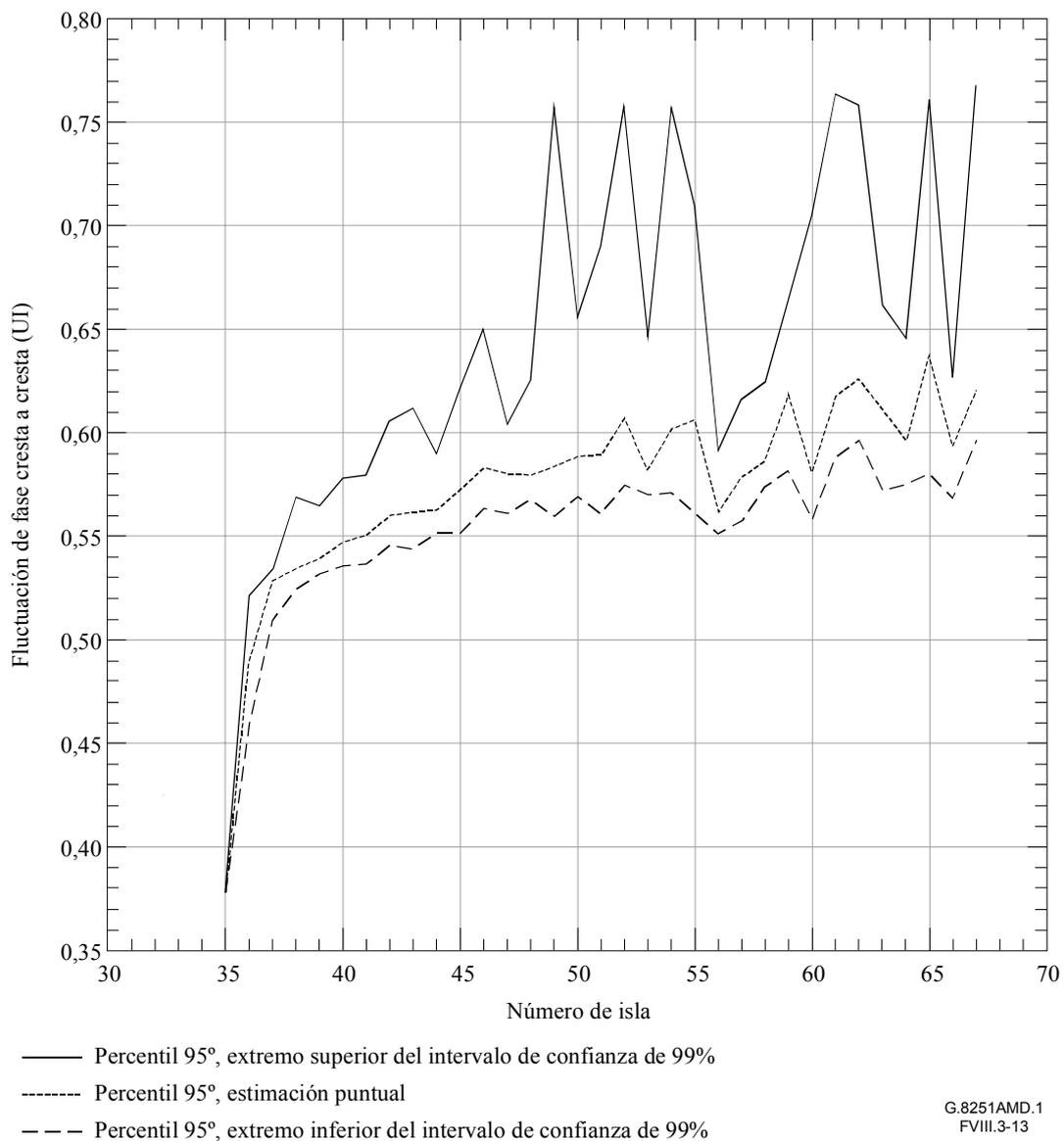
NOTA – Islas ODU1 numeradas de 1 a 34. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Filtro de medición de fluctuación de fase de 5 kHz. Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-11/G.8251 – Resultados de fluctuación de fase de banda ancha cresta a cresta para el cliente CBR2G5, caso 11 (modelo 1)**



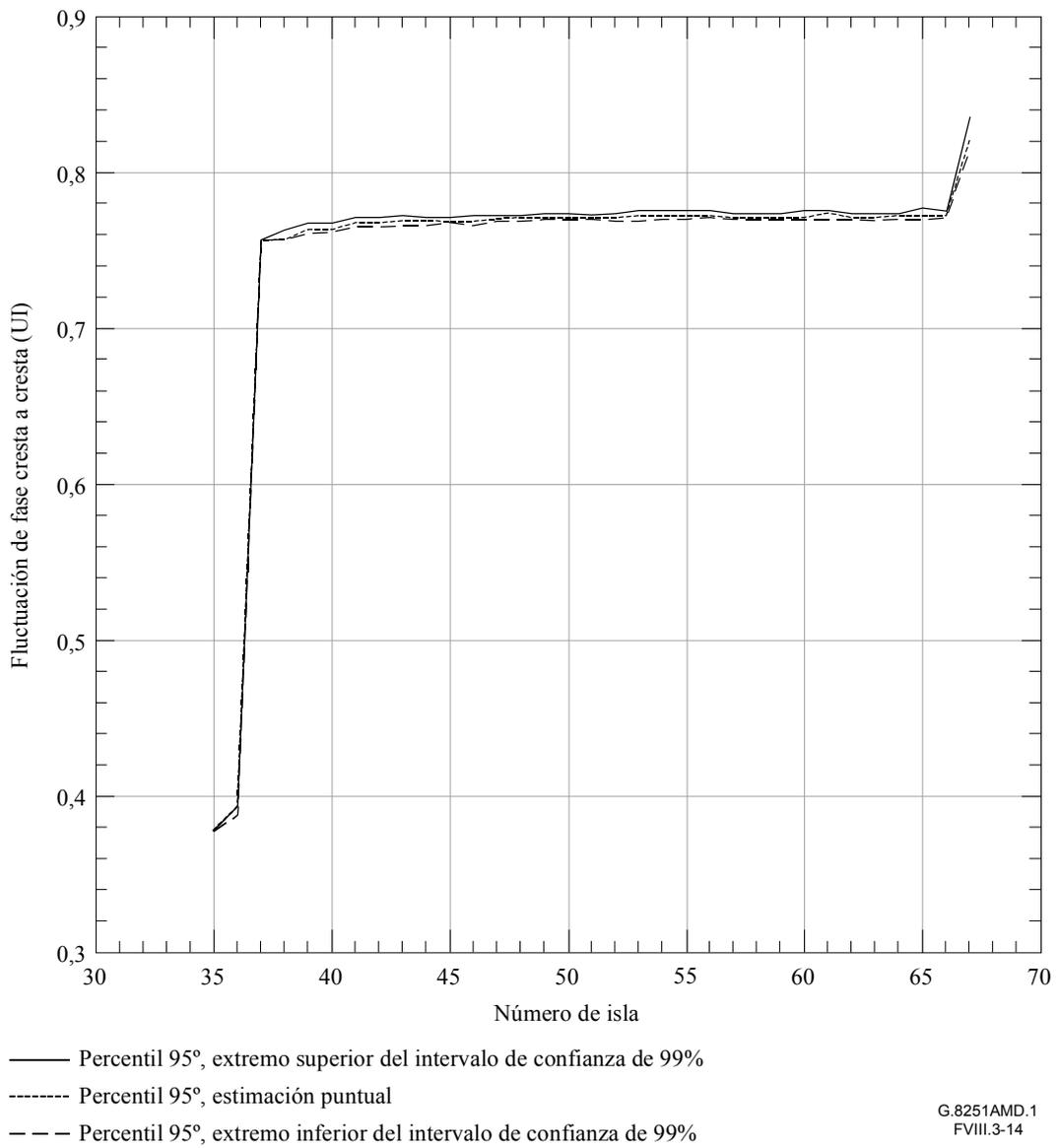
NOTA – Islas ODU1 numeradas de 1 a 34. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Filtro de medición de fluctuación de fase de 5 kHz. Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-12/G.8251 – Resultados de fluctuación de fase de banda ancha cresta a cresta para el cliente CBR2G5, caso 12 (modelo 2)**



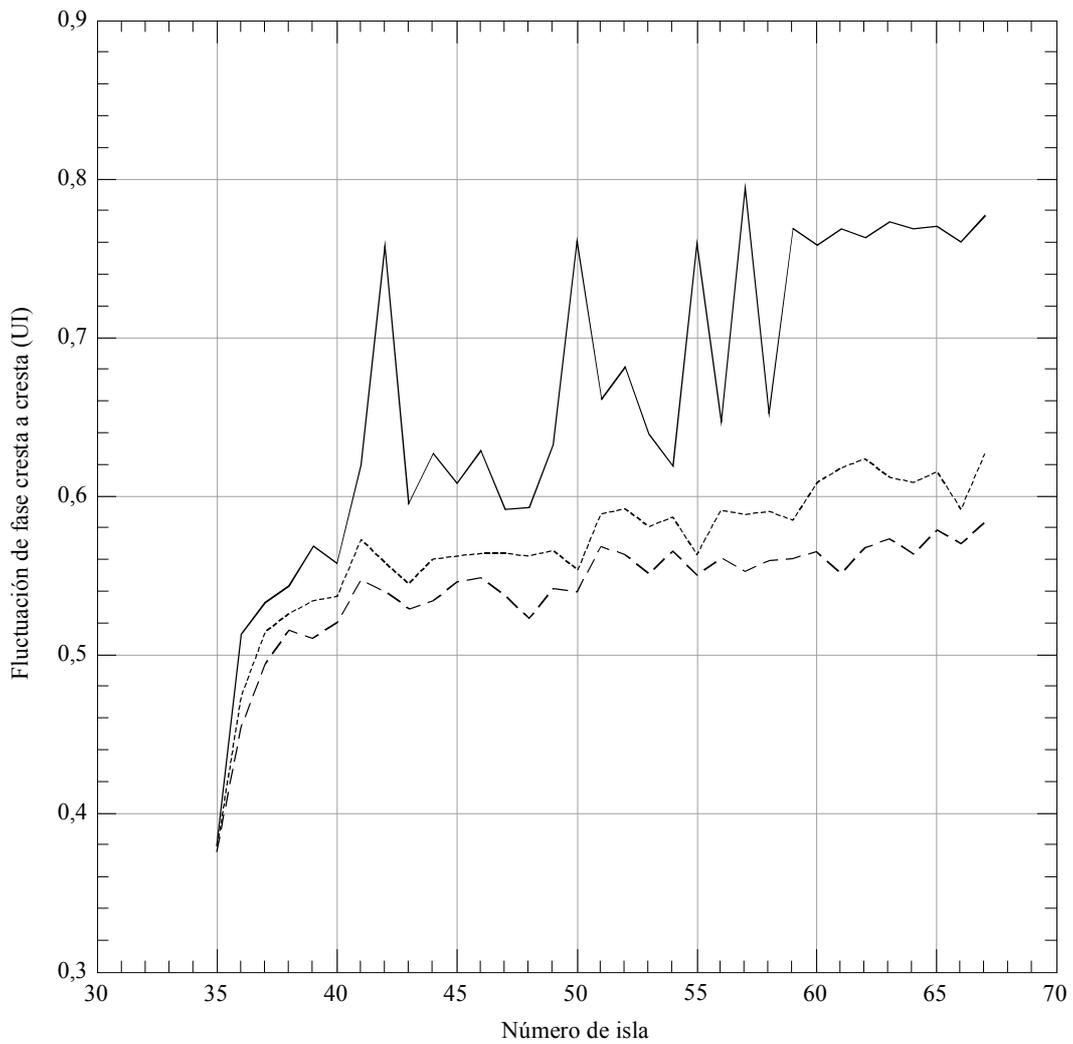
NOTA – Islas ODU2 numeradas de 35 a 67. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Filtro de medición de fluctuación de fase de 5 kHz. Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-13/G.8251 – Resultados de fluctuación de fase de banda ancha cresta a cresta para el cliente ODU1, caso 2 (modelo 2)**



NOTA – Islas ODU2 numeradas de 35 a 67. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Filtro de medición de fluctuación de fase de 5 kHz. Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-14/G.8251 – Resultados de fluctuación de fase de banda ancha cresta a cresta para el cliente ODU1, caso 4 (modelo 2)**

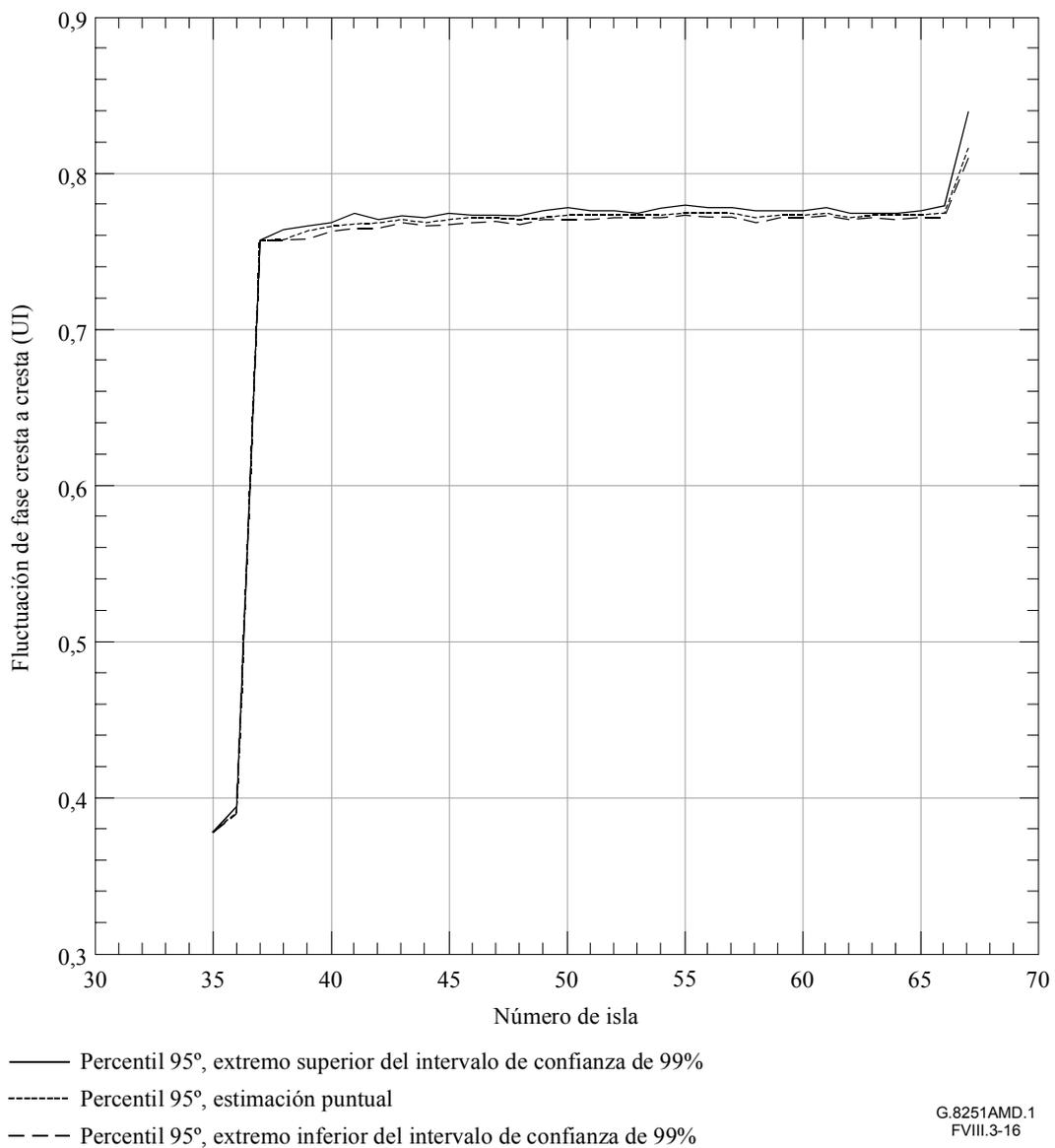


——— Percentil 95°, extremo superior del intervalo de confianza de 99%  
 - - - - - Percentil 95°, estimación puntual  
 - . - . - Percentil 95°, extremo inferior del intervalo de confianza de 99%

G.8251AMD.1  
FVIII.3-15

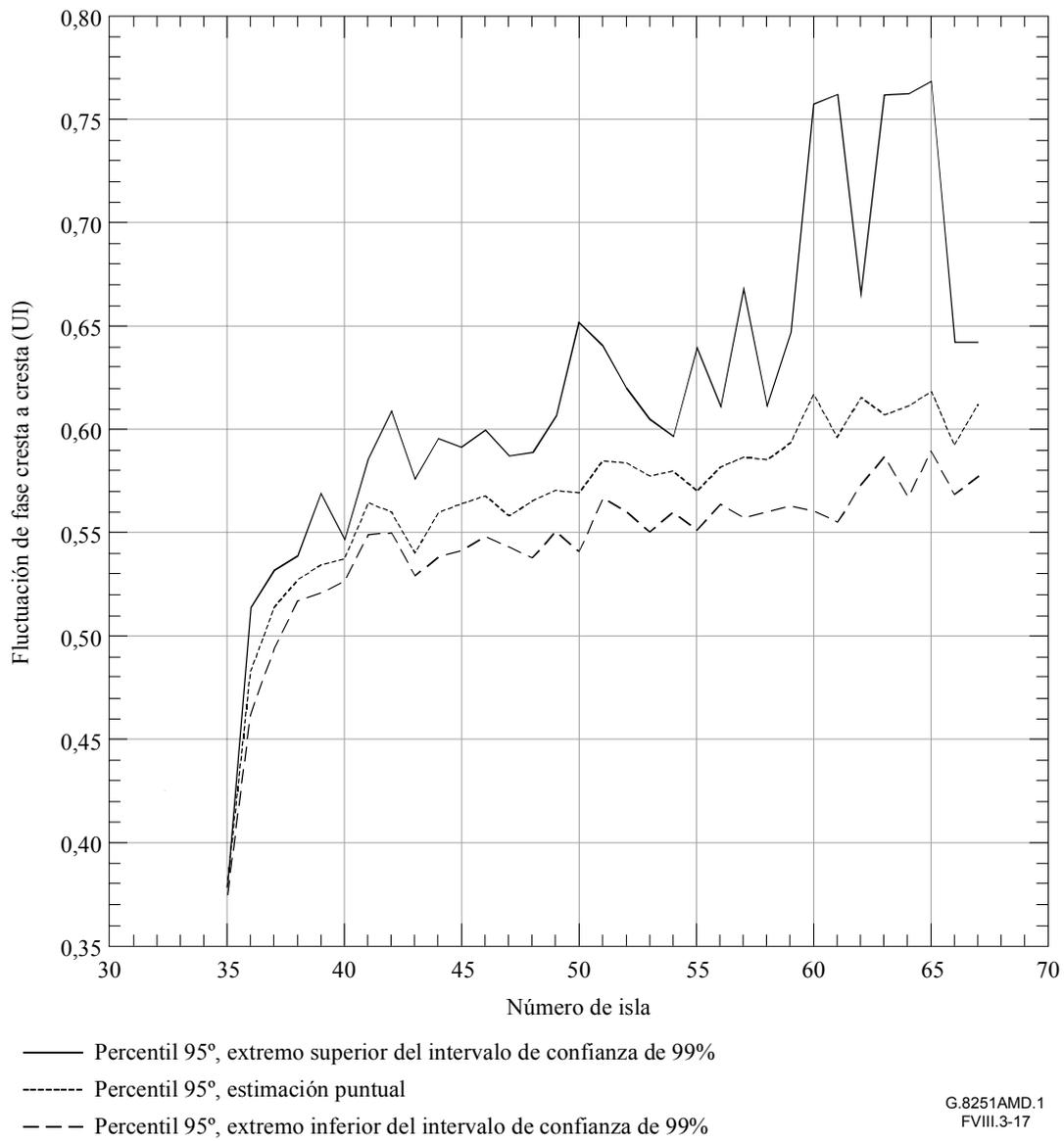
NOTA – Islas ODU2 numeradas de 35 a 67. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Filtro de medición de fluctuación de fase de 5 kHz. Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-15/G.8251 – Resultados de fluctuación de fase de banda ancha cresta a cresta para el cliente ODU1, caso 6 (modelo 2)**



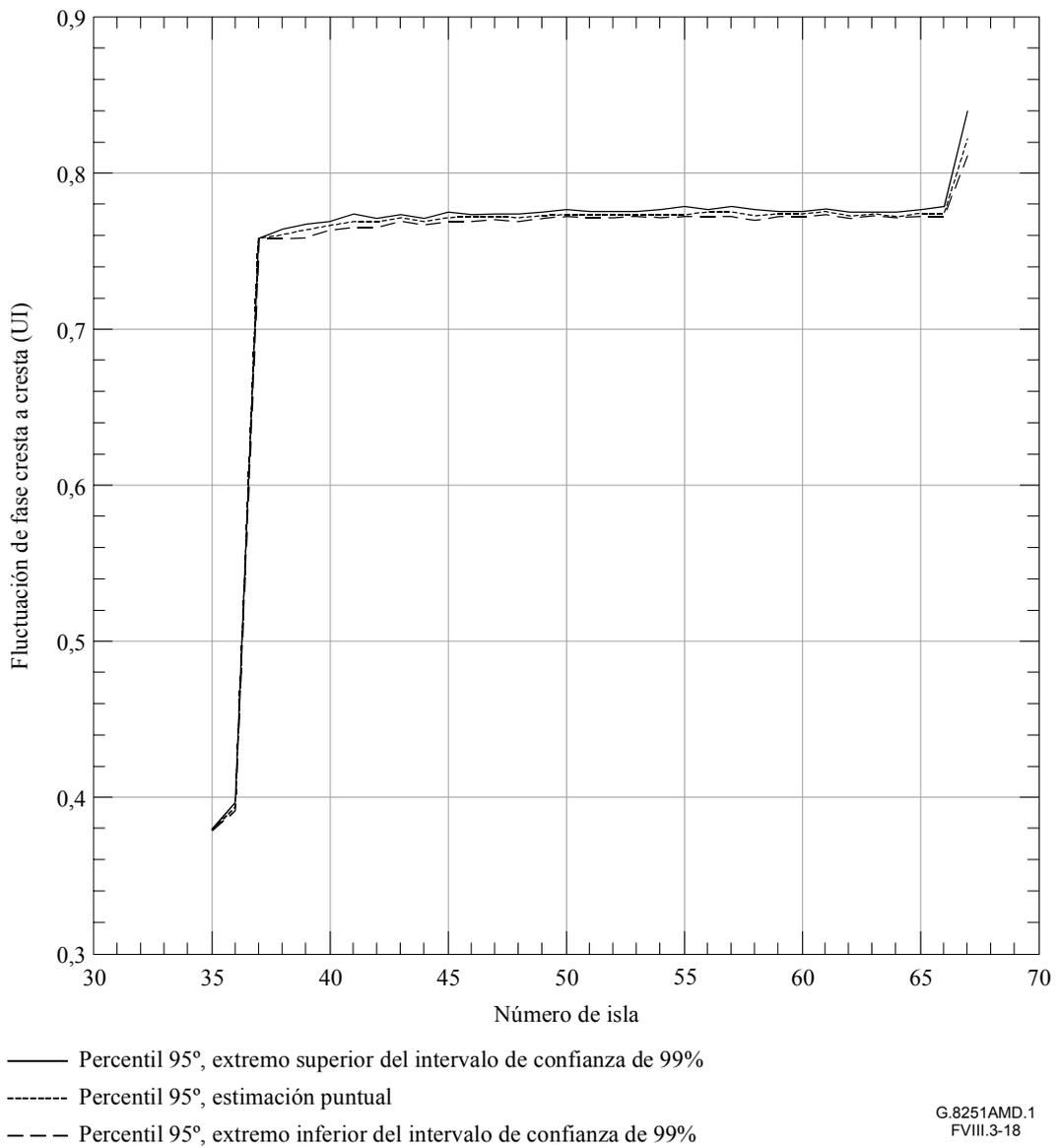
NOTA – Islas ODU2 numeradas de 35 a 67. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Filtro de medición de fluctuación de fase de 5 kHz. Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-16/G.8251 – Resultados de fluctuación de fase de banda ancha cresta a cresta para el cliente ODU1, caso 8 (modelo 2)**



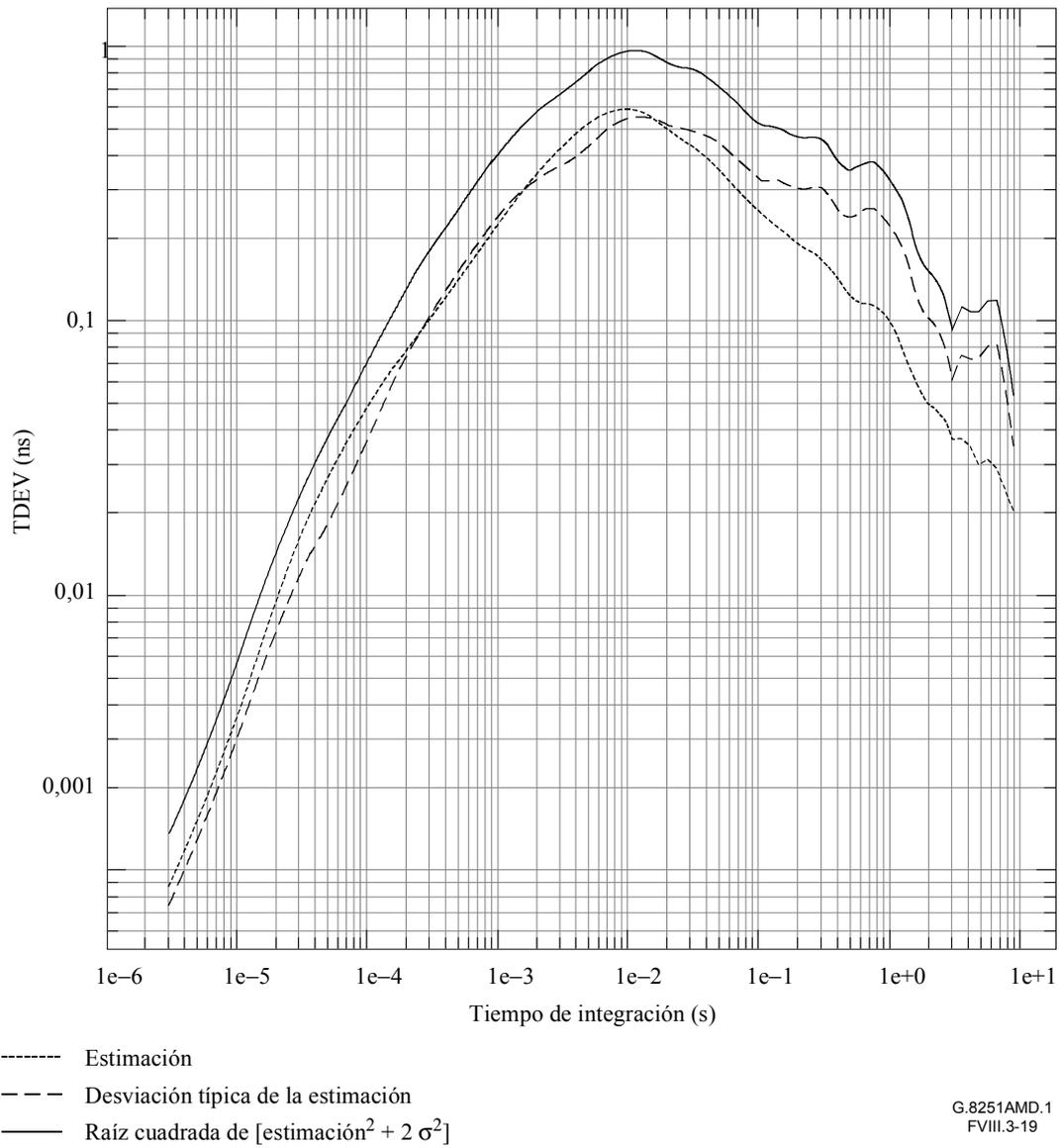
NOTA – Islas ODU2 numeradas de 35 a 67. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Filtro de medición de fluctuación de fase de 5 kHz. Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-17/G.8251 – Resultados de fluctuación de fase de banda ancha cresta a cresta para el cliente ODU1, caso 10 (modelo 2)**



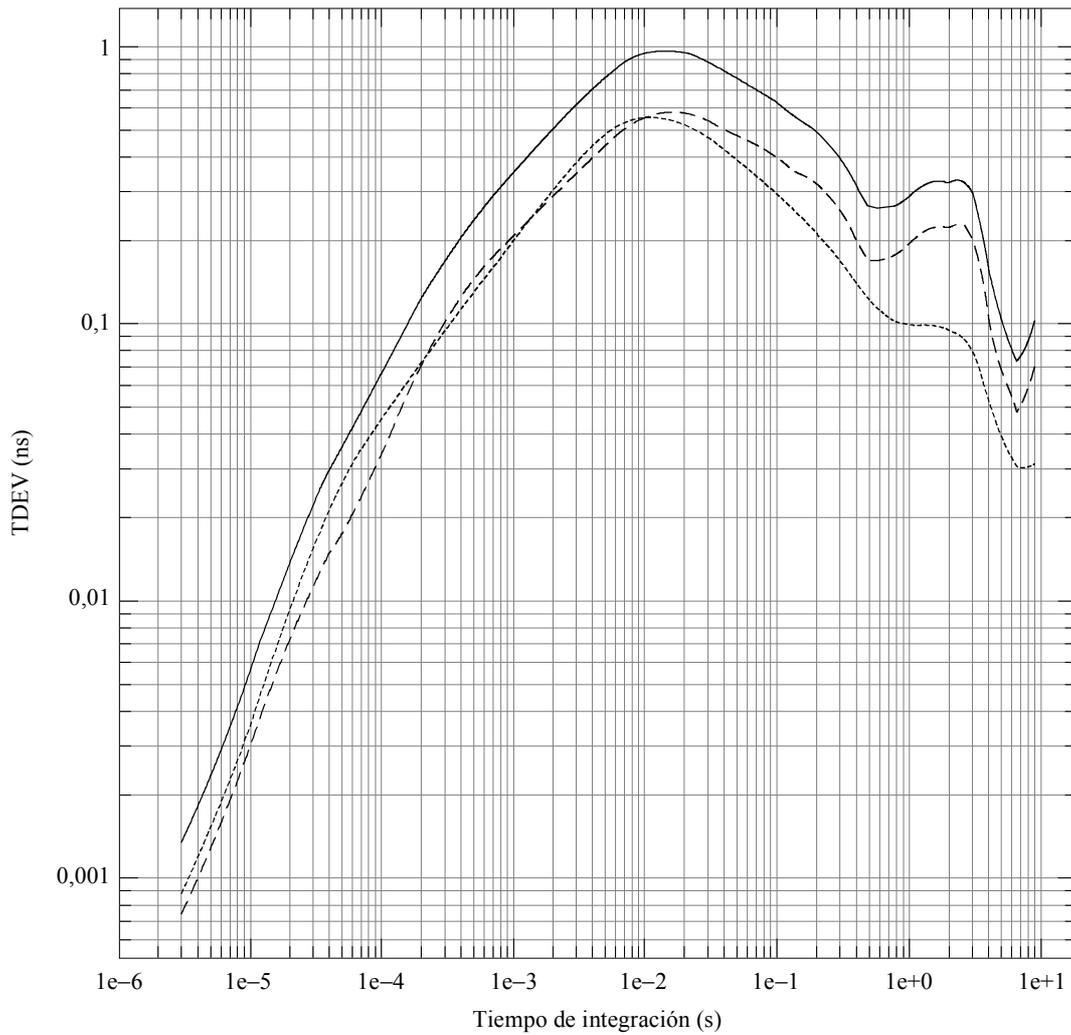
NOTA – Islas ODU2 numeradas de 35 a 67. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Filtro de medición de fluctuación de fase de 5 kHz. Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-18/G.8251 – Resultados de fluctuación de fase de banda ancha cresta a cresta para el cliente ODU1, caso 12 (modelo 2)**



NOTA – Islas ODU1 numeradas de 1 a 34. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-19/G.8251 – Resultados de fluctuación lenta de fase (TDEV) a corto plazo para clientes CBR2G5, caso 1 (modelo 1)**

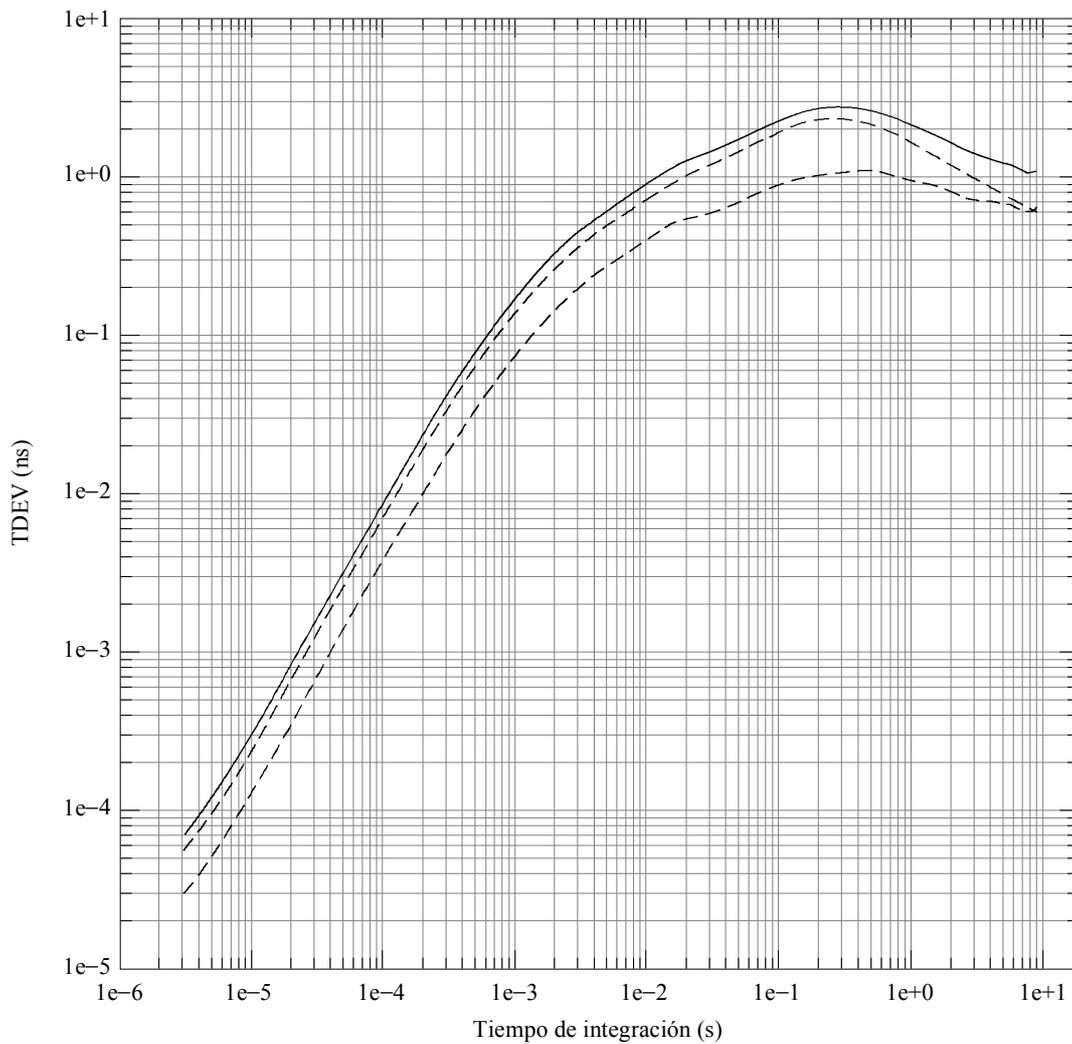


----- Estimación  
 - - - Desviación típica de la estimación  
 ——— Raíz cuadrada de  $[estimación^2 + 2 \sigma^2]$

G.8251AMD.1  
FVIII.3-20

NOTA – Islas ODU1 numeradas de 1 a 34. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-20/G.8251 – Resultados de fluctuación lenta de fase (TDEV) a corto plazo para clientes CBR2G5, caso 2 (modelo 2)**

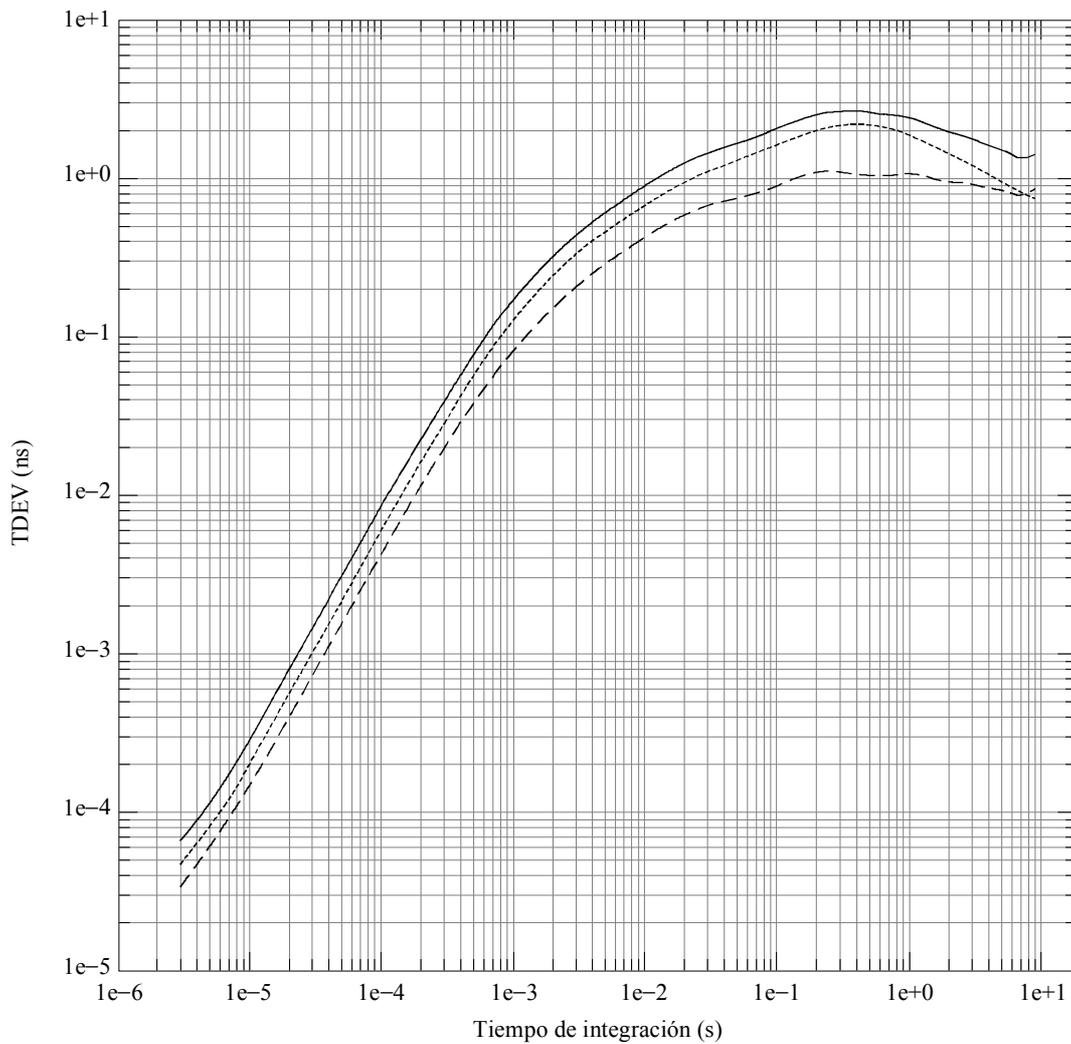


..... Estimación  
 - - - Desviación típica de la estimación  
 — Raíz cuadrada de [estimación<sup>2</sup> + 2 σ<sup>2</sup>]

G.8251AMD.1  
FVIII.3-21

NOTA – Islas ODU1 numeradas de 1 a 34. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-21/G.8251 – Resultados de fluctuación lenta de fase (TDEV) a corto plazo para clientes CBR2G5, caso 3 (modelo 1)**

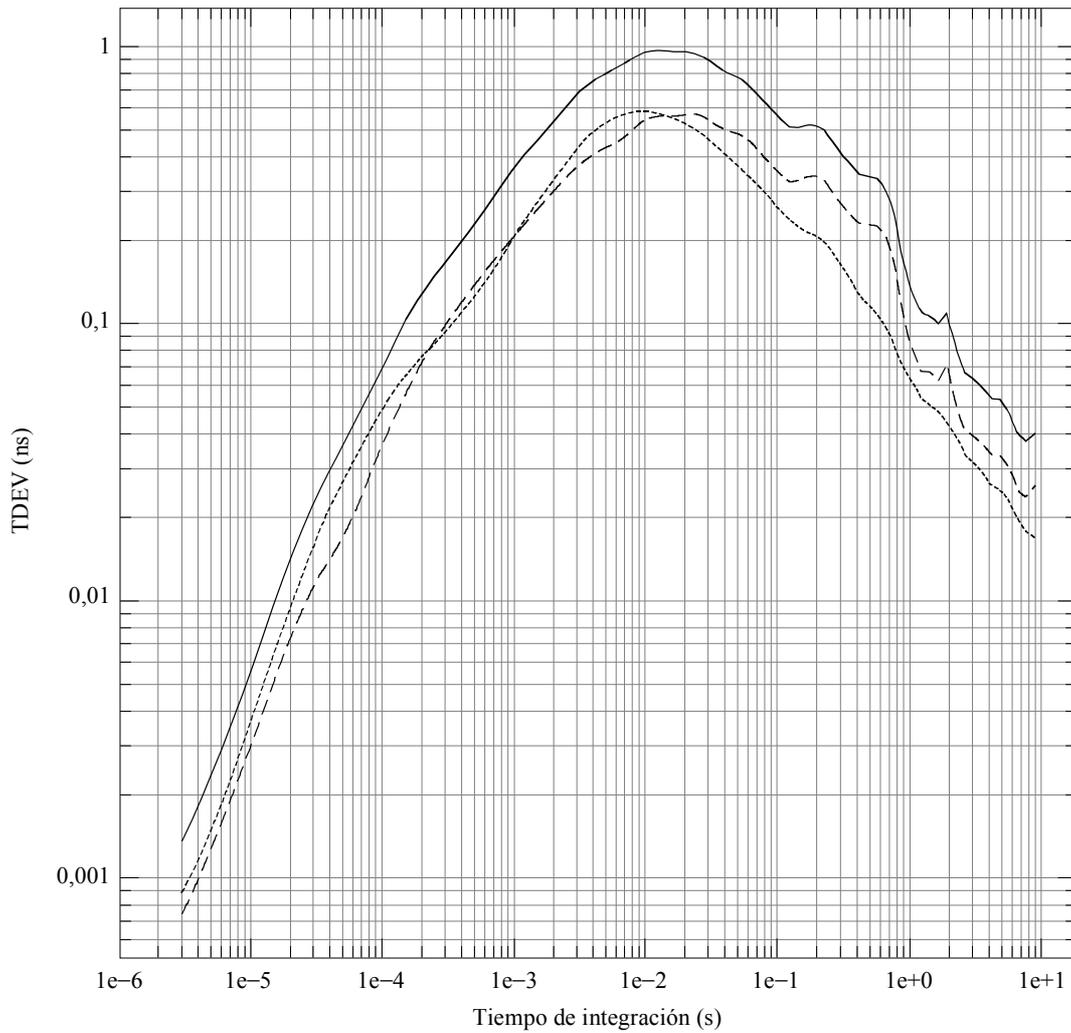


..... Estimación  
 - - - Desviación típica de la estimación  
 ——— Raíz cuadrada de [estimación<sup>2</sup> + 2 σ<sup>2</sup>]

G.8251AMD.1  
FVIII.3-22

NOTA – Islas ODU1 numeradas de 1 a 34. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-22/G.8251 – Resultados de fluctuación lenta de fase (TDEV) a corto plazo para clientes CBR2G5, caso 4 (modelo 2)**

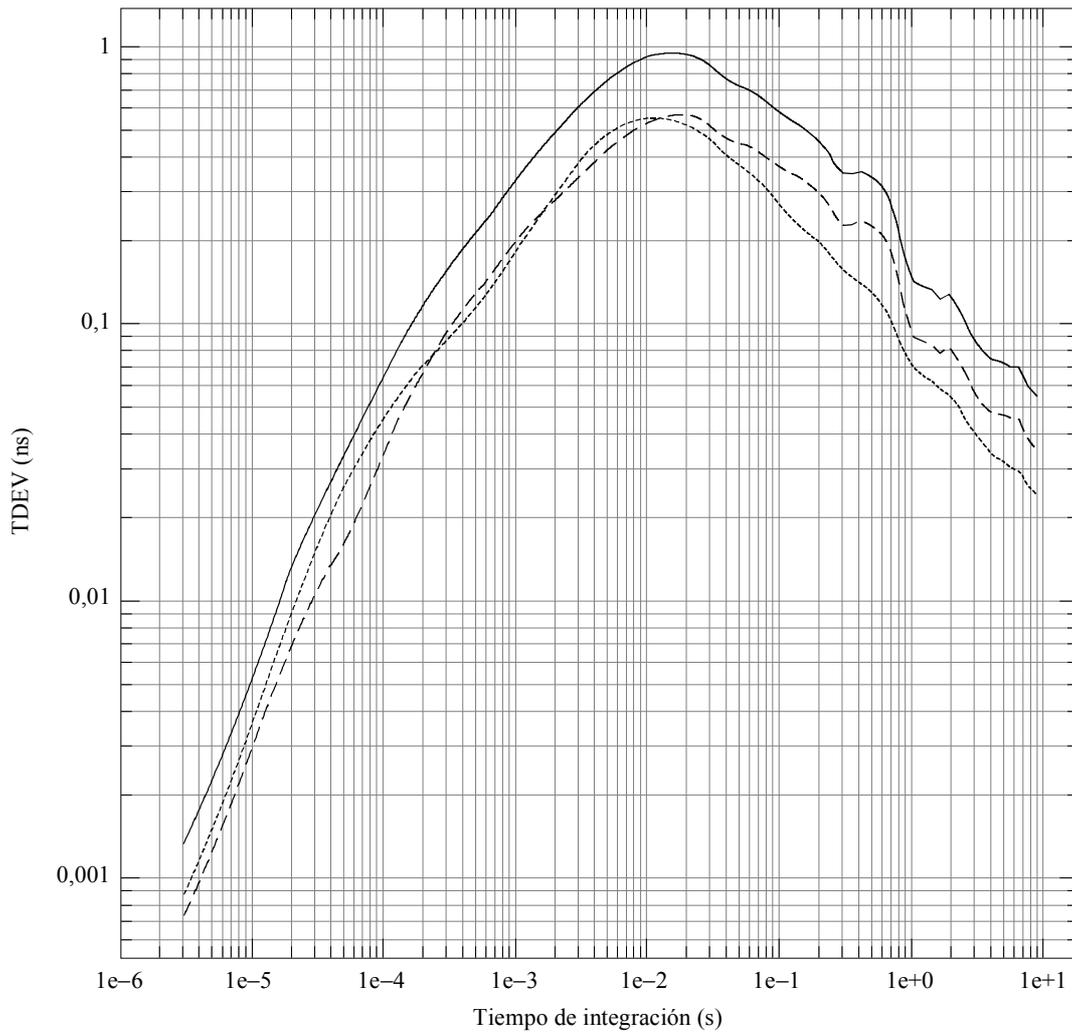


----- Estimación  
 - - - Desviación típica de la estimación  
 ——— Raíz cuadrada de  $[\text{estimación}^2 + 2 \sigma^2]$

G.8251AMD.1  
FVIII.3-23

NOTA – Islas ODU1 numeradas de 1 a 34. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-23/G.8251 – Resultados de fluctuación lenta de fase (TDEV) a corto plazo para clientes CBR2G5, caso 5 (modelo 1)**

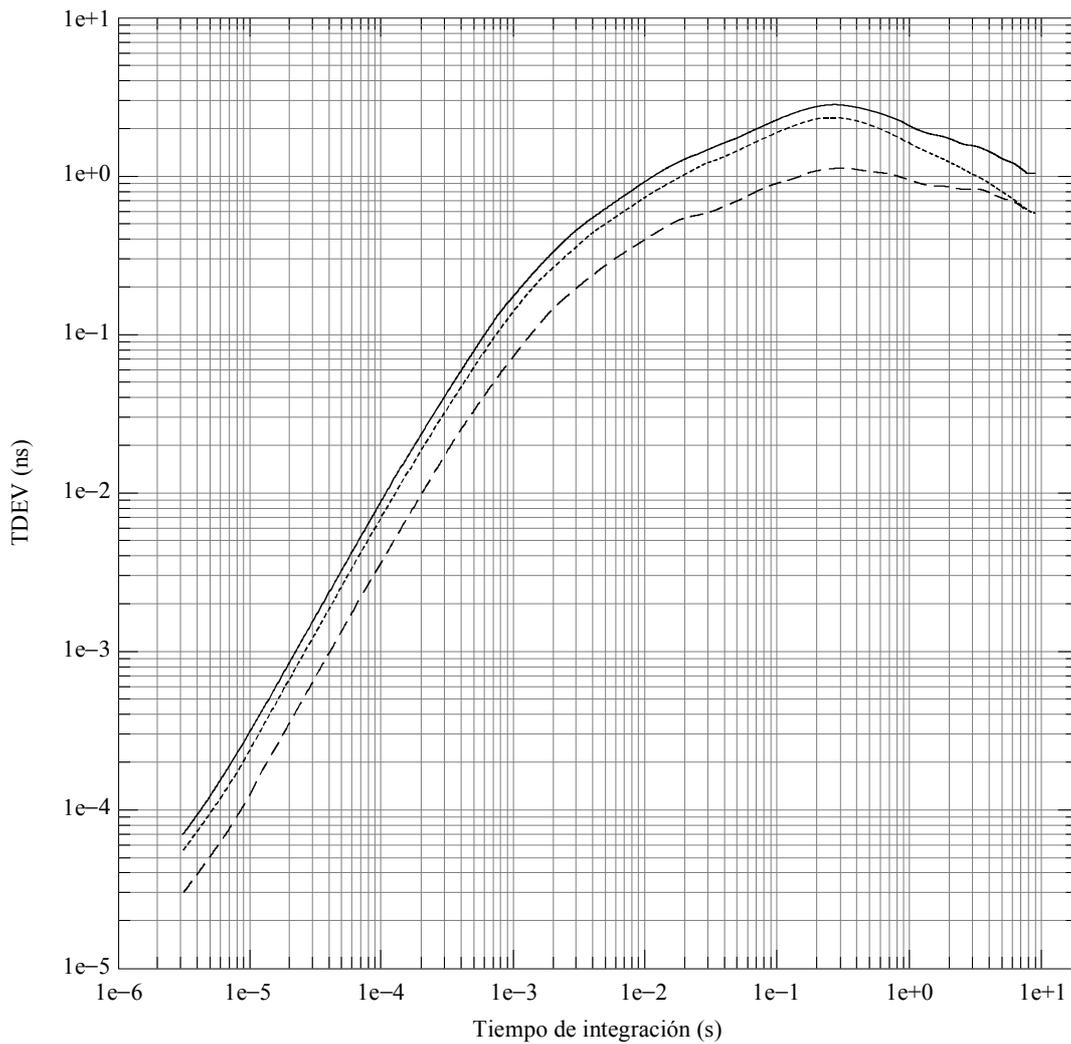


----- Estimación  
 - - - Desviación típica de la estimación  
 ——— Raíz cuadrada de  $[estimación^2 + 2 \sigma^2]$

G.8251AMD.1  
FVIII.3-24

NOTA – Islas ODU1 numeradas de 1 a 34. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-24/G.8251 – Resultados de fluctuación lenta de fase (TDEV) a corto plazo para clientes CBR2G5, caso 6 (modelo 2)**

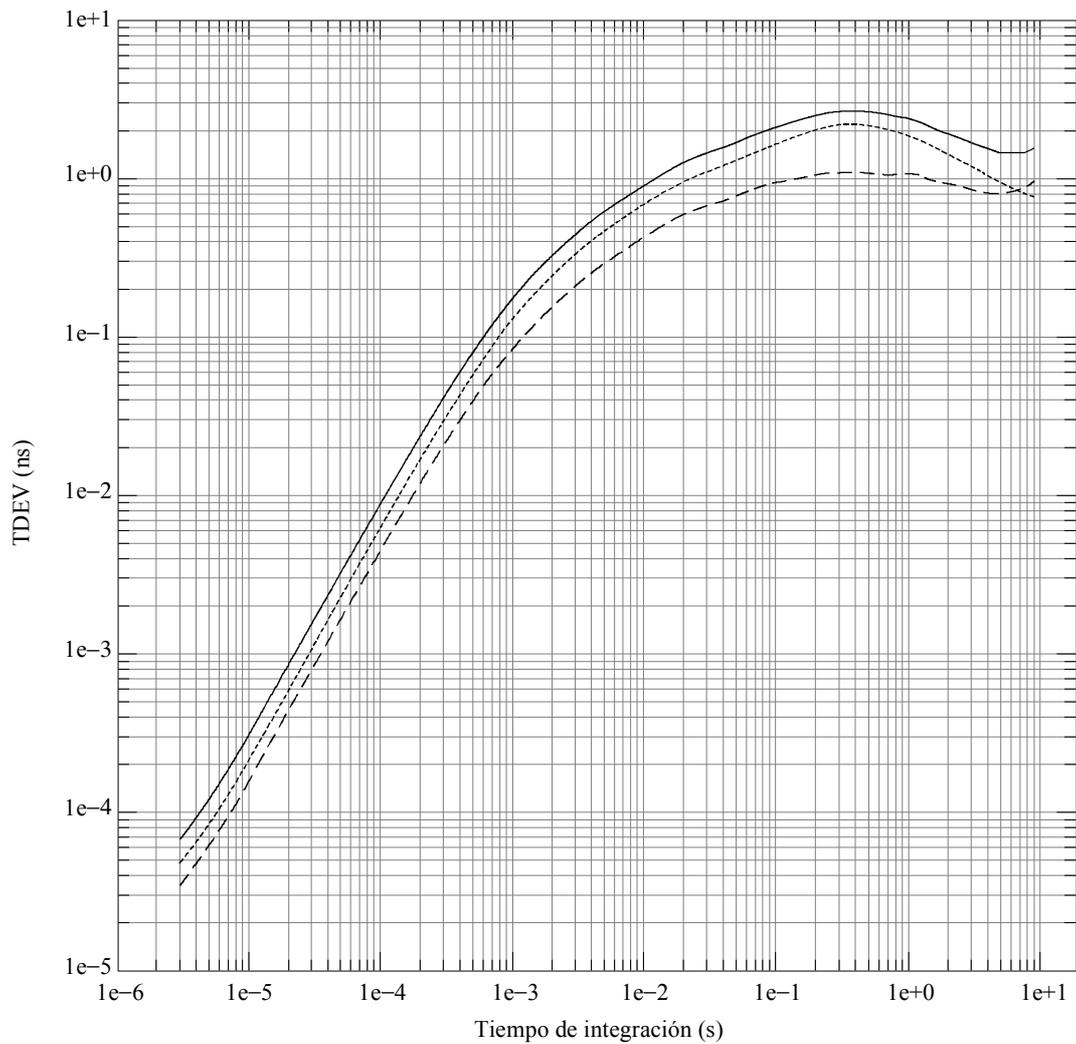


- Estimación
- - - Desviación típica de la estimación
- Raíz cuadrada de  $[\text{estimación}^2 + 2 \sigma^2]$

G.8251AMD.1  
FVIII.3-25

NOTA – Islas ODU1 numeradas de 1 a 34. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-25/G.8251 – Resultados de fluctuación lenta de fase (TDEV) a corto plazo para clientes CBR2G5, caso 7 (modelo 1)**

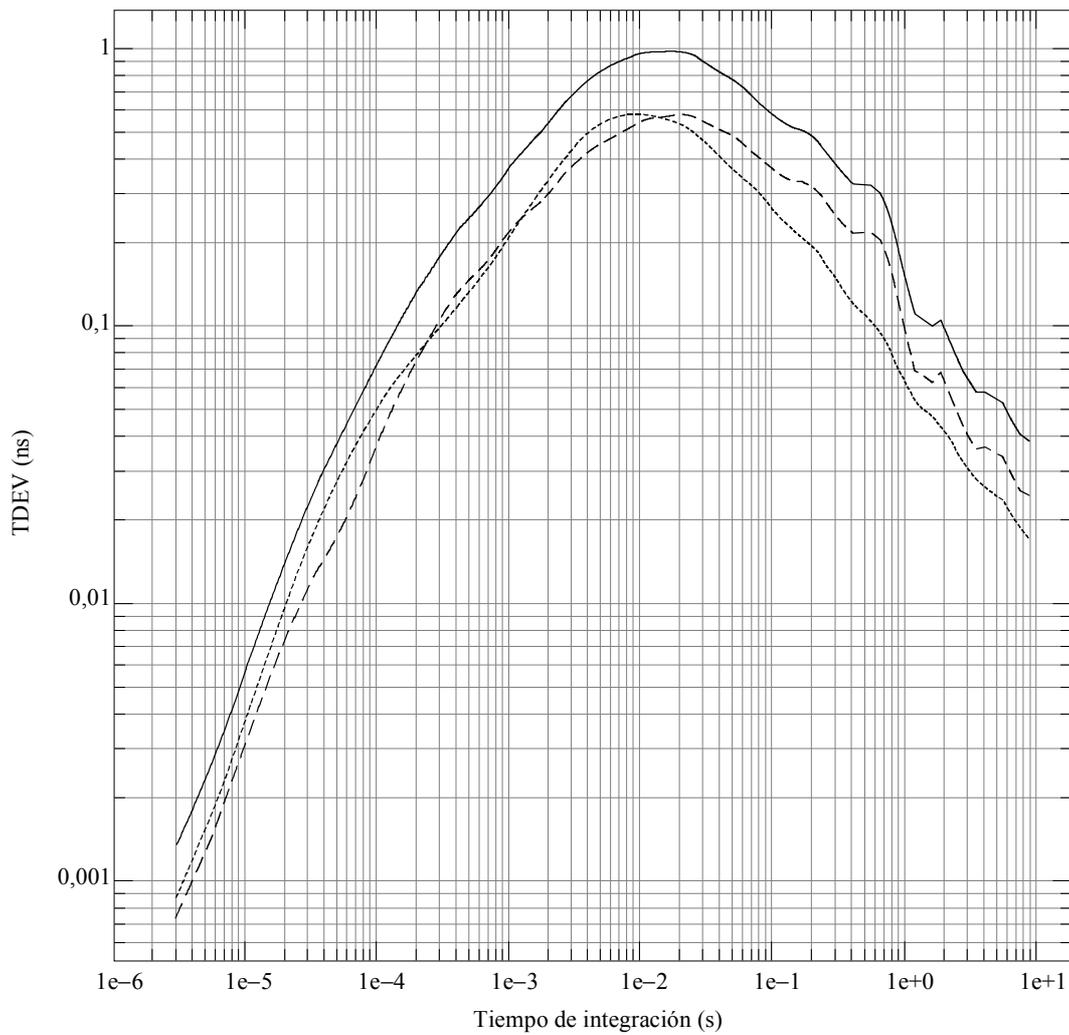


..... Estimación  
 - - - Desviación típica de la estimación  
 — Raíz cuadrada de [estimación<sup>2</sup> + 2 σ<sup>2</sup>]

G.8251AMD.1  
FVIII.3-26

NOTA – Islas ODU1 numeradas de 1 a 34. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-26/G.8251 – Resultados de fluctuación lenta de fase (TDEV) a corto plazo para clientes CBR2G5, caso 8 (modelo 2)**

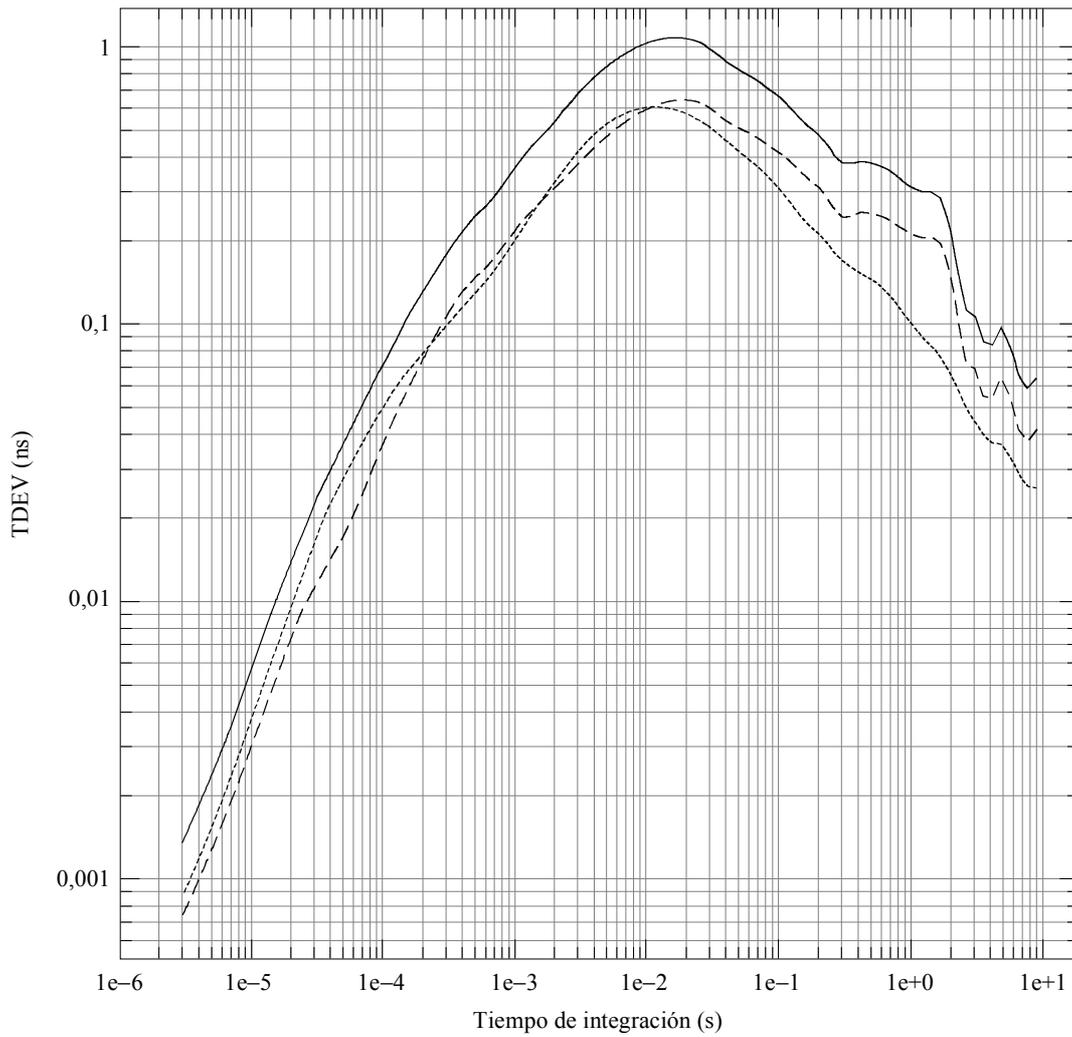


- Estimación
- - - Desviación típica de la estimación
- Raíz cuadrada de  $[\text{estimación}^2 + 2 \sigma^2]$

G.8251AMD.1  
FVIII.3-27

NOTA – Islas ODU1 numeradas de 1 a 34. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-27/G.8251 – Resultados de fluctuación lenta de fase (TDEV) a corto plazo para clientes CBR2G5, caso 9 (modelo 1)**

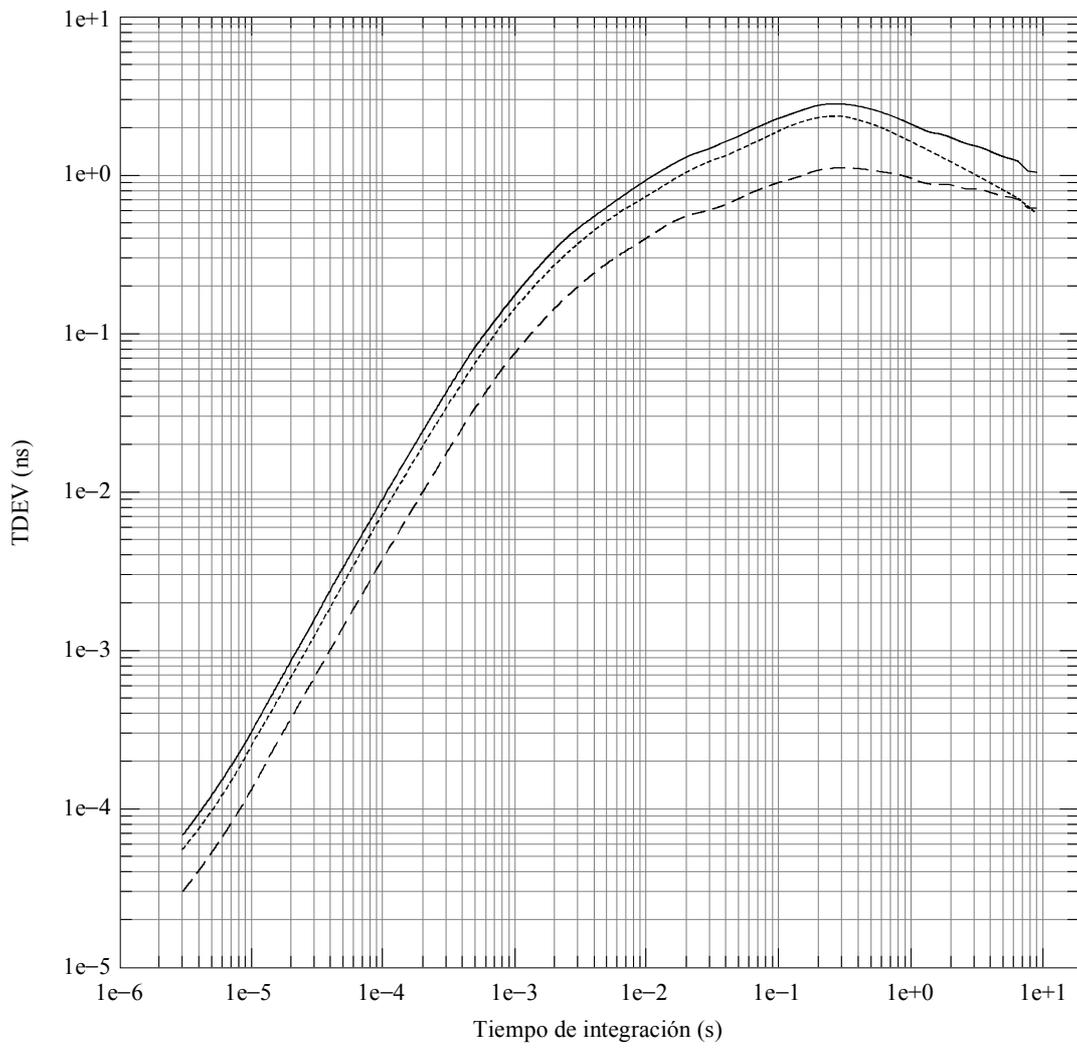


----- Estimación  
 - - - Desviación típica de la estimación  
 ——— Raíz cuadrada de  $[\text{estimación}^2 + 2 \sigma^2]$

G.8251AMD.1  
FVIII.3-28

NOTA – Islas ODU1 numeradas de 1 a 34. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-28/G.8251 – Resultados de fluctuación lenta de fase (TDEV) a corto plazo para clientes CBR2G5, caso 10 (modelo 2)**

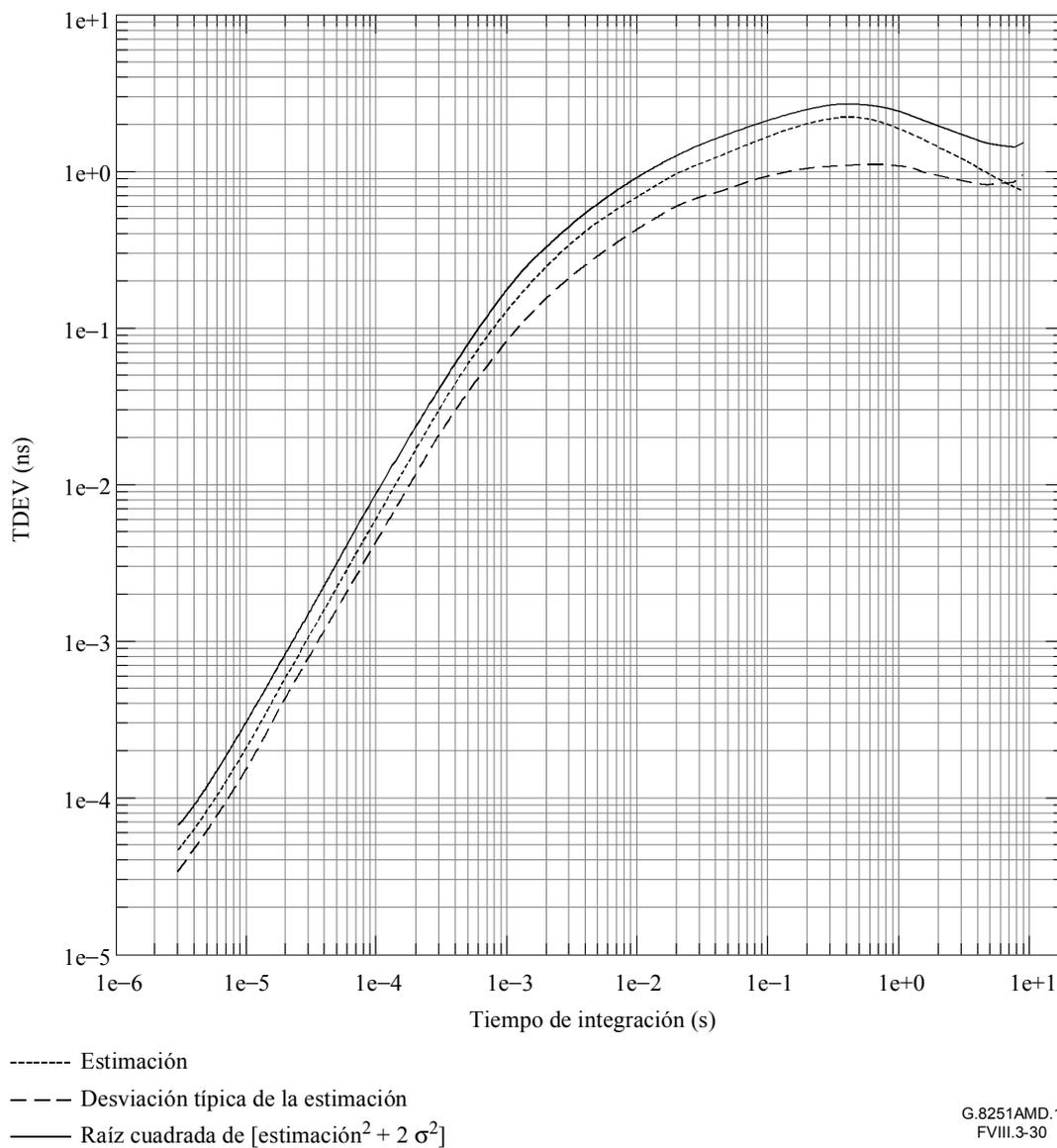


..... Estimación  
 - - - Desviación típica de la estimación  
 — Raíz cuadrada de [estimación<sup>2</sup> + 2 σ<sup>2</sup>]

G.8251AMD.1  
FVIII.3-29

NOTA – Islas ODU1 numeradas de 1 a 34. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-29/G.8251 – Resultados de fluctuación lenta de fase (TDEV) a corto plazo para clientes CBR2G5, caso 11 (modelo 1)**



NOTA – Islas ODU1 numeradas de 1 a 34. Desincronizador de 300 Hz a todos los niveles (con cresta de ganancia de 0,1 dB). Las demás suposiciones son las de los cuadros VIII.1 y VIII.2.

**Figura VIII.3-30/G.8251 – Resultados de fluctuación lenta de fase (TDEV) a corto plazo para clientes CBR2G5, caso 12 (modelo 2)**





## 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  |
| <b>Serie G</b> | <b>Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales</b>   |
| Serie H        | Sistemas audiovisuales y multimedios  |
| Serie I        | Red digital de servicios integrados   |
| Serie J        | Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedios                                      |
| 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  |