

**CRITERIOS PARA EL MONITOREO DEL CANAL ÓPTICO Y LA INCIDENCIA DE LOS
PARÁMETROS QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LA SEÑAL OPTICA EN EL DESEMPEÑO DE
UNA RED METROPOLITANA WDM**

ANEXOS



**ANDRÉS FELIPE ESCALLÓN PORTILLA
JAMES ROLANDO BARRIOS LIS**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
GRUPO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN TELECOMUNICACIONES
POPAYÁN
Mayo de 2008**

**CRITERIOS PARA EL MONITOREO DEL CANAL ÓPTICO Y LA INCIDENCIA DE LOS
PARÁMETROS QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LA SEÑAL OPTICA EN EL DESEMPEÑO DE
UNA RED METROPOLITANA WDM**

ANEXOS

**ANDRÉS FELIPE ESCALLÓN PORTILLA
JAMES ROLANDO BARRIOS LIS**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**

**Director
Ing. Esp. ALEJANDRO TOLEDO TOVAR**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
GRUPO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN TELECOMUNICACIONES
POPAYÁN
Mayo de 2008**

ANEXOS

ANEXO A – DEGRADACIONES ÓPTICAS.....	4
PARTE 1: DIAFONÍA ÓPTICA.....	4
PARTE 2: JITTER.....	9
ANEXO B – HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN (OptiSystem 6.0).....	12
PARTE 1. REQUERIMIENTOS HARDWARE Y SOFTWARE.....	12
PARTE 2. DESCRIPCIÓN DE OPTISYSTEM 6.0.....	12

ANEXO A – DEGRADACIONES ÓPTICAS

PARTE 1: DIAFONÍA ÓPTICA

Es una perturbación causada por el campo eléctrico o magnético en una comunicación de una señal que afecta a otra señal en un circuito adyacente, produciendo una señal resultante la cual es la suma de la señal transmitida y otra señal externa atenuada que aparece de fondo. Por ejemplo, en una conversación telefónica, este fenómeno se experimenta como una segunda conversación que se escucha de fondo y está mezclada con la señal original.

Sin embargo, dentro del contexto óptico la diafonía se presenta de forma diferente debido a que las señales son transmitidas por medio de luz, por tanto, en sistemas WDM dicho fenómeno se manifiesta como la perturbación que puede ocasionar interferencia entre una longitud de onda frente a otra, dependiendo de la separación que exista entre ellas (interferencia de los canales).

En el suplemento 39 a las Recs UIT-T de la serie G “Consideraciones sobre Diseño e Ingeniería de Sistemas Ópticos” [61] se usan unas expresiones particulares con el fin de puntualizar los efectos de la diafonía óptica, de acuerdo con la tabla A.1.1.

Tabla A.1.1. Expresiones utilizadas. [Fuente: Suplemento 39 a las Recs. UIT-T de la serie G].

Parámetro [unidad]	Símbolo utilizado	Se define en la Rec. UIT-T	Definición
Parámetros del Sistema			
Penalización de Diafonía entre Canales [dB]	<i>PC</i>	–	Penalización asignada en el balance del sistema, correspondiente a la diafonía entre canales.
Penalización de Diafonía Interferométrica [dB]	<i>PI</i>	–	Penalización asignada en el balance del sistema, correspondiente a la diafonía interferométrica.
Diferencia de potencia del Canal [dB]	<i>d</i>	G.959.1	Máxima diferencia de potencia admisible entre los canales que llegan a un dispositivo.
Tasa de Extinción (lineal en este contexto)	<i>r</i>	G.691	Relación de la potencia en el centro de un uno a la potencia en el centro de un cero.
Penalización de cierre del Ojo [dB]	<i>E</i>		Penalización de sensibilidad del receptor debida a todos los efectos del cierre del ojo. Esto incluye la penalización de cierre del ojo del transmisor y de la dispersión cromática.
Parámetros de los Componentes			
Atenuación de Inserción [dB]	<i>IL</i>	G.671	Reducción de potencia entre el puerto de entrada y el de salida, a la longitud de onda del canal deseado.
Aislamiento Unidireccional [dB]	<i>I</i>	G.671	Diferencia entre la atenuación del dispositivo a la longitud de onda del canal perturbador y la atenuación a la longitud de onda del canal deseado.
Aislamiento de Canal Adyacente [dB]	<i>IA</i>	G.671	Aislamiento del dispositivo a la longitud de onda de un canal por encima y a la de uno por debajo del canal deseado.
Aislamiento de Canal no Adyacente [dB]	<i>INA</i>	G.671 (en estudio)	Aislamiento del dispositivo a las longitudes de onda de todos los canales perturbadores excepto de los canales adyacentes.

A continuación se mencionan los dos tipos de diafonía óptica: *Diafonía entre Canales*, y *Diafonía Interferométrica o Diafonía Intracanal*.

1.1. Diafonía entre Canales [61]

Se llama diafonía entre canales (C_C) a la perturbación que ejercen los canales adyacentes sobre el canal deseado, en otras palabras, según [61], “es la relación de la potencia total en los canales perturbadores a la del canal deseado”, aclarando que las longitudes de onda de los canales deseado y adyacentes son diferentes.

Como se muestra en la figura A.1.1, la diafonía entre canales se produce especialmente debido a la demultiplexación anómala de una señal de transmisión multicanal en sus canales individuales, previamente a la transferencia hacia un conjunto de receptores monocanal.

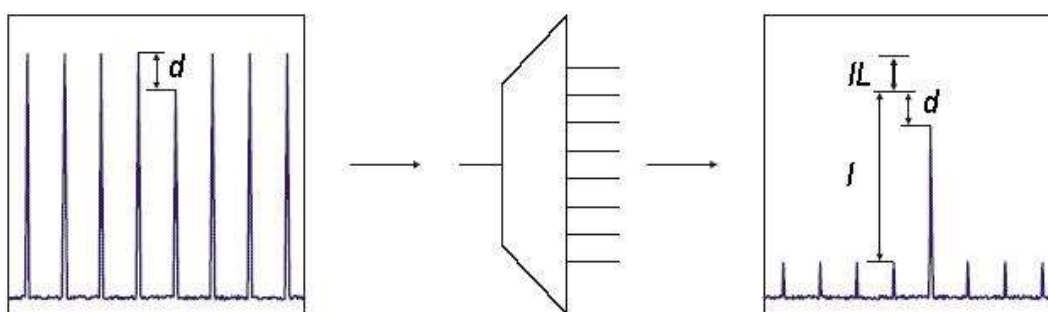


Figura A. 1.1. Ejemplo de un Demultiplexor sencillo.

[Fuente: Suplemento 39 a las Recs. UIT-T de la serie G].

El proceso más nocivo para un canal es cuando su potencia de transmisión se encuentra en el valor mínimo y el resto de los canales contiguos se encuentran en su máximo, como se observa en la figura A.1.1, existiendo un máximo permisible en esta diferencia que se representa por d (dB). Cabe notar que cuando los canales no deseados salen de los puertos de salida individual, se ven atenuados con respecto al canal deseado en una cantidad igual al aislamiento unidireccional (I); por esta razón, si la potencia con la que entran fuera la misma, el resultado a la salida sería óptimo teniendo un valor nulo para los canales no deseados.

El nivel máximo de diafonía óptica tolerable en un sistema óptico tratado, está regido por la penalización de diafonía entre canales (P_C), parámetro asignado en el balance del sistema. A partir de esta y de otros parámetros, se deben obtener las medidas de aislamiento del demultiplexor necesarias.

La diafonía entre canales se puede calcular por medio de la siguiente ecuación, donde K corresponde al número de canales:

$$C_C (dB) = d - I + 10 \log_{10} (k - 1) \quad (A.1.1)$$

En la realidad los demultiplexores brindan un mayor valor de aislamiento para los canales más cercanos (I_A) y menor para los canales no adyacentes (I_{NA}), como se indica en la figura A.1.2.

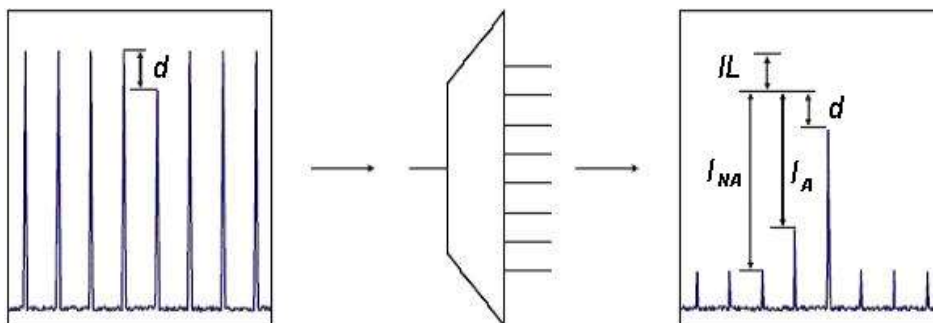


Figura A.1.2. Ejemplo más realista de un Demultiplexor.

[Fuente: Suplemento 39 a las Recs. UIT-T de la serie G].

Por consiguiente, la fórmula de la diafonía entre canales queda:

$$C_C (dB) = d + 10 \log_{10} \left(2 \times 10^{\frac{-I_A}{10}} + (k-3) 10^{\frac{-I_{NA}}{10}} \right) \quad (A.1.2)$$

Es de notar que si en algún caso los valores de I_A y de I_{NA} son diferentes, existe la posibilidad de que la penalización de diafonía entre distintos canales (P_C) tengan igual valor C_C total.

Por otra parte, las curvas de penalización óptica inducida en función de la diafonía entre canales de un sistema real para varias hipótesis se muestran en la figura A.1.3. Cabe notar que dichas curvas se encuentran por debajo de la curva superior. Además, es importante resaltar que la P_C (penalidad de diafonía) también depende de las velocidades binarias relativas de las señales deseada e interferente y de los códigos de línea, ya sea No Retorno a Cero (NRZ, *Non Return to Zero*) o Retorno a cero (RZ, *Return to Zero*) y r hace referencia a la tasa de extinción lineal.

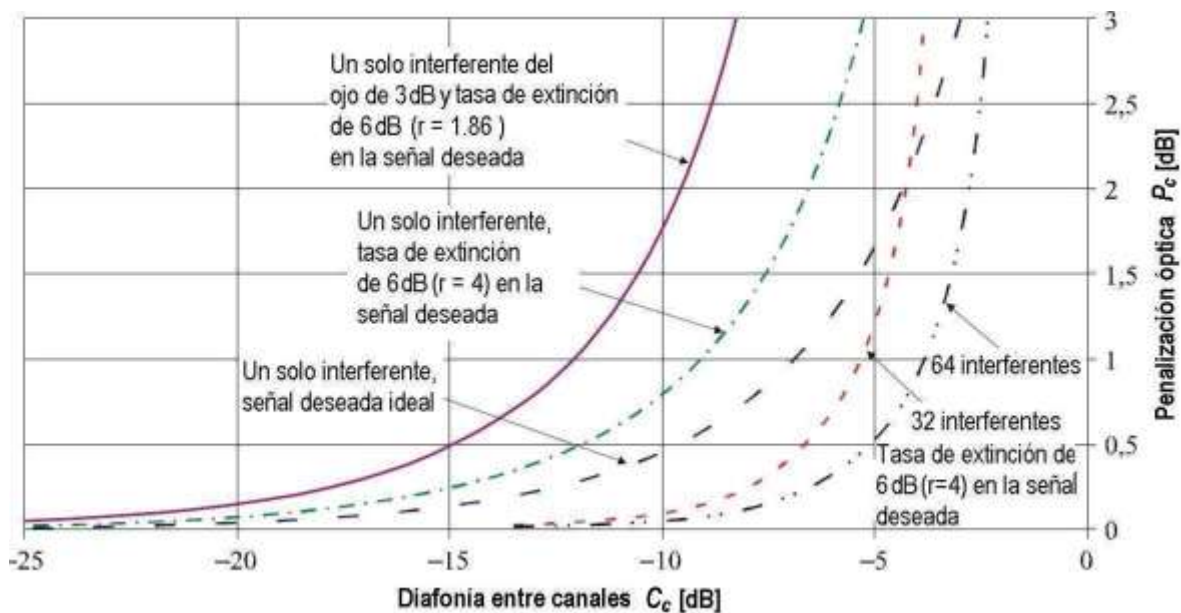


Figura A.1.3. Curvas de penalización óptica en función de la Diafonía entre Canales.

[Fuente: Suplemento 39 a las Recs. UIT-T de la serie G].

1.2. Diafonía Interferométrica o Intracanal [61]

En [61], se define diafonía interferométrica o intracanal (C_I) como: “La relación de la potencia perturbadora (sin incluir la ASE) a la potencia deseada en un solo canal (longitud de onda)”.

La diafonía interferométrica se produce cuando el canal deseado y el canal perturbador están en las mismas longitudes de onda nominales, a diferencia de la diafonía entre canales (donde las longitudes de onda de los canales son diferentes). Este efecto se puede presentar en cuatro casos:

- Se presenta cuando se introduce una nueva longitud de onda a un OADM y aun no se ha eliminado en su totalidad la otra longitud de onda.
- Se da en caso de que un transmisor perturbe la longitud de onda a la cual trabaja otro canal debido a una utilización inadecuada de la potencia; esto se denomina diafonía del lado transmisor según la Rec. G.692.
- Cuando llegue luz a un receptor proveniente de más de una fibra, por falta de aislamiento de conmutación.
- Por interferencia multitrayecto, cuando la luz llega al receptor por diferentes caminos.

A manera de ejemplo, para el caso de un solo interferente, es posible modelar la diafonía interferométrica como si tuviera una función de densidad de probabilidad limitada.

Así, la penalización de esta diafonía para el umbral de decisión de potencia medio es:

$$P_I = 10 \log_{10} \left(\frac{\frac{r-1}{r+1}}{\frac{r-1}{r+1} + 10^{\frac{C_I}{10}} - 4 \sqrt{\frac{r}{r+1} 10^{\frac{C_I}{10}}}} \right) dB \quad (A.1.3)$$

y la penalización de esta diafonía para el umbral de decisión optimizado es:

$$P_I = -10 \log_{10} \left(1 - 2 \left(\frac{(1 + \sqrt{r}) \sqrt{10^{\frac{C_I}{10}} (r+1)}}{r-1} \right) \right) dB \quad (A.1.4)$$

Para (A.1.3) y (A.1.4), se tiene en cuenta el efecto de la tasa de extinción imperfecta.

La penalización de diafonía interferométrica para una señal deseada con una tasa de extinción de 6 dB, se indica en la figura A.1.4.

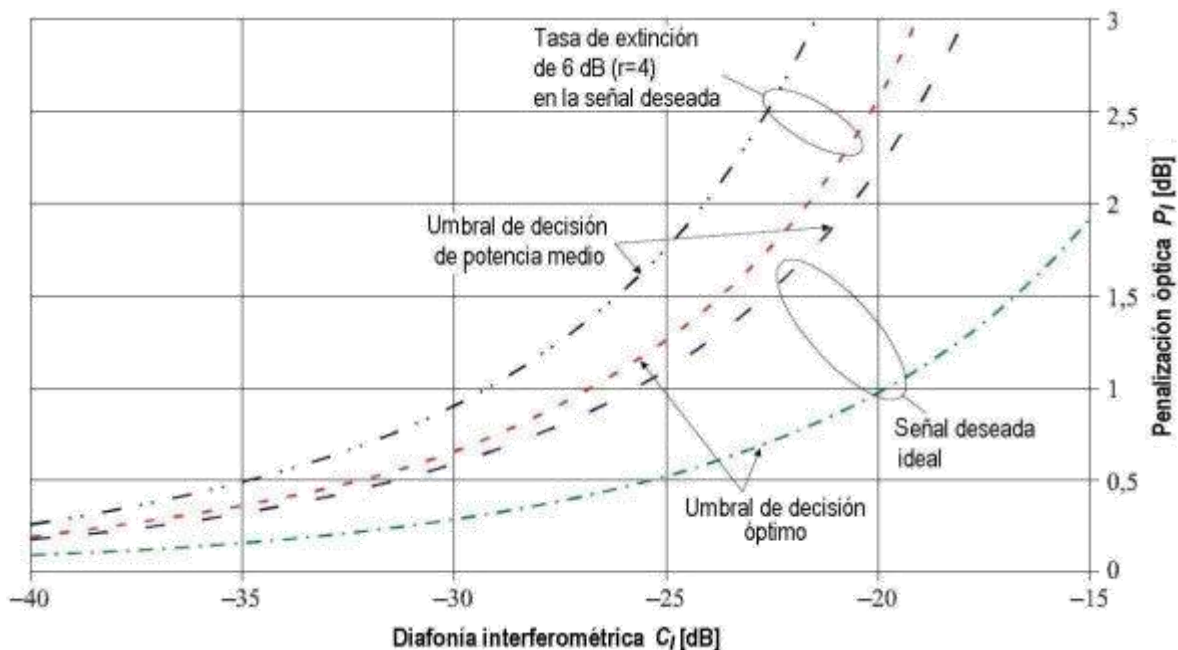


Figura A.1.4. Curvas de penalización óptica en función de la Diafonía Interferométrica con un solo interferente (modelo limitado). [Fuente: Suplemento 39 a las Recs. UIT-T de la serie G].

Es importante decir que para el caso de varios interferentes, la función de densidad de probabilidad se vuelve aproximadamente gaussiana y se puede calcular la penalización de diafonía óptica de un receptor PIN. Para mayor información referirse a [61].

Cuando se tiene un único canal interferente existen dos casos límites, representados por las siguiente ecuación:

$$P_I = -10 \log_{10} \left(1 - 10^{\frac{C_c}{10}} \left(\frac{r+1}{r-1} \right) \right) dB \quad (A.1.5)$$

donde: r representa la tasa de extinción lineal.

Es de notar que en la anterior ecuación no se ha tenido en cuenta la posibilidad de que por problemas en el trayecto o en el transmisor se obtenga una menor apertura en el diagrama de ojo, para esto se debe incluir en el cálculo de r' tanto el cierre del ojo como la tasa de extinción,

$$r' = \left(\frac{(r+1) + 10^{\frac{-E}{10}} (r-1)}{(r+1) - 10^{\frac{-E}{10}} (r-1)} \right) \quad (A.1.6)$$

La penalización de cierre del ojo esta representada por E en dB.

Cuando se tiene un número mayor de canales interferentes con la misma amplitud, la diafonía tiene un comportamiento similar al ruido, por tanto se puede usar una aproximación gaussiana y para obtener una penalización efectiva se debe llevar a cabo una convolución con respecto la distribución del ruido ASE del receptor, como se observa en los métodos de [63] y [64] y usando una distribución binomial la ecuación queda:

$$P_C = -5 \log_{10} \left(1 - \frac{10^{\frac{2C_C}{10}}}{k-1} Q^2 \left(\frac{r+1}{r-1} \right)^2 \right) \quad (\text{A.1.7})$$

Donde:

$$Q = \sqrt{2} \operatorname{erfc}^{-1}(2 \times \text{BER}) , \text{ para una BER de } 10^{-12}, Q \approx 7,03.$$

La manera de aislar los canales de forma optima seria:

Obtener un valor P_C y d , los cuales dependen de las características de cada sistema, y obtener el valor para C_C a partir de P_C .

Cuando hay una gran diferencia entre I_A e I_{NA} y el modelo gaussiano, además I_A es igual I_{NA} y el valor de k es alto, el modelo necesario se encuentra entre las dos señales interferentes.

Y estos valores se remplazan en la siguiente ecuación:

$$CC = d - l + 10 \log_{10} (k - 1) \quad (\text{A.1.8})$$

Para mayor información referirse a [61].

PARTE 2: JITTER

El jitter puede considerarse como una degradación óptica por que OPM lo define como un daño de transmisión óptica, el cual afecta la calidad de la señal óptica, aunque en las recomendaciones de la UIT-T no aparezca clasificado como una degradación óptica en sí.

Es el efecto por el cual el retardo entre paquetes no es constante, describe la inestabilidad en el eje del tiempo. Se trata de una latencia variable producida por la congestión de tráfico en el núcleo de red, por distinto tiempo de tránsito de paquetes debido a que la red es no orientada a la conexión, etc. Se puede reducir priorizando el tráfico de voz al de datos. En vídeo el jitter aparece como una vibración de la imagen y ruptura de la misma. Se utilizan equipos especiales (corrector de base de tiempos), principalmente digitales, para corregir el jitter¹.

A medida que los sistemas de comunicación avanzan, incrementan su tasa de transmisión; en estos días se encuentran transmisiones del orden de los Gbps; por esta razón el jitter se convierte en la fuente mas importante de los errores en la transmisión, por consiguiente es importante reconocer y cuantificar los

¹ Tomado de: http://www.adiptel.com/soluciones/calidad_servicio.php

componentes del jitter, de esta forma se favorece la depuración de los sistemas de alta velocidad tales como, SONET, SDH y Gigabit Ethernet [62].

El efecto de jitter se refiere a la variación de fase en una señal óptica, si este es menor a 10 Hz el efecto se conoce como *wander*. Además, el *jitter* y el *wander* pueden causarse por un sobre flujo o un sub-flujo que conduce a tener unos *deslizamientos de bit*. Es importante tener en cuenta que las señales con *jitter* no se pueden muestrear de manera adecuada².

El límite teórico para un correcto muestreo en una alta frecuencia de jitter es la mitad del ancho de bit.

En comunicaciones digitales el jitter es el desplazamiento entre la posición esperada de la transición de la señal y la posición real de la transición, es la variación de los flancos significativos en un tren de bits de datos, en relación a sus posiciones ideales. Como se muestra en la Figura A.2.1, el “jitter” (e_i) es la diferencia entre el tiempo (t_i) esperado para la ocurrencia de un evento y el tiempo (t_i) en que dicho evento realmente ocurre [62].

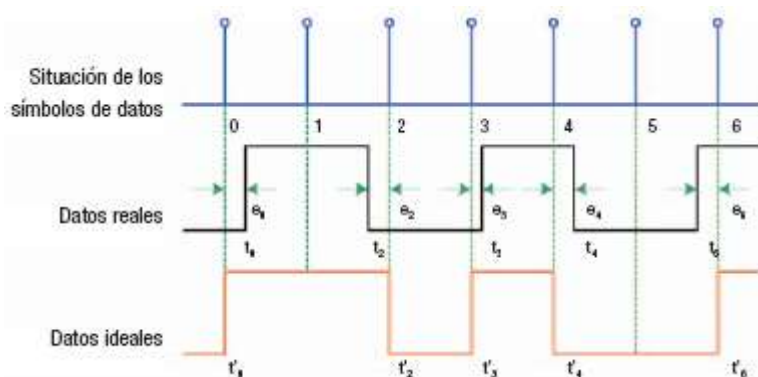


Figura A.2.1. Definición de Jitter. [Fuente: <http://www.afc-ingenieros.com/NotasTecn/Osciloscopios/AnalisisJitter.pdf>].

Por otra parte, las comunicaciones de datos tipo serie son más afectadas por el jitter ya que en estas transmisiones el reloj de los datos no se transmite usualmente con estos, por consiguiente el exceso de jitter en la señal de datos del transmisor provocará errores de recuperación de los datos en el extremo receptor [62].

Por esta razón los sistemas de comunicaciones deben manejar un margen de tolerancia del jitter, con el fin de que los transmisores y recetores puedan trabajar correctamente [62].

2.1. Tipos de Jitter [62]

El “jitter” se divide en dos clases generales: “jitter” determinístico y “jitter” aleatorio. Estas dos categorías de “jitter” se acumulan de formas diferentes en los procesos de comunicaciones de datos serie. El jitter aleatorio se considera un componente ilimitado, adoptando normalmente una distribución Gaussiana y, por tanto, ciertas reglas estadísticas.

² Tomado de: <http://www.iec.uia.mx/proy/titulacion/proy04/Capitulo%20I.htm>

2.1.1. Jitter Determinístico (Dj) [62]

Se considera limitado y posee una distribución no Gaussiana y esta compuesto por: Interferencia Intersímbolo (ISI), Distorsión del Ciclo de Trabajo y Jitter Periódico.

2.1.1.1. Interferencia InterSímbolo (ISI) [62]

Causada típicamente por la dispersión de las señales o por filtrado; ocurre cuando la señal llega al umbral del receptor en instantes diferentes al partir de diferentes lugares en secuencias de bits (símbolos).

2.1.1.2 Distorsión del Ciclo de Trabajo [62]

Es la diferencia en la anchura media de los pulsos positivos contrastada con la de los pulsos negativos en un tren de bits similar al reloj. Puede ser ocasionada por retardos de activación y saturación o por errores de desplazamiento de amplitud.

2.1.1.3. Jitter Periódico [62]

Es el jitter periódico y se repite cíclicamente con una periodicidad que no está correlacionada con los datos. Una causa típica de este es utilizar una fuente de alimentación conmutada. El jitter periódico puede estar modulado por una o más ondas sinusoidales y sus armónicos.

2.1.2. Jitter Aleatorio (Rj) [62]

Según [62] *“Muestra una distribución Gaussiana que es teóricamente ilimitada en amplitud. La distribución Gaussiana está caracterizada por su valor cuadrático medio o desviación estándar. Es fácilmente demostrable que, en promedio, cualquier variable aleatoria Gaussiana sobrepasará en un margen de 14 veces su desviación estándar solamente alrededor de una vez cada 10^{-12} . Si al sobrepasar este margen se genera un error de bits en un sistema de comunicaciones de datos, éste corresponderá a BER de 10^{-12} . Rj está producida principalmente por el ruido térmico en los componentes eléctricos”*.

El jitter total está compuesto por el jitter periódico y el jitter aleatorio. Para una BER de 10^{-12} , su valor pico a pico se calcula de la siguiente forma:

$$T_j = D_j + R_j \times 14 \quad (\text{A.2.1})$$

Donde: Dj = Jitter periódico.
Rj = Jitter aleatorio.
Tj = Jitter total.

Para concluir, de acuerdo como aumentan las velocidades de reloj y se disminuyen los márgenes temporales, la caracterización de la temporización gana importancia. Con los sistemas actuales de comunicación es necesaria la caracterización del jitter y averiguar las causas que lo provocan, con el objetivo de predecir el desempeño del sistema a medida que transcurre el tiempo, de esta manera se proporciona una mayor robustez a los medios de comunicación de alta velocidad.

ANEXO B – HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN (OptiSystem 6.0)

Uno de los pasos fundamentales para el desarrollo del presente proyecto de grado (monitoreo y análisis del comportamiento de la señal a través del canal óptico) es la elección de una herramienta software de simulación que permita realizar un determinado escenario de red, con el fin de llevar a feliz término el cumplimiento de los objetivos propuestos.

PARTE 1. REQUERIMIENTOS HARDWARE Y SOFTWARE

Los requerimientos mínimos para la instalación de OptiSystem 6.0 son³:

- PC con procesador Pentium 3 equivalente o superior.
- Sistema operativo Microsoft Windows 2000, XP (*Service Pack 1 y 2* son soportados pero no requeridos), o Vista. 32-bit or 64-bit.
- 400 MB de espacio libre en disco duro.
- Resolución de pantalla 1024 x 768, mínimo 65536 colores.
- 2 GB de RAM mínimo (según mar
- Internet Explorer 5.5 o superior
- DirectX 8.1 o superior

PARTE 2. DESCRIPCIÓN DE OPTISYSTEM 6.0

La herramienta de simulación permite comprender el funcionamiento de la red metropolitana WDM característica, al monitorear el canal óptico y analizar el comportamiento de las degradaciones que afectan la calidad de la señal óptica (dispersión, y atenuación), por medio de los parámetros de monitoreo (BER, OSNR), además de obtener los resultados que servirán para determinar el impacto de dichas degradaciones en el desempeño de la red. Es decir, será utilizada para determinar las principales características de comportamiento del canal óptico.

Para obtener información acerca del funcionamiento y manejo de la herramienta Optisystem 6.0 dirigirse a la documentación que provee la herramienta y que se puede encontrar en el DVD del presente proyecto de grado:

- OptiSystem_Component_Library.pdf
- OptiSystem_Getting_Started.pdf
- OptiSystem_Tutorials_Volume_1.pdf
- OptiSystem_Tutorials_Volume_2.pdf
- OptiSystem_User_Reference.pdf
- OptiSystem_VBScripting_Ref_Guide.pdf

³ Tomado de OtiSystem 6.0