

Estudio del comportamiento de las redes sónicas de alta velocidad

Luis Rojas^{1,2}

¹ Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones. Facultad de Ingeniería.
Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Estado Zulia. Venezuela.

² Laboratorio de Electrónica y Control. Facultad de Ingeniería
Universidad del Zulia. Maracaibo, Estado Zulia. Venezuela.

luisrojascedeno@yahoo.es

Recibido: 15-06-2015 Aceptado: 07-07-2015

Resumen

Con este trabajo se pretende profundizar los conocimientos sobre temas tan importantes, como son la Modulación por División de Longitud de Onda, las Fibras Ópticas Aéreas, la Modulación por División de Onda Densa, y la influencia que ejerce sobre las redes de alta velocidad, la Dispersión por Modo de Polarización. Conjuntamente, se explican los efectos conocidos como Fluctuación de Fase (Jitter), y el Wander, tan comunes en estas redes. Se estudia, el comportamiento de redes ópticas tanto aéreas, como subterráneas, las redes ópticas Metropolitanas MAN, y de área extensa WAN. En estos momentos, las empresas de telecomunicaciones requieren de personal altamente calificados para instalar y mantener redes de alta velocidad, donde se hace prescindible que los operadores puedan tener dominio del estado del arte de las redes de alta velocidad.

Palabras clave: Modulación por división longitud de onda, modulación por división densa, dispersión por modo de polarización, fluctuación de fase, Wander.

Study of performance of networks sonic high speed

Abstract

The intention of this study is to deepen the knowledge on subjects as important as: Wavelength Division Modulation (WDM), Dense Wavelength Division Modulation (DWDM) and influence it has on high-speed networks, the Polaritation Dispersion Mode (PDM) together, they explain the effects known as Wander, Jitter. The behavior of underground and overhead optical networks, both in Metropolitan Area Networks (MAN) and wide area networks (WAN) at this time in the companies that operate high-speed networks it is necessary that the administrators are fully aware of the state the art of such networks.

Key words: Wavelength division modulation, dense wavelength division modulation, polaritation dispersion mode, fluctuation of fase, Wander.

Introducción

La técnica de Multiplexar, o sea, enviar por una sola fibra longitudes de onda en un sentido Tx y recibir otras longitudes de onda en otro sentido Rx, ha sido una de las grandes soluciones en las redes de fibras ópticas. La Multiplexión por División de Longitud de Onda (WDM), viene a convertirse en la piedra angular de las comunicaciones ópticas a baja, media y alta velocidad. En este trabajo, nos enfocaremos a analizar algunos aspectos que afectan a las redes ópticas de alta velocidad.

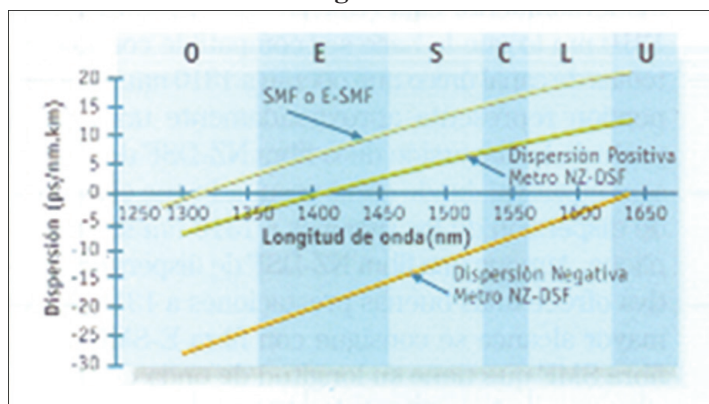
Se denomina Multiplexión por División de Longitud de Onda (WDM), a la técnica de dividir el espectro de una señal en diferentes longitudes de onda (λ). Este trabajo pretende mostrar algunos aspectos que rigen el comportamiento de las señales ópticas multiplexadas usando la técnica WDM. Igualmente se agregan notas sobre Sincronismo, se estudian las características de la Dispersión por Modo de Polarización (PDM), y se plantean algunas observaciones sobre el comportamiento de las fibras aéreas.

Si analizamos como influye el ruido en un sistema de transmisión WDM, podemos afirmar que el ruido no aumenta con WDM [1]. Es decir, cierta parte del ruido aumenta en la parte no lineal causada por pérdidas de retorno; es un tipo de ruido de intermodulación causado por una curva no plana de retardo de grupo. Transmitiendo a 64 Kbps con WDM, hay que subir la potencia del Láser, porque la potencia no llega al final de la fibra. Se nota que hay una lectura que indica que existe una fracturación de la fibra y existen otros problemas también como son la Dispersión de Ramán [2], y la Dispersión de Brillouin [3] [4] que es un efecto no lineal en el propio medio de transmisión; entonces, es complicado transmitir potencias bajas a una velocidad de 64 Kbps. Siendo este un factor limitante de WDM. La Multiplexión por División de Onda Densa (DWDM), limita la velocidad binaria porque la Dispersión por el Modo de Polarización (PMD) también limita ésta velocidad. Este problema que se origina cuando usamos varias longitudes de onda; son producto de distorsiones no lineales, principalmente una distorsión no lineal que podemos definirla como producto del reparto de grupos causada por el desplazamiento y dispersión de la fibra.

En el pasado, la Fibra Monomodo tenía dos componentes de atenuación; Atenuación por absorción y Atenuación del Material. La Atenuación del Material es mínima en la ventana de 1550 nm. Existe otro parámetro: la Dispersión, como es la Dispersión Cromática; entonces, tenemos la Dispersión del Material y la Dispersión Cromática; estas dos dispersiones tienen un punto mínimo en la ventana de 1310 nm, pero como se quiere transmitir donde exista menos atenuación por absorción; se trata de desplazar el punto de dispersión mínima hasta 1550 nm; la curva de dispersión cruza con el punto de atenuación mínima, esta fibra se denomina: Fibra por Desplazamiento "Shifted Fiber".

Se puede actuar sobre la dispersión en el material, cambiando el material de dopaje de la fibra, cambiando la posición en que la Dispersión del Material y la Dispersión Cromática se anulan mutuamente, y se llega a la dispersión cero, tal como lo muestra la figura 1.

Figura 1.



El problema es que el punto de dispersión cero está en la ventana de 1550 nm. La pendiente de la curva de dispersión es muy grande. Esta pendiente grande incide en el intervalo de grupo, la variación del Índice de Propagación es muy fuerte con la frecuencia; entonces, el punto de dispersión coincide con una pendiente grande de la dispersión, después se estabiliza un poco.

Entonces, es mucho mejor si se quiere ocupar el enorme ancho de banda de la fibra con un ancho de banda pequeño. Por ejemplo, si tenemos un solo canal óptico, y estamos trabajando en un canal de 10 o 20 GHz de ancho de banda; así tenga la pendiente muy grande; en 10 o 20 GHz es muy pequeña la variación absoluta del tiempo de propagación; ahora, si trabajamos con varios canales; entonces, ésta pendiente grande causa DGD (Retardo Diferencial de Grupo) (ΔT) [5].

$$\Delta T = \left| \frac{L}{V_{gx}} - \frac{L}{V_{gy}} \right| = L |B_{1x} - B_{1y}| = L\Delta B1 \quad (1)$$

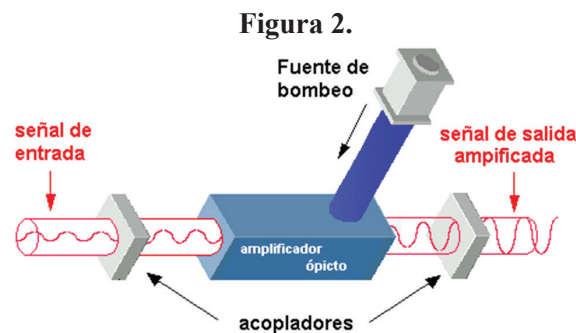
Donde:

L: longitud de la fibra; x,y: son subíndices que identifican los dos modos ortogonales polarizados.

$\Delta B1$: describe la doble refracción de la fibra; la expresión: $\frac{\Delta T}{L}$, mide la cantidad de PDM.

El tiempo de propagación empieza a causar Ruido de Intermodulación entre las portadoras y este es el problema de las fibras de Erbium. Por eso, es que desde los años 90-95, más o menos la gente comenzó a usar fibras de Erbium [6]. La fibra de Erbium no permite que se trabaje con WDM de Erbium. No se puede usar WDM en 1550 nm; este es el problema de la fibra de Erbium, no sirve para transportar WDM en 1550 nm.

Lo único que se puede hacer es utilizar un tramo de fibra con un material de dopaje con una Dispersión del Material transparente que regrese a ese punto de pendiente mayor. Pero, una Dispersión del Material tan grande que tiene un sentido opuesto a la inclinación, se trata de colocarla más plana que antes.



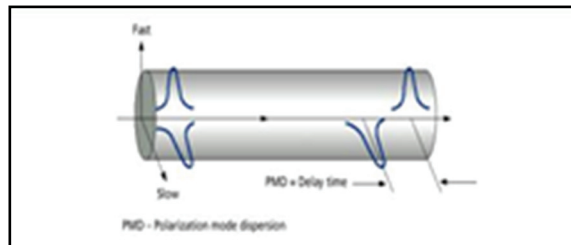
Hoy, existen compensadores de dispersión para una fibra para WDM. Actualmente se usa una fibra Non-Dispersion-Sifted que da un valor de baja dispersión en 1550 nm. Este trabajo fue estructurado de la siguiente forma: En la sección 2, se hace un análisis sobre el comportamiento de una red a alta velocidad, cuando es afectada por la Dispersión por Modo de Polarización. En la sección 3, se explica de forma somera como afecta la PDM, a las fibras aéreas. La sección 4 está dedicada al estudio de la Multiplexión por Longitud de Onda Densa (DWDM). Al final, en la sección 5 mostramos las conclusiones y referencias Bibliográficas.

Dispersión por modo de polarización (PDM)

El PDM es un fenómeno estadístico, que es causado por problemas mecánicos de la fibra. Cuando se adquiere la fibra, ella viene no polarizada, luego se la acopla, la polarización se da en dos planos en todo el área, siendo demostrada ésta polarización utilizando las ecuaciones de Maxwell [7].

La luz se polariza cuando entra a la fibra, al polarizarse el rayo de luz, se propaga en un plano y en el otro también. Si la fibra tiene fenómenos constructivos o de instalación, la polarización del núcleo se ve afectada, o si tenemos índices de refracción distintos para los dos planos de polarización (Fenómeno de Bi-Refringencia) [8], lo que va a ocurrir es que en el camino físico de la fibra, la luz se refleja en la superficie del núcleo y en el recubrimiento va rebotando a lo largo de ésta.

Figura 3.



Existe un fenómeno geométrico en las fibras, si los puntos de reflexión no son los mismos para los dos planos de polarización; entonces, cuando la luz llega al otro lado, la luz que se propagó en un plano está atravesada con respecto a la que se propagó en el otro plano; entonces se presenta el fenómeno de “Multi Trayectoria”; eso es lo que hace la PDM, se produce el Retardo de Grupos Diferencial para dos modos de propagación de igual potencia, entonces tienes dos trayectorias: un trayecto directo y un trayecto reflejado atrasado, “y, eso apaga algunos canales de la fibra, en el trayecto corto”. El retardo diferencial es tan pequeño que pueda ser despreciado en estos trayectos cortos; en los trayectos largos, se torna más complicado; entonces, en trayectos de 50 a 70 km, el Retardo Diferencial de Grupos constante empieza a causar problemas..

Valor de la Raíz Cuadrada de ΔT :

$$\mathcal{G}_t^2 = \Delta T^2 = \frac{1}{2} \Delta B^2 h^2 \left[\frac{2L}{h} - 1 \ell^{\frac{-2L}{h}} \right] \quad (2)$$

Esta ecuación caracteriza al PDM, y se obtiene promediando con la ayuda de la perturbación aleatoria; donde h es el parámetro que mide la longitud de correlación.

$$\mathcal{G} \approx \Delta B 1 \sqrt{hL} = Dp \sqrt{L} \quad (3)$$

Si fueran puros fenómenos constantes constructivos, se pudiera controlar; pero, cuando se va a instalar la fibra, los técnicos instalan fibras con un núcleo más curvo que lo que debería tener, y el núcleo al perder simetría aparecen unas pequeñas deformaciones de la fibra que sólo afecta a uno de los dos planos de propagación, por eso se tiene un núcleo no alineado y tendríamos problemas para empalmar, tendríamos empalmes defectuosos. Todo eso ocasiona PDM. El PDM depende de la calidad de construcción de la fibra y de la calidad de instalación de esta, y eso si es que la fibra tiene problemas de PMD, para 10 Mbps es muy grave.

No es problemático PDM para WDM, es problemático apenas para 10 Mbps, entonces DWDM es importante porque el valor de PDM solo afecta a la trayectoria de los pulsos muy pequeños, los pulsos grandes presentan un error de falla que no es apreciable; no afecta en casos prácticos. Aun no existe un compensador perfecto de PDM. Tiene que haber un mecanismo que mida constantemente PMD para compensar ¿Que hace un compensador de PMD?: toma la luz polarizada y divide en un polarizador horizontal por un camino y el vertical por otro camino, que es lo mismo que un Ecuilizador Diferencial Transversal Automático para Radio.

Una fibra es afectada cada 10 km. En una red la fibra “sufre” problemas constructivos. Actualmente, las empresas que realizan empalmes de fibra están obligadas a presentar las medidas de PMD antes y después de empalmar. Esto, está generando un problema muy grave porque antes de 1998 nadie había medido la PDM. Las empresas tienen que preparar a su personal en PDM y elaborar una metodología para instalación, comprar instrumentos y una nueva técnica de empalmes

Fibras aéreas

En las fibras aéreas, es complicado el problema de Wander, efecto apreciable debajo de los 2 Hz; porque el Índice de Refracción de la Fibra en la Velocidad de Propagación en el Vacío, está dividido entre la velocidad de propagación del medio. Si el índice de refracción cambia, lo que está variando es la velocidad de propagación de la onda electromagnética de la fibra. Cuando cambia el índice de refracción con la temperatura, hay una fluctuación de fase de la señal sobre los 10 Hz (Jitter) y tiene el mismo ciclo de la temperatura [9]. Entonces, la fibra aérea principalmente sufre mucho gradiente de temperatura y mientras más aumenta el gradiente, hay más variación de la temperatura.

Cerca de la costa la temperatura varía 10°C entre la noche y el día, pero en la zona montañosa varía entre 30 y 40°C, esta variación de temperatura causa una fluctuación de fase muy grande de varios nanosegundos; porque, si varía la velocidad cambia la fase. Cuando varía la velocidad en un tramo largo; entonces, la variación de fase es muy grande y puede alcanzar varios ciclos.

Bajo tierra no hay mucho gradiente de temperatura, hay mucha fibra aérea aprovechando ya la estructura instalada.

Multiplexión por división de onda densa (DWDM)

WDM comenzó al inicio de los 90 para poder tener dos señales en la misma fibra utilizando las dos ventanas 1310 y 155nm, los láseres de entonces no eran muy estables, no había filtros muy angostos, era un sistema WDM con una baja capacidad en dos ventanas básicas. Después, vino un sistema WDM con 4 canales, u 8 canales en la ventana de 1550 nm. ¿Por qué se eligió la ventana de 1550 nm?

1- Debido, a que tiene más baja atenuación que 1310 nm, y porque tienen menor Dispersión Cromática.

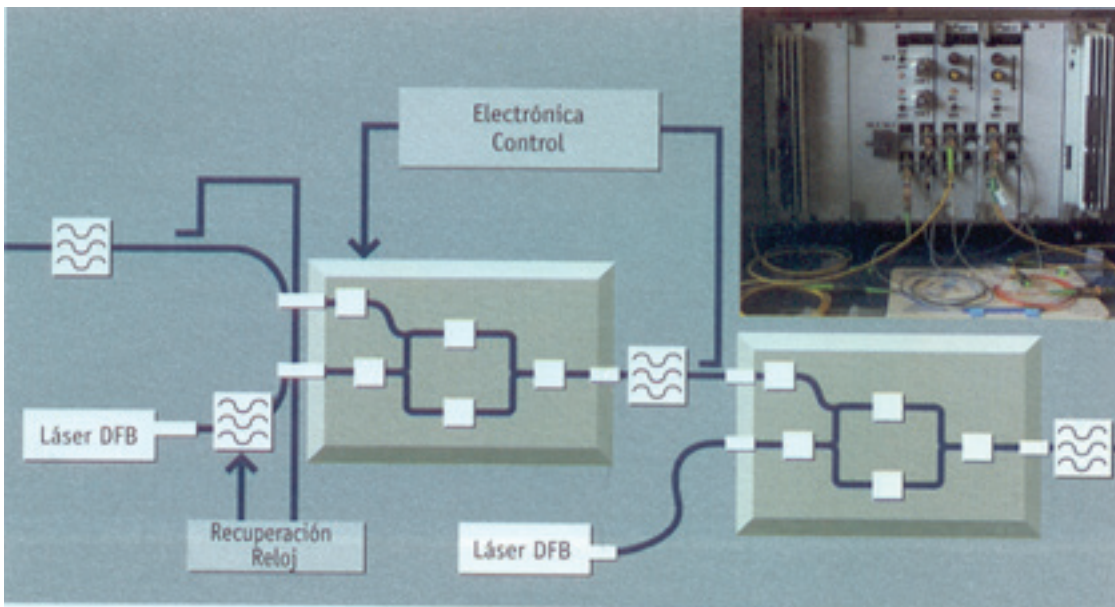
2- Porque, entre 1310 y 1550 nm las frecuencias absorbidas por los radicales libres OH⁺ hoy en día se puede utilizar una fibra nueva. La fibra OWPG, no contiene radicales en los picos de absorción y se puede utilizar toda la banda entre 1310 y 1550 nm. Además, como es plástica, es una fibra que tiene mayor atenuación, no sirve para nada en WAN pero sí para redes MAN.

Entonces, permite tener 1000 canales ópticos en redes metropolitanas. ¿Por qué WDM en 1310 y 1550 nm?, ¿Por qué en 1550 nm en larga distancia?: Porque, hay menos atenuación, hay otra razón también: ¡Amplificadores Ópticos!, ya que los únicos amplificadores ópticos, utilizando un principio de mecánica cuántica consiste en una corriente gradual fotónica de frecuencia más alta; implica, una longitud de onda baja. Entonces, en 1550 nm en una banda útil de 1480 nm, normalmente es la frecuencia de la corriente fotónica fuera de banda [10] y es en esa frecuencia donde trabaja el Erbium, en un tramo de 20 a 30 m de fibra dopada con este elemento. Uno, puede medir esta corriente fotónica con un filtro de alta frecuencia en la salida, con un filtro paso bajo; pero, entra en resonancia con los fotones de la corriente fotónica débil que trabaja en una banda de frecuencia normal, entonces parte de la energía de la frecuencia alta se convierte en energía de frecuencia baja y eso da una ganancia de la corriente débil de 30 dB y ese es el medio por el material de dopaje de la fibra que se transmite en la ventana de 1550 nm. Solo funcionan con un dopaje de Erbium en 1550 nm.

La gran ventaja de los amplificadores en banda ancha, es que un amplificador es mucho más barato que un regenerador; un regenerador pasa de óptico a eléctrico, realiza la recuperación del reloj, se ejecuta el muestreo de los bits y la modulación del otro lado.

El amplificador toma la corriente fotónica de los bits de los fotones de energía y agrega más fotones de energía y voltaje de carga; que resulta mucho más barato que un regenerador 3R.

Figura N°4.



Se llama regenerador 3R, porque Re-muestra, Retransmite y Regenera los amplificadores de banda ancha todos los fotones que transmite. Lleva un fotón de energía de +30dB, ¡30 dB es mil millones de fotones!. Entonces, los amplificadores sirven para largas distancia en el orden de los 300 Km, hoy en día hay sistemas de más de 600 Km sin regenerador 3R; ¡sin usar Solitons!; Con Solitons funciona a 100000 Km pero con pulsos ópticos normales, no pulsos pre-distorsionados, que lo hacen en 600 Km, con 3 amplificadores intermedios, un buffer y un preamplificador.

Un amplificador en el transmisor, uno en la recepción y tres de por medio se logra llegar a 600 Km sin tener que regenerar. El problema es que cada vez que se amplifica la señal, “también amplifica el ruido de fondo” y agrega un ruido térmico, y una corriente fotónica producto de lo que se denomina “Emisión Espontánea”.

Existe un ruido térmico en cualquier equipo electrónico (La Emisión Espontánea) producido por el movimiento molecular en la emisión de fotones; el problema es, que cuando se emiten fotones y pasa por un amplificador de 30 dB, esa Emisión Espontánea se amplifica. Después de pasar por 5 amplificadores este ruido se vuelve considerable, y es el factor limitante y es por eso que con Solitons la cosa funciona mejor; los pulsos son más cortos y puedo amplificar 20 veces más. Pero, como el pulso es angosto, va corriendo el pulso en frecuencia y cada vez que se amplifica, también, se amplifica el ruido en aquella frecuencia; pero, se corta el ruido, no la frecuencia, se puede cambiar la frecuencia. Se está experimentando para 10 Gbps y 40 Gbps.

Cuando se plantea ampliar la capacidad de los sistemas, hay dos posibilidades:

- a. Un aumento de la capacidad binaria
- b. Uniendo más portadoras.

Aumentar la capacidad binaria, significa tener que sacar todos los equipos, incluidos los regeneradores y cambiarlos por equipos que trabajen con más precisión y con pulsos más cortos. Aumentar la velocidad binaria es muy problemático, una de las razones es que el pulso es más angosto, entonces hay problema de reloj, el segundo problema es que trabajar con pulsos más angostos; entonces, el ensanchamiento absoluto es relativamente más impactante.

La Dispersión Por Modo de Polarización (PDM) “por el esfuerzo, es peor para los pulsos angostos”; Entonces no podemos hacer la transmisión de 0.5 Gbps a 10 Gbps. Ese es el problema, que solo 10 dB o más esfuerzo es el que se necesita, porque los impulsos más cortos llevan menos energía; la energía por bit sobre la densidad espectral de ruido disminuye porque la RSN disminuye, la energía útil al ruido debe ser menor. Hay un montón de razones por las cuales no sé puede pasar de la tasa de transmisión de 10 Gbps, y estos 10 Gbps dan una ganancia apenas de 4 dB a su mayor capacidad.

Por tanto, WDM lo que permite, es que se tenga que ir eliminando menos portadoras dentro del sistema. Por lo cual podemos decir, que si agrego menos portadoras; entonces, se necesitan muchos Mux y Dmux.; o mejor, lo mismo que el radio que usa Circuitos Sintonizados, Circuladores, Acopladores Direccionales para la transmisión y Circuladores para la recepción, un árbol de derivación. Toda Fibra que usa WDM necesita una calidad de resonancia, oscilando a la frecuencia correcta.

En las redes de área local (LAN), no se necesita amplificar; los mismos equipos SDH (Jerarquía Digital Síncrona) en redes metropolitanas (MAN) usan una ventana de (1520 - 1565) nm .

Esta ventana que debe ser amplificada no tiene ruido interferente, o sea el ruido de 48 nm de la banda no entra en la ventana de (1520-1565) nm y se tiene todavía 45 nm; 45 nm, significa 4.5 THz y 4.5 THz si se divide en 40 canales 10/5 THz que caben en cada canal,

Se puede tener 100 GHz y eso es lo que se usa, se toma la banda de 45 nm, los 40 nm centrales se dividen en 40 Canales de 0.8 nm, en canales de 1nm de ancho de 0.8 nm y 0.8 nm equivalen en esa banda a 100 GHz.

Como puede observarse en la figura 1, el sistema funciona con 8 portadoras en la banda de baja distorsión, después de 8 portadoras en la banda de baja frecuencia; luego, si eso se lo permite sé sigue con 8 más, esparcidas de 200 GHz de 1.6 nm y después se puede si el sistema tiene bajo ruido, ir colocando más portadoras, incluso tener un total de 40 portadoras, esa banda recibe el nombre de banda “C” y es la primera que se está usando.

Luego hay otras bandas que se pueden utilizar, la siguiente es muy cara todavía y 40 portadoras no alcanzan, se debe introducir un sistema de canales más robustos, en canales de 50 GHz, las luces tienen esa solución, trabajan con canales de 50 GHz, a 0.4 nm, le caben 80 canales en vez de los 40 canales originales; es decir, se extiende la banda.

Se utiliza la banda L (long ware) “Onda larga”, en frecuencias bajas (1565 -1620) nm, la atenuación es mayor pero los amplificadores lo compensan y después viene la banda corta S (Short ware) (en 1460-1510nm), en la amplificación no la puedo utilizar sin fibra que no tenga dispersión positiva. Lo convencional hoy es la banda tradicional WDM los filtros son cavidades resonantes. (GRÁFICA DE DISPERSION)

Si apreciamos el espectro donde está la banda de (1530-1565) nm, se nota que aparecen los 8 primeros canales, los otros 8 son curvos, luego los otros 24 que forman parte del ancho de banda de los filtros de cada canal; o sea el ancho de banda del ruido. El filtro es de 50 GHz, 0.4 nm es la banda de ganancia entre dos portadoras adyacentes.

La frecuencia más alta es la de la luz (ultravioleta). Normalmente, cuando se compra un sistema WDM, se adquiere un sistema de 4 canales, de 8 canales, de 16 y de 40 canales. Los Mux son cadenas

sobre acopladores direccionales ópticos. Son pedazos de fibras empalmadas en Y griega, y se logran acoplar las señales ópticas, tenemos una pequeña pérdida de inserción y los derivadores son acopladores direccionales por generadores de potencia.

Hoy en día los elementos son programables Cross-Connet, se trabaja con un acoplador ADM configurable, la empresa Alcatel por ejemplo, usa la misma plataforma de gestión de SDH.

Estos ADM son configurables todavía en electromecánicos, a partir del 2000 aparecieron los equipos con conversión de voz y los convierte en longitud de onda, se multiplexa y hay un convertidor de longitud de onda. Un convertidor de onda en un dispositivo, un amplificador que cambia la frecuencia de la onda, y al mismo tiempo que amplifica entra con una frecuencia, sale con otra en una especie de mezcla de frecuencias.

Podemos crear una red de caminos asociada al tiempo y dependiendo de la frecuencia a la cual se puede convertir la longitud de onda en la entrada se elige cuál es el camino para seguir una malla; entonces, teóricamente se puede conmutar muy rápido, la ventaja de los Crossconnet con los conmutadores de longitud de onda es que son más baratos que los de rotación de prisma, que son más rápidos, estos equipos son la base de los conmutadores ópticos que comenzaron a aparecer en los otros equipos. Las centrales de conmutación ópticas, conmutan miles de voces por segundo en paquetes ópticos, esos equipos pueden actuar; o sea, cambiar la ruta, por ejemplo una de las teorías es que cada central de conmutación óptica va a recibir un paquete cada microsegundo.

La Crossconnet con longitud de onda en lo que se quiere para sustituir ATM (Modo de Transmisión Asíncrono), eso sería el próximo grupo de la red, la red del futuro tendrá tres capas de conmutación de celdas para baja capacidad, si es menos de 2 Mbps en la velocidad del ATM; si es mayor de 2 Mbps es conmutación óptica y allí hay dos tipos de conmutación, conmutación espacial y la conmutación temporal. La espacial es para circuitos que duran más tiempo y la temporal es para conmutación de paquetes.

Algún día esta será tan económica, que va a reemplazar la red electrónica por lo menos para elementos de alta capacidad y altas velocidades binarias. Por ejemplo haciendo paquetes IP con 125 μ s y conmutar 8000 veces por segundo, se puede definir paquete por paquete cual es el camino de la acción conmutadora. Esto significa que 125 microsegundos trabajando con $\frac{1}{2}$ giga del paquete, tiene que ser de gran tamaño, entonces no va a ser con ese paquete apenas, se va a necesitar de IPLS para guardar un montón de paquetes IPL en esa trama, pues rodeados de conmutadores temporales de más de 8000 paquetes/seg, lo más que se está discutiendo hoy son 8000 paquetes/seg. Pero, $\frac{1}{2}$ giga x 1 paquete en 125 μ s son muchos bytes.

Hoy en día se utiliza el sistema encendido o apagado y el reduce el ancho de banda ocupado siendo menor de 0.1 nm.

Con el Láser modulado en intensidad en un Giga, el canal debe ser 0.1nm equivalente a 2Ghz, pero en el futuro, si se necesita de mayor capacidad moduladora en FSK; tendremos un Láser trabajando a un GHZ para 1Gbps. PSK tiene un espectro más chico de amplitud; si modulo en FSK solo aparecerán dos raíces centrales. Si se modula con 1Gbps en binario sólo aparecen raíces centrales, aquí no, solo armónicos.

Cuando se trabaja con esas portadoras, una de las cosas que se mide, es la potencia de la portadora y podemos sincronizar la portadora y ver si el calor viene atrapado en la variación de la potencia, y así conocer la estabilidad de la potencia. La estabilidad de la potencia, fija la frecuencia de barrido: el equipo que se usa es el mismo que el de radio, se mide la frecuencia de la portadora, se mide la potencia y la RSN. Se entiende que la temperatura disminuye la potencia S/N, y a lo largo del día. Al final, esas son las condiciones que se harán: RSN, Potencia, y frecuencia.

Conclusiones

Con este artículo se ha intentado describir algunos conceptos fundamentales de las comunicaciones ópticas, poco mostrados en los textos de pregrado. Este trabajo, pretende mostrar por separado el comportamiento de las redes ópticas subterráneas y aéreas. Finalmente, se ha descrito de forma sencilla el interesante mundo de las redes sónicas, sobre todo a los futuros operadores de estas redes como son nuestros estudiantes de hoy.

Referencias bibliográficas

1. Union International of Telecommunication. ITU-T G.698.1, Digital Systems and Networks. Transmission System and Media. (2012).
2. E Poutrina and J.P. Agrawal. Fellow. IEEE. Effects of Distributed Raman Amplification on Timing Jitter in Dispersion-Managed Lightwave Saysten, (2002).
3. D. Bimberg, M Grundmann. Quantum Dot Heteroestructuras (Wiley, New York, (1999).
4. Ángel Ullán Nieto. Contribuciones basadas en la Dispersión Estimulada de Brillouin en Fibras Ópticas para Sensores Distribuidos y Láseres, (2013).
5. Luis Rojas, Jhon Matheus, Javier Marín, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad del Zulia (LUZ), Estudio del fenómeno de Dispersión por Modo de Polarización de Onda (PDM) en Sistemas de Comunicaciones por Fibras Ópticas. (2006).
6. Saavedra G, Dante Leonelli. Propagación de Pulsos Ópticos a través de Amplificadores de Fibra Dopada con Erbium, (EDFA), (2005).
7. Juan C Fernández. Departamento de Física, Universidad de Buenos Aires, Ecuaciones de Maxwell, (2004).
8. A. Cornejo, R. Díaz. The Walenght of a Láser Diode and the Birefringence of Mica: The IphO40 experimental exam, (2010).
9. Dustin Symanski, Larry S Gullman. MSB Thechnology Corporation CA, Metod for Measuring Low Jitter Level in Digital-to- analog Converter, (2007).
10. Vicente Sagredo A. Dpto. de Física, Universidad de Los Andes (ULA), Estudios de Nano Partículas Magnéticas en Óxidos Semiconductores y Metálicos, (2013).

