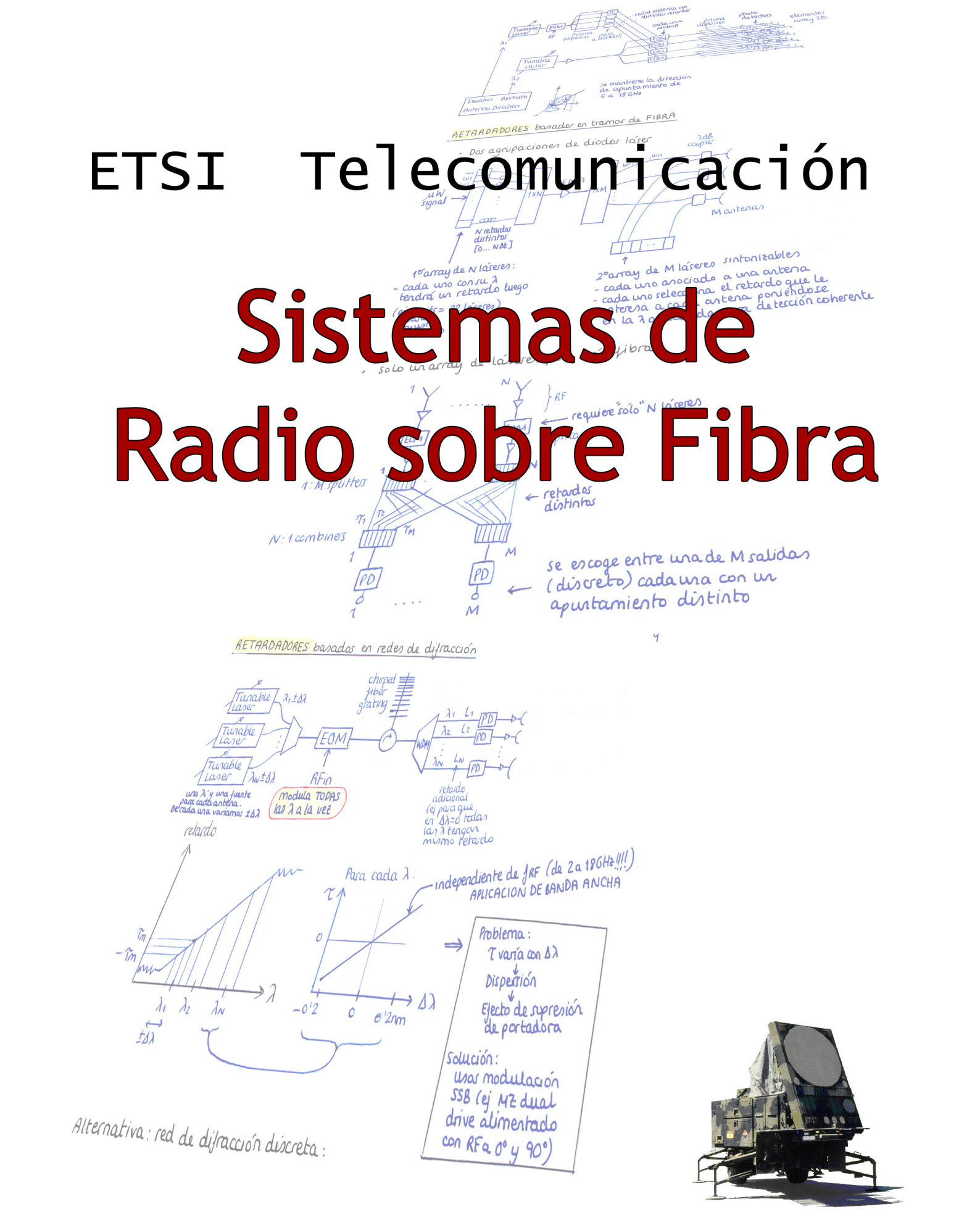
ETSI Telecomunicación

Sistemas de Radio sobre Fibra



Apuntes de Pak

Sistemas de Radio sobre Fibra

Apuntes de Pak (Fco. J. Rodríguez Fortuño)
ETSI Telecomunicación. Universidad Politécnica de Valencia.
Primer cuatrimestre de 5º curso
Curso 2007/2008

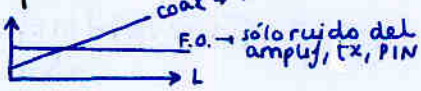
Contenido

- Referencia rápida de la asignatura
- Dos tests resueltos

Fecha de última actualización: 21 Junio 2008

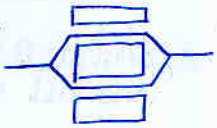
TEMA 1. INTRODUCCION A LOS SISTEMAS RADIO SOBRE FIBRA

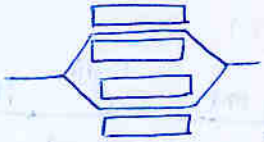
- Digital vs Analógico
  - Digital → BER, Jitter, ISI
  - Analógico → SFDR, SNR, ruido fase, intermodulación
- Cable metálico vs Fibra óptica
  - area
  - peso
  - factor de ruido



- Modulación directa:
  - Polarización (bias)
    - $I_b < I_{th}$ { bueno: digital / malo: analógico (clipping)
    - $I_b > I_{th}$ { bueno: analógico / malo: digital (baja relación de extinción)
  - ruido fase
  - ancho línea
  - chirp
- Modulación externa:
  - sin chirp
  - modulador intensidad
  - modulador fase

MZ-EOM →





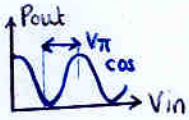
  - de onda progresiva
  - salida dual
- Técnicas heterodinas

TEMA 2. GENERACIÓN ÓPTICA DE SEÑALES DE MICROONDAS Y MILIMÉTRICAS

- Introducción:
  - motivación
  - elección banda
  - aplicaciones

TECNICAS INCOHERENTES

- Modulación directa:
  - FP — (–) Baja frec modulación ↔ oscilaciones relajación
  - DFB — (–) No linealidad P vs I → distorsión
  - Cav. Externa — (–) Ruido RIN
  - VCSEL
- Modulación externa:
  - (+) Gran ancho banda modulación (100 GHz)
  - (+) sencillez para multicanal (SCM)
  - (+) Ancho línea indep. del láser → depende del OL
  - ↳ Mach Zender



    - (–) Dependencia con la polarización $\vec{E}_{in}$
    - (–) Tensiones de alimentación elevadas
    - En sistemas SCM hay que usar linealización
  - ↳ Electroabsorción (EAM)

    - (+) Insensibilidad a polarización
    - (+) Baja tensión de alimentación
    - (+) Integración con láseres (DFB-MQW), pequeños
    - (–) Muy no lineal → requiere predistorsión
    - (–) Pérdidas de inserción mayores a MZ
  - ↳ Frank Keldish (FK) (ensancham banda absorción debido a efecto tunel en presencia de campo eléctrico)
  - ↳ Multiple Quantum Well (MQW) (incremento de energía de los niveles cuantizados en heteroestructura MQW en presencia de campo eléctrico)

Estructura similar a diodo PIN → funciona tambien como detector

(cont. TÉCNICAS INCOHERENTES)

- Generación y mezclado armónico

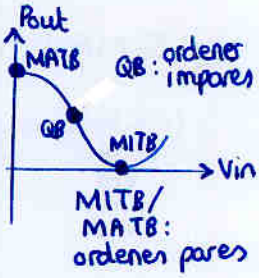
1. señal → Laser → MZ (OL) → $N f_{OL} + f_{FI}$ armónico (orden N)

2. Laser CW → MZ (señal) → MZ (OL) → $N f_{OL} + f_{FI}$ (orden N)

(-) más pérdidas inserción
(+) Polarización controlable por separado

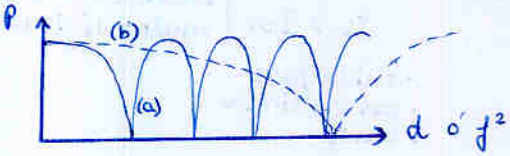
3. Laser CW → MZ (señal, OL) → $N f_{OL} + f_{FI}$ armónico (orden N+1)

(+) Prestaciones similares a 2



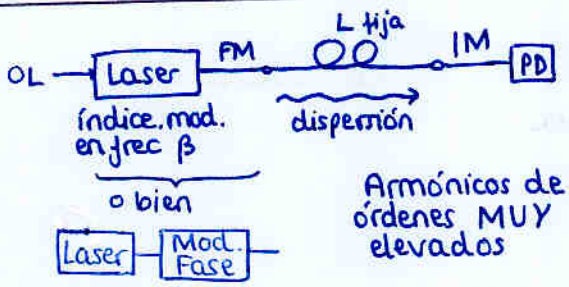
Reducción de supresión de portadora tanto más cuanto menor sea f_{IF}

(a) MZ en QB (b) MZ en MITB



También se puede con EAM

- Conversión FM - IM

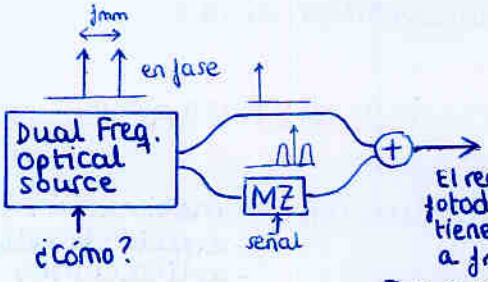


Armónicos de órdenes MUY elevados

· Optimizar β en función de la long. del enlace y la frecuencia

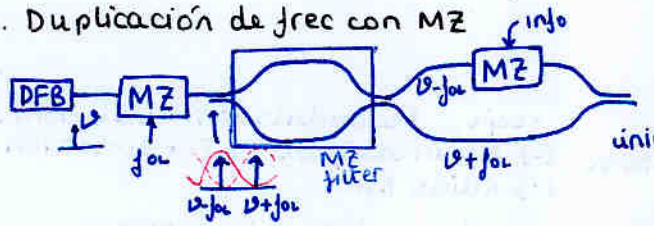
TECNICAS COHERENTES

- Mezclado coherente de dos fuentes láser



El receptor al fotodetector tiene la info a f_{mm}
El rx no necesita coherencia

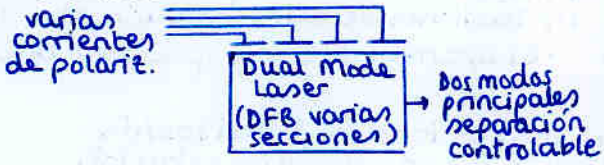
1. Duplicación de frec con MZ



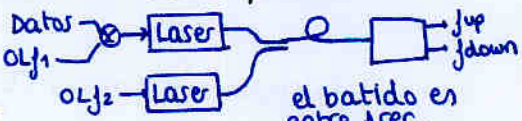
única fuente → coherencia

2. Cuadruplicación de frec con MZ (modula dos veces la f_{OL} con mismo MZ usando filtro y espejo)
esquema P 2.28

3. Dual Mode Lasers



4. Mezclado de armónicos de señales OL que modular directamente fuentes laser



el batido es entre frec. eléctricas (no necesito señales ópticas coherentes, por eso son 2 láseres)

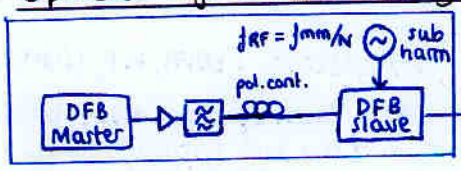
5. Láseres pulsados de semiconductor

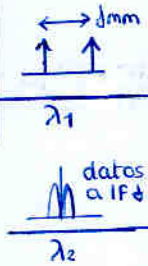
MODE LOCKED LASER (MLL)
- enganche fase óptico: master/slave
- enganche fase eléctrica HMLL (hybrid) → la separación la da una señal elec
  SH MLL (sub-harmonic) → señal eléctrica es sub-armónico de la separación

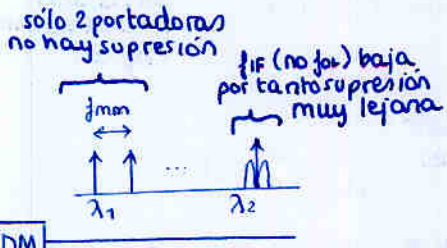
GAIN SWITCHED LASER DIODE (GSLD)
- (-) Peores prestaciones
- (+) más fácil de enganchar

Seleccionar 2 armónicos:
1. Filtro MZ
2. Interferómetro FP
3. Dos filtros

- Optical Injection Locking (OIL)

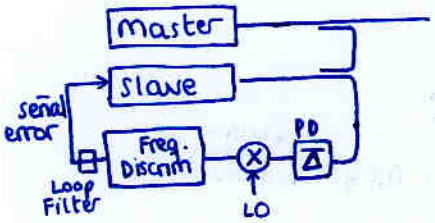






En lugar de enviar la señal modulada se envía
- Datos a IF en λ_2
- Dos portadoras ópticas a λ_1 separadas 59'5 GHz (se usará como OL en RX)

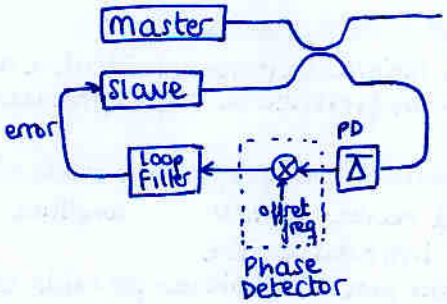
- Lazos de enganche en frecuencia (OFLL)
  Optical Freq. Locked Loop



(-) Baja coherencia de fase (doble ancho espectral que la propia fuente)

(+) No afecta tanto el SBS

- Lazos de enganche en fase (OPLL)



(+) mejor, menor ancho de línea menor ruido de fase

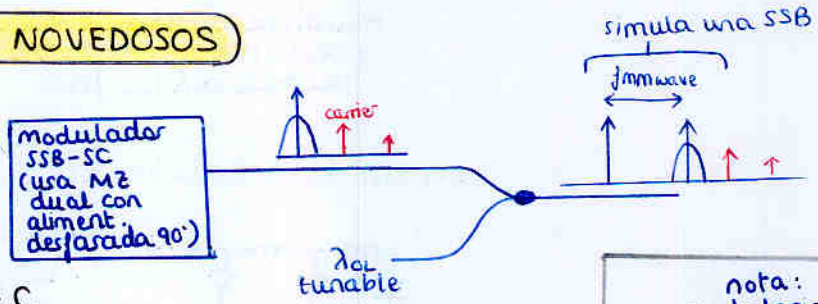
(-) mas costoso, mas complejo

(-) más scattering Brillouin SBS

Optical Injection Phase Locked Loop
- Híbrido entre OIL y OPLL
- Resuelve la limitación de requerir ancho de línea estrecho
- coge las ventajas del enganche en frecuencia y el de fase

TÉCNICAS/DISPOSITIVOS NOVEDOSOS

- Modulador SSB-SC
  Single sideband supressed carrier

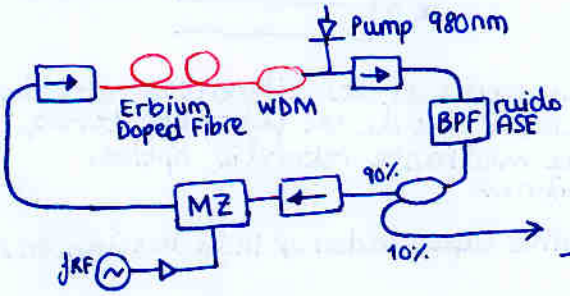


- Modulación SSB+C
  - MZ dual con señales RF desfasadas 90°
  - DFB/MQW-EAM para SSB+C integrado
    ↑ electroabsorción

práctica 2 Evitar supresión portadora →

nota: modulación SSB ↕ mod fase -90° con la mod de intensidad
$E(t) = \sqrt{P_0}\sqrt{1+m_i\cos(\omega t)}\, e^{j(\omega_0 t + m_f\cos(\omega t - 90°))}$
que cumpla $m_f = \frac{m_i}{2}$
$m_i \ll 1$

- Laser en anillo de erbio



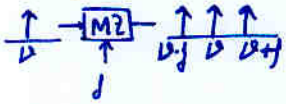
- frec. resonancia cavidad 8'3MHz
- para enganchar armónico 241 se usa MZ modulado por tono de 2'003GHz

Espectro similar a MLL

- Four-wave-mixing

condición phase-matching $\Delta\beta = 0$ → interesa dispersión nula → { DSF 3ª ventana o Fibra estándar 2ª ventana

En lugar de usar 3 láser, usamos uno y un MZ



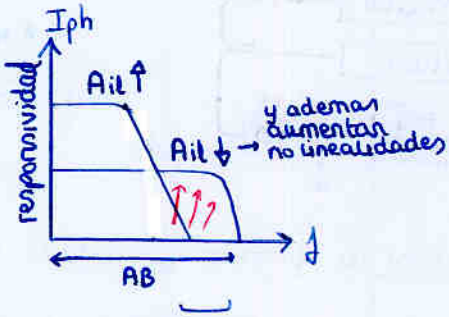
(-) costoso (EDFA, DSF, filtros, ...)

(+) → mucha pureza espectral
→ mucha estabilidad en amplitud
→ muy lejos del ruido

DETECTORES

- Compromiso ancho de banda / responsividad

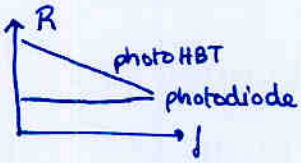
mayor area ilum
- mas pot óptica incide
- comportamiento capacitivo (placa mayor) mayor
  - ↳ menor AB
- mejora Psat↑ reduciendo no linealidades



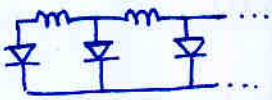
- Edge entry photodiode
  - mejora la responsividad a altas frecs
  - Ineficiente a bajas frecuencias

- monolithic optically-preamplified photodiode
  - responsividad hasta 89A/W amplifica
  - Problema: introduce ASE (sólo bueno para sist. limitado por ruido térmico)

- Photo HBT
  - transistor bipolar transformado para admitir señales ópticas
  - mantiene ancho de banda grande aunque la respuesta decrece con la frec

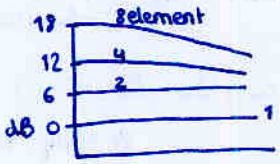


- Arrays de fotodetectores



- la corriente x n
- la potencia x n^2] teórico

2 fotodiodos ⇒ + 6 dB
4 fotodiodos ⇒ + 12 dB



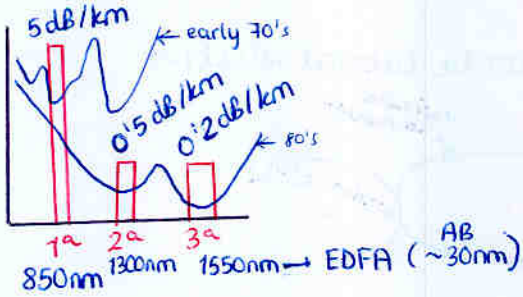
Problema: compensación de los diferentes retardos eléctricos de cada uno de los fotodetectores, que se consigue mediante retardos ópticos empleando fibras

+ desequilibrio entre capacidades → inductancias en serie

TEMA 3. TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN ÓPTICA DE SEÑALES DE MICROONDAS Y MILIMÉTRICAS

DEGRADACIONES INTRODUCIDAS POR LA FIBRA ÓPTICA

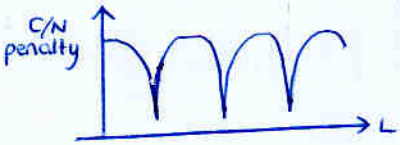
- **Atenuación**



- **Dispersión**
  - índice de refracción $n_0(\omega)$
  - retardo distinto a cada frecuencia

Efectos:
- supresión de portadora
- distorsión (sobre todo cuando hay chirp)
- distorsión (cuando hay SPM)

1. Supresión de la portadora



$$\boxed{\gamma = \cos(\beta \cdot f_{RF}^2) \qquad \beta \propto L}$$

Variación
- periódica con L
- periódica con f_{RF}^2

Depende de:
- L, f_{RF}
- m_f
- pot in (no lin.) → SPM

ver práctica

2. Distorsión no lineal (CSO y CTB)
   - perjudicial si gran nº de canales (CATV)
   - el chirp del transmisor empeora CSO y CTB

$$\boxed{\text{chirp} + \text{Dispersión} \rightarrow \text{Distorsión no lineal}}$$

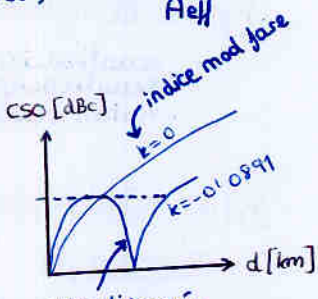
- **No linealidades**

índice de refracción depende de la potencia óptica $n = n_0(\omega) + n_2 \cdot \frac{P_{opt}}{A_{eff}}$

efectos:
- SPM (self Phase modulation)
- SBS (scattering Brillouin)
- SRS (scattering Raman)
- FWM (Fourwave mixing)

1. Self Phase Modulation

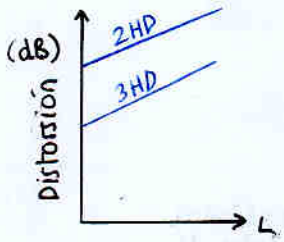
$$\boxed{\text{SPM} + \text{Dispersión} \rightarrow \text{Distorsión no lineal CSO, CTB}}$$

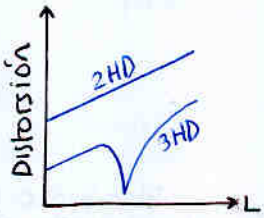


ecualización del SPM mediante modulación de fase

mod. directa (con chirp) → Predomina la distorsión por chirp + dispersión

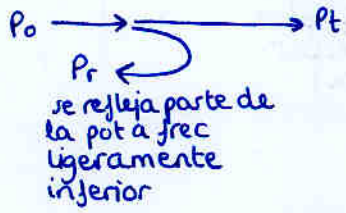
mod externa (sin chirp) → Predomina la distorsión por SPM + dispersión

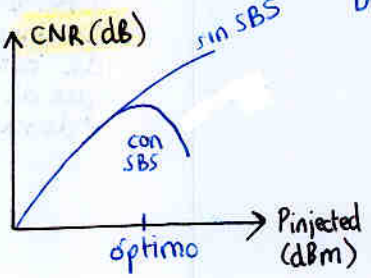




(en el caso de 3HD, para L↓ predomina distorsión "normal" y para L↑ predomina distorsión por efectos no lineales SPM + dispersión. A L's medias ambos términos se anulan, por tener signo contrario)

2. Scattering estimulado de Brillouin





Disminuye la CNR:
- la pot. ya no aumenta
- el ruido sí aumenta debido a la onda reflejada (cavidad genera RIN)

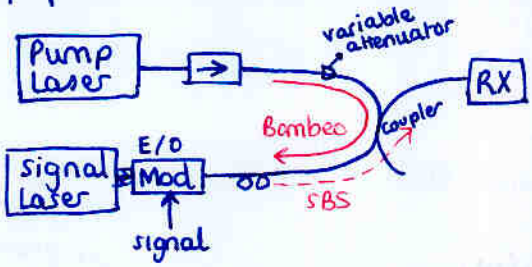
- compensación del SBS

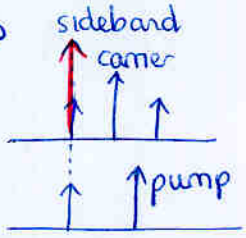
Aumentar ancho de línea ← · dithering (eléctrico)
· modulación de fase (óptica)

↳ Desventajas: – mayor efecto de la dispersión
– ruido de fase se convierte en RIN al fotodetectar
↳ debido a dispersión y/o reflexiones

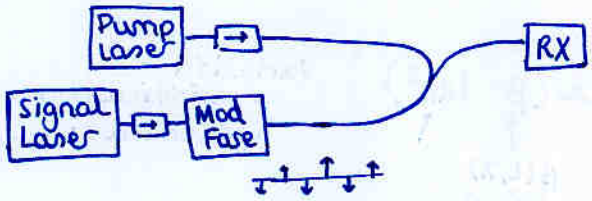
- aplicaciones del SBS

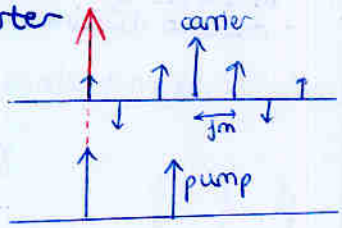
• amplificador de banda lateral selectivo





• mezclador óptico + harmonic upconverter





TECNICAS ÓPTICAS DE ECUALIZACIÓN

• Fibra dispersión desplazada (DSF)

ventaja: (+) reducción dispersión
(+) long. enlace arbitraria
inconv: (–) más no lineal → problema SPM

• Fibra compensadora de dispersión (DCF)

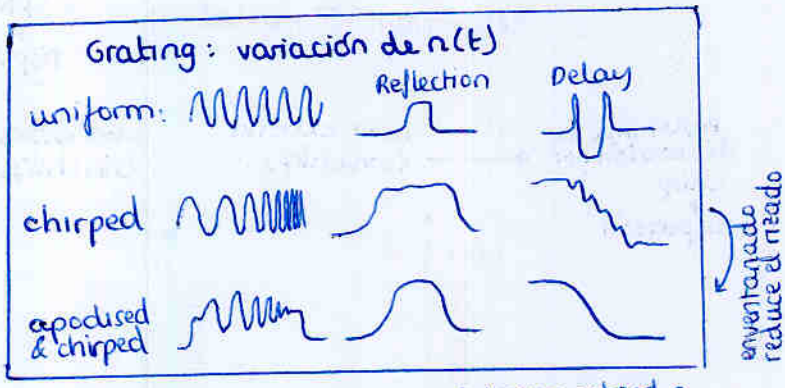
· ecualización en tx
· ecualización en rx
· varias secciones ecualizadoras

(–) long. enlace depende de parámetros de la DCF
(–) más no lineal → problema SPM

• Redes de difracción

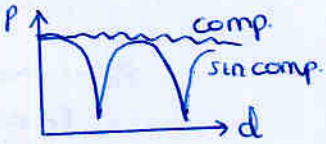
Fabricación:

set up:



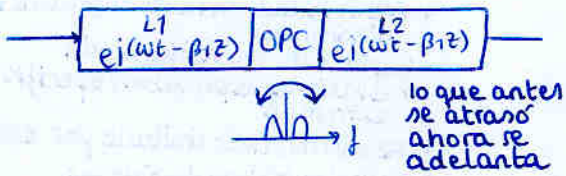
El retardo es lineal sólo en cierto ancho de banda de ecualización ← interesa retardo lineal, pendiente inversa al de la fibra

(debe abarcar términos no lineales del espectro de $E(t) \propto \sqrt{V(t)}$ para que al fotodetectar desaparezcan)
(hasta el 2° orden)
($AB = 4 f_N$)



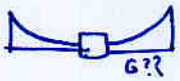
• Inversión espectral (OPC) (Optical Phase Conjugation)

Compensa DISPERSIÓN Y SPM



- En la práctica no se invierte sobre sí mismo sino en una λ distinta
- se necesita simetría del efecto Kerr respecto a la posición del OPC

idealmente misma pot



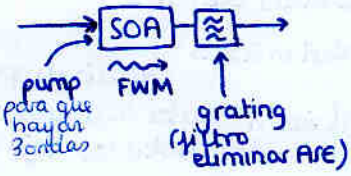
depende de la pot

solución secciones casi planas

- Afecta poco si el OPC no está justo en el centro

Implementación:
mediante FWM se genera una copia del espectro invertida

1. con SOA → amplifica (eficiencia)
   → pero introduce ASE



2. Con fibra DSF

(+) mejor calidad de la onda conjugada
(-) menor eficiencia

3. Con injection-locked InGaAsP V-groove Laser:
   - compacto
   - eficiencia
   - introduce ASE

RUIDOS PRESENTES EN EL SISTEMA

- **Ruido ASE**
  - Amplified Spontaneous Emission
  - Producido por ampli.

$$\sigma^2_{ASE} = 4R\eta q n_{sp}(G-1)L^2_a G P_{rec} B$$

- **Ruido TÉRMICO** ← predomina a bajas pot ópticas
  - circuitería electrónica

$$\sigma_T^2 = \frac{4kT_0F_B}{R_L}$$

- **Ruido SHOT** ← no suele predominar nunca
  - salto entre bandas de e⁻

$$\sigma_S^2 = 2qI_pB \propto I_p$$

Ruido RIN ← predomina a altas pot. ópticas

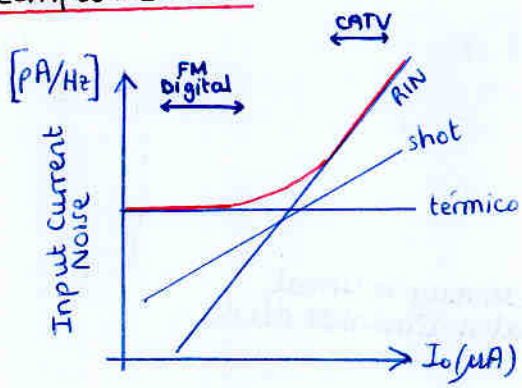
Def: $RIN = \frac{\langle \Delta P^2 \rangle}{\langle P \rangle^2}$ [dB/Hz]

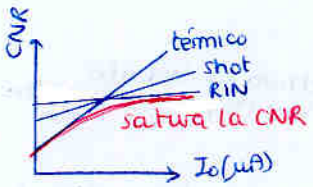
$$\sigma^2_{RIN} = RIN \cdot B \cdot I_p^2$$

Causas:
- → Laser: fluctuaciones de potencia
- → F.O.: Ruido fase láser + Dispersión cromática → RIN (PM-IM)
  (ecualizar reduce este tipo de RIN)
- → Reflexiones: conectores y empalmes hacen cavidades

menos RIN cuanto menos reflejen los conectores y empalmes

Comparaciones





PRESTACIONES

- Relación portadora a ruido

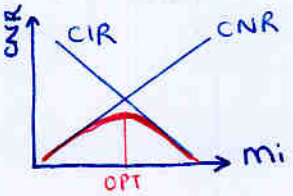
$$CNR = \frac{(m_i R P_{rec})^2/2}{\sigma_T^2+\sigma_S^2+\sigma^2_{ASE}+\sigma^2_{RIN}}$$

- Relación portadora a interferencias

$$\frac{1}{CIR} = \frac{1}{CSO} + \frac{1}{CTB}$$

- CNR total

$$\frac{1}{CNR_{tot}} = \frac{1}{CNR} + \frac{1}{CIR}$$



TEMA 4. PROCESADO ÓPTICO DE SEÑALES DE RF

INTRODUCCIÓN

Ventajas A/D fotónicos:

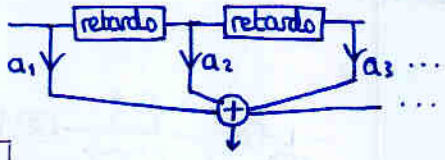
+ Prestaciones (Gsamples/s)
  - actual
    - electrónica: 50 Gs/s, 8 bits, refrigeración
    - fotónica: > 400 Gs/s, > 10 bits

Ventajas Filtros Ópticos:

+ Flexibilidad en la reconfiguración dinámica
+ Rapidez de reconfiguración
+ Prestaciones especiales/especificaciones extremas
+ AB enorme (sólo limitado por E/O y O/E)
+ Ventajas típicas de óptica: tamaño, peso, inmunidad a interf, consumo ← satélites!

FILTROS ÓPTICOS DE SEÑALES DE RF

Imitar filtro transversal:



Queremos sumar copias retardadas de una señal

2 ideas básicas

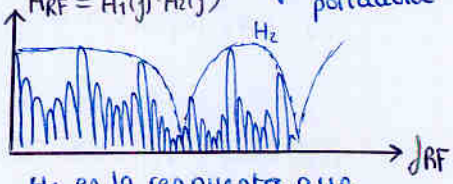
① Varias λ's, retardo distinto a cada una (medio dispersivo)

② Única λ, varios 'caminos' con retardos distintos (ej: prisma)

equiv.

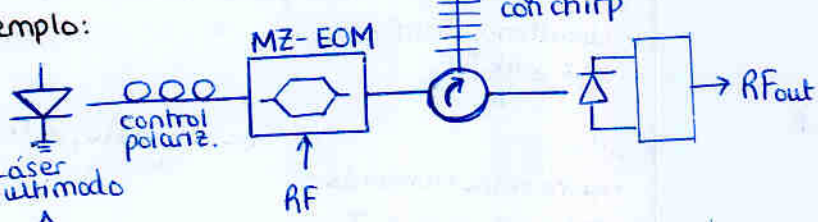
- **Basados en dispersión**
  - Idea básica: medio dispersivo

$H_{RF} = H_1(f) \cdot H_2(f)$ ← efecto supr. portadora



H_1 es la respuesta que nos interesa.
Podemos evitar la supresión de portadora con los métodos vistos (ej BLU)

ejemplo:



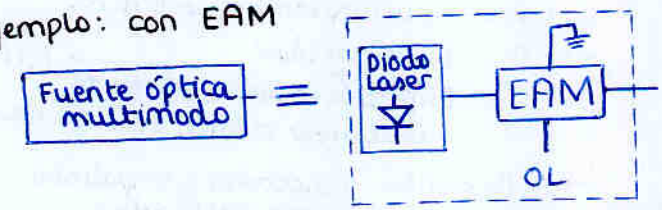
amplitudes dan lugar a enventanado

ej → rectangular

→ hamming

etc.. (TDS!)

ejemplo: con EAM

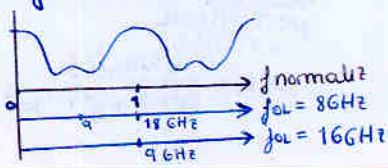


Al ser muy no lineal, salen armónicos del OL

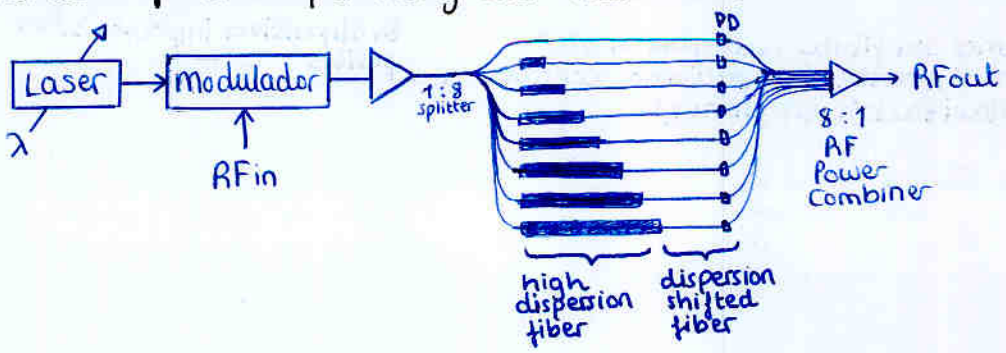
→ Variar tensión de polariz → más o menos armónicos → anchura de lóbulo de las resp frec. del filtro

→ variar chirp (menor chirp → lóbulo más ancho)

→ variar f_{OL} → varía separación y por tanto retardo entre copias → la respuesta 'normalizada' del filtro es la misma, pero se desnormaliza por factores distintos

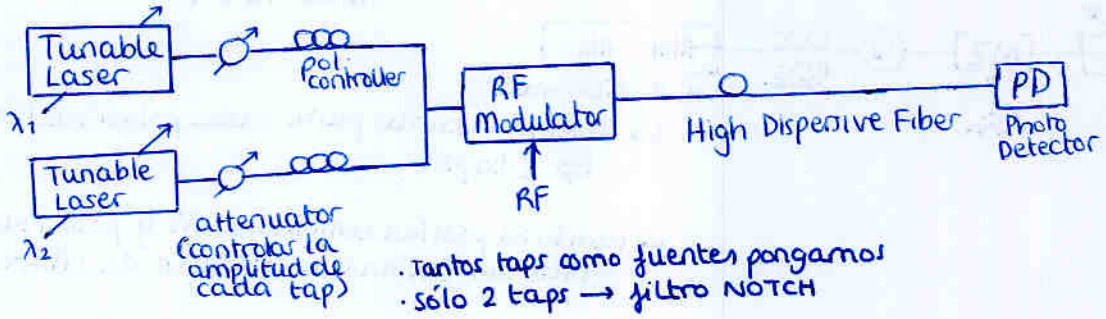


- Prisma de fibras dispersivas y laser sintonizable



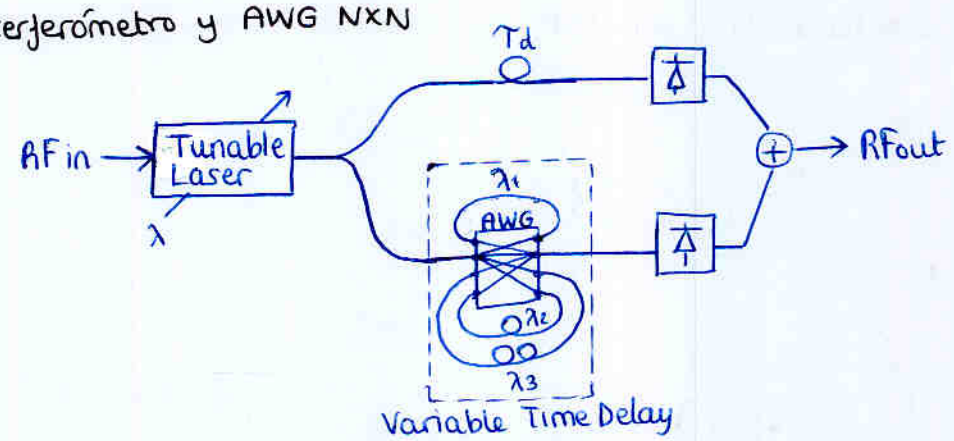
en general,
sintonizabilidad
· Lenta
↳ mecánica (estirar red de difracción)
· Muy rápida
↳ variar λ (ns)

- Filtro 'multitap' fibra dispersiva y láseres sintonizables

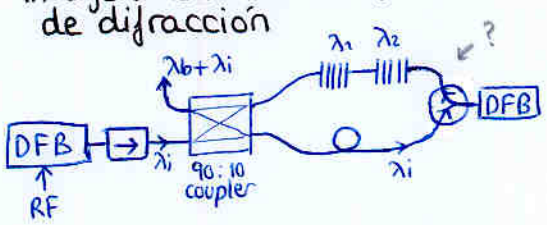


· Tantos taps como fuentes pongamos
· sólo 2 taps → filtro NOTCH

- Interferómetro y AWG NXN

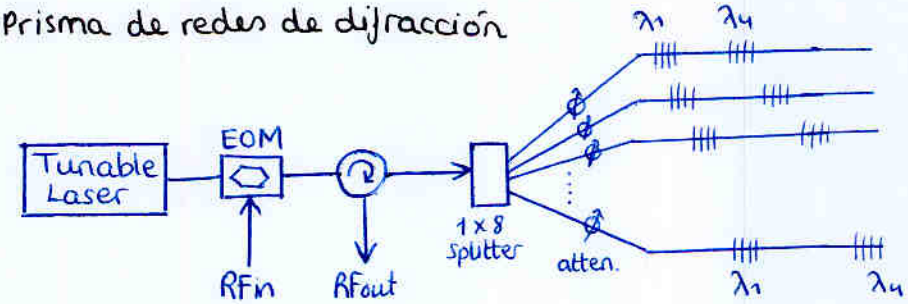


- Interferómetro con redes de difracción



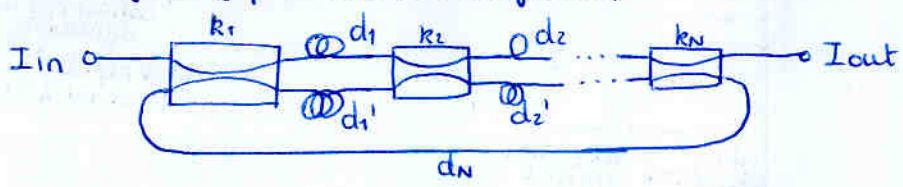
- Filtro transversal multilinea INTEGRADO EN SILICIO

- Prisma de redes de difracción



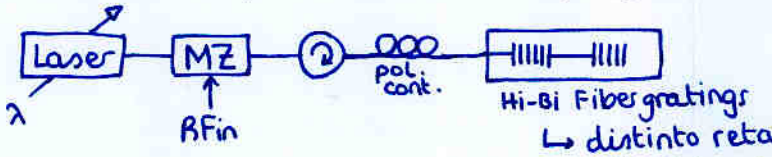
- Basado en líneas recirculantes (imita IIR)

Ya que trabajamos con fibra hay que operar en régimen incoherente (no podemos controlar la fase y polarización en fibras) ← En dispositivos impresos sí es posible



- otras arquitecturas

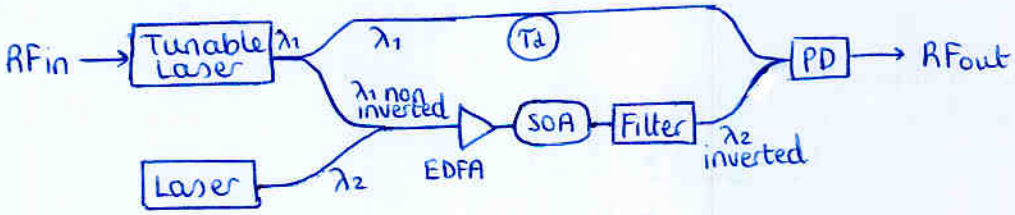
  - Basadas en fibra de alta birrefringencia (velocidad de propag. distinta para cada polarización modo TE o TM)

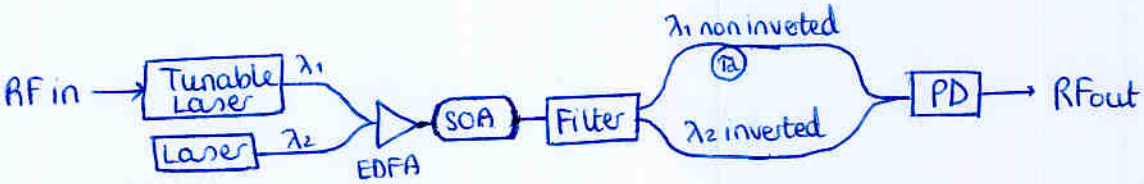


↳ distinto retardo para cada polarización
↳ 2 taps

↳ también podrían combinarse λ's y polarizaciones distintas (es un nuevo grado de libertad)

  - Basados en interferómetros con SOA

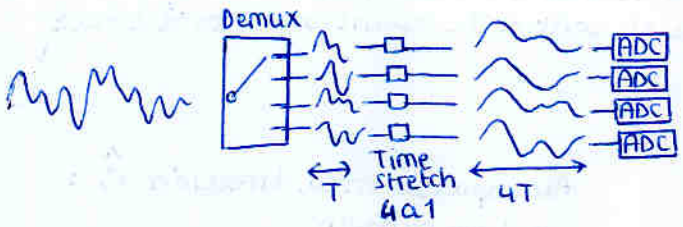




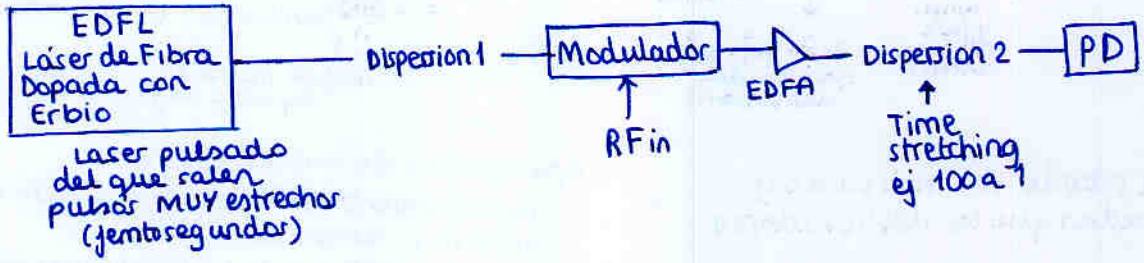
  - Basado en conversión de long. de onda

CONVERSORES A/D FOTÓNICOS

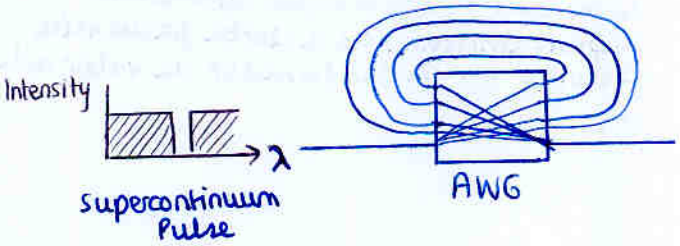
Principio básico: Se trata de muestrear ("chopear") la señal analógica de muy alta frecuencia, demultiplexarla temporalmente y "estirar" temporalmente cada una de estas muestras para disminuir su frecuencia

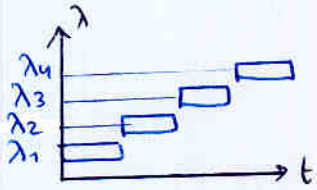


ejemplo: uno de los brazos



varias arquitecturas para manipular "temporalmente" la señal





Salen pulsos cada uno asociado a una λ (un grado de libertad más que permite procesar en paralelo)

TEMA 5. APLICACIONES DE LOS SISTEMAS RADIO SOBRE FIBRA OPTICA

AGRUPACIONES DE ANTENAS PHASED ARRAY

Introducción

Agrupación { mejor diag. de radiación / reorientable

Red conformadora de haz:
- Distribuye señal a los elementos
- Realiza el control de apuntamiento del haz

Diagrama de radiación:

$$F_{TOTAL}(\theta,\phi) = F_{AGRUP} \cdot F_{ELEM}$$

$$F_{AGRUP} = \sum_n \underbrace{A_n e^{j\alpha_n}}_{\text{ampl. y fase de cada antena}} e^{jk\vec{r}_n \cdot \hat{r}}$$

$\hat{r}$: dirección

$\vec{r}_n$: $x_n\hat{x} + y_n\hat{y} + z_n\hat{z}$ (posición del elemento n)

$\Rightarrow$ Para apuntar en la dirección $\hat{r}_0$: se debe cumplir

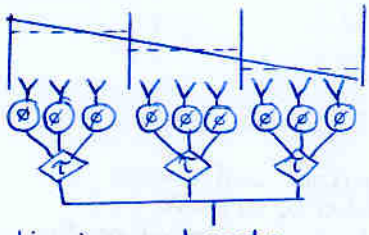
$$\alpha_n = -k\hat{r}_0\vec{r}_n = -\frac{2\pi}{\lambda}\hat{r}_0 \cdot \vec{r}_n$$

$$= -\frac{2\pi f}{c}(\operatorname{sen}\theta_0\cos\phi_0 x_n + \operatorname{sen}\theta_0 \operatorname{sen}\phi_0 y_n + \cos\theta_0 z_n)$$

¡desfase necesario depende de f!

Líneas de retardo son más caras y más pesadas que los desfasadores

- compromiso prestaciones coste: usar un retardador por subagrupación y un desfasador por elemento



- disminuye el coste
- prestaciones intermedias

→ Aplicaciones de banda ancha
- apuntamiento indep de la frecuencia
- solución: línea de retardo

$$\tau_n = \frac{\operatorname{sen}\theta_0\cos\phi_0 x_n + \operatorname{sen}\theta_0 \operatorname{sen}\phi_0 y_n + \cos\theta_0 z_n}{c}$$

→ Aplicaciones de banda estrecha
- apuntamiento sólo a cierta frecuencia
- basta con un desfasador de valor adecuado

Aplicación de tecnología óptica

1. Optoelectrónica: MMIC controlados ópticamente — O/E — MMIC — E/O
2. Fotónica completamente: ej → elementos de retardo verdadero (ej grating)
   → procesado óptico en espacio libre
   ⋮

Ventajas óptica:
- Ancho de banda ilimitado
- Pérdidas bajas
- Peso ligero
- Inmunidad frente a interferencias
- Más económico si hay MUCHOS elementos

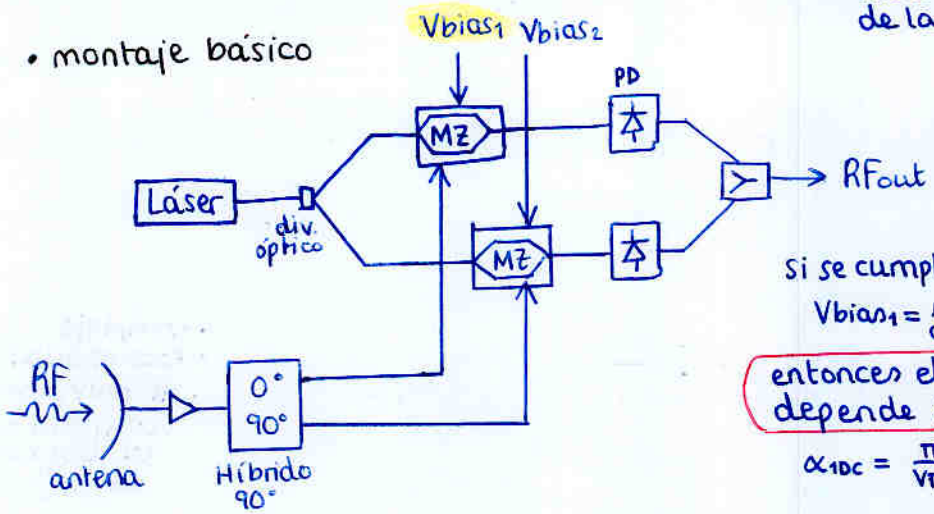
Redes conformadoras CON FIBRA ÓPTICA

DESFASADORES basados en modulación ELECTROOPTICA

aún no retardadores

cuidado: modular una portadora óptica con RF y desfasarla ópticamente no implica desfasar la señal RF.
Al fotodetectar se obtiene la modulación de la intensidad de la luz, no importando la fase

• montaje básico

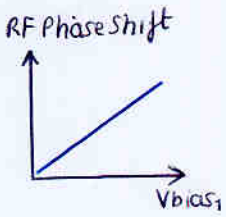


si se cumple una relación

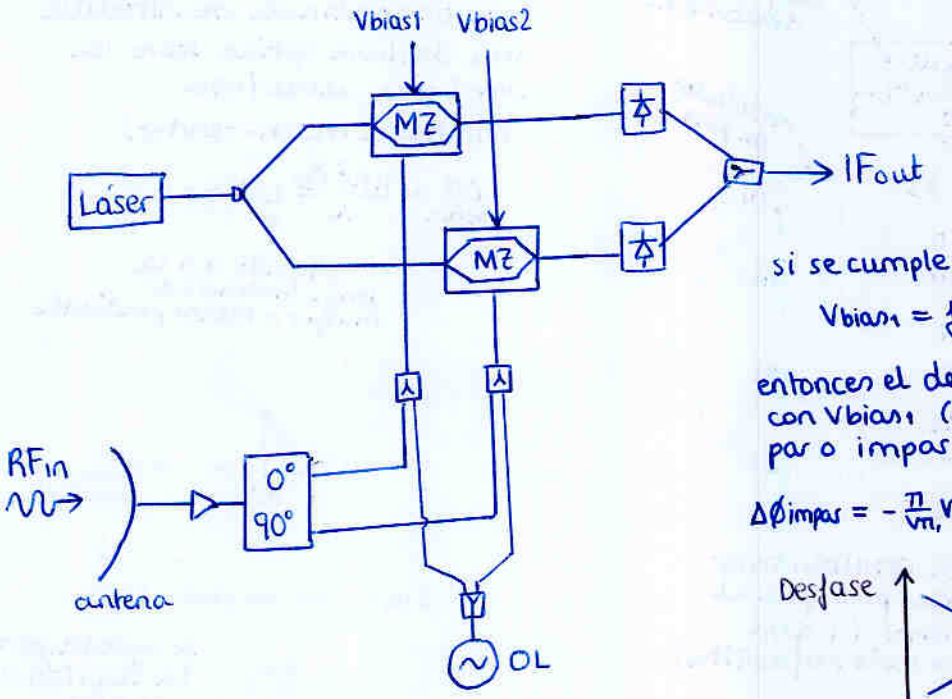
$$V_{bias1} = f(V_{bias2}, V_{\pi 1}, V_{\pi 2}) = V_{\pi 1}\left[\frac{1}{2} - \frac{V_{bias2}}{V_{\pi 2}}\right]$$

entonces el desfase de RF depende de V_{bias1}

$$\alpha_{1DC} = \frac{\pi}{V_{\pi 1}} V_{bias1}$$



• montaje extendido:
se usa técnica de mezclado armónico para, además de desfasar, bajar de RF a IF con un armónico del OL

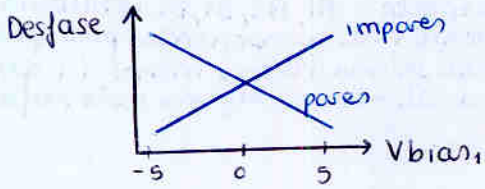


si se cumple relación (misma)

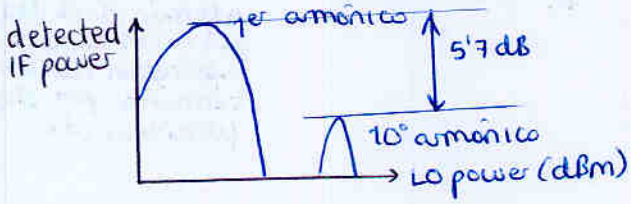
$$V_{bias1} = f(V_{bias2}, V_{\pi 1}, V_{\pi 2})$$

entonces el desfase de RF varía con V_{bias1} (según se use armónico par o impar de la señal de IF)

$$\Delta\phi_{impar} = -\frac{\pi}{V_{\pi 1}} V_{bias1} \qquad \Delta\phi_{par} = \frac{\pi}{V_{\pi 1}} V_{bias1} - \frac{\pi}{2}$$

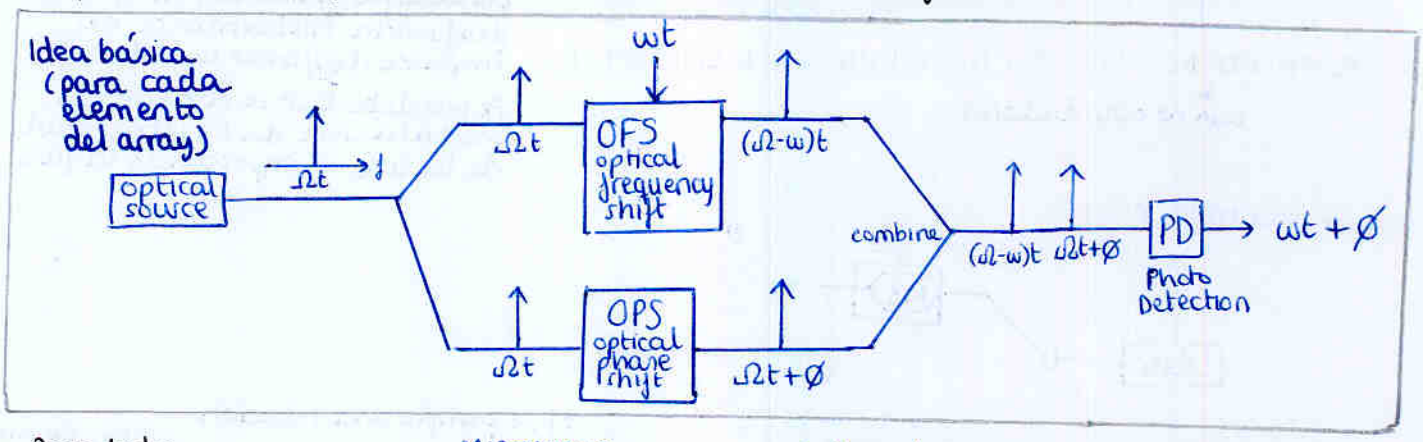


Nota: la potencia detectada tras el desfasador depende del armónico que utilicemos

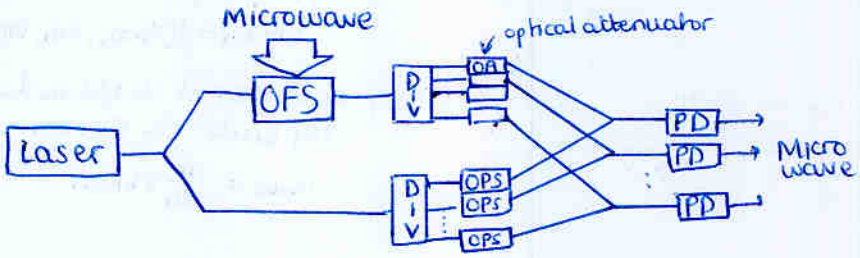


• arquitectura: conformación mediante elementos desfasadores

Idea básica (para cada elemento del array)



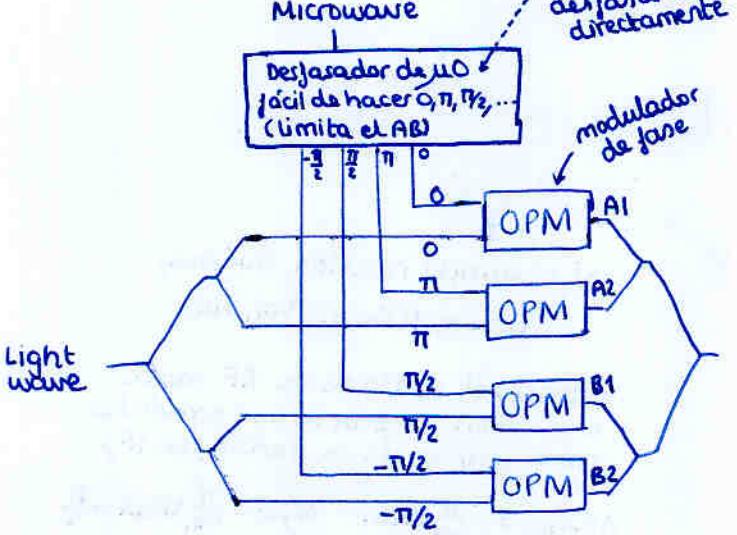
Para todo un array:



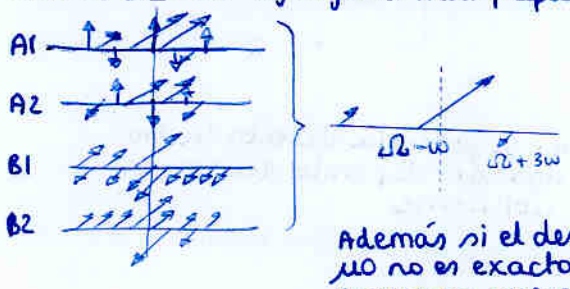
- complejo
- Poco escalable
- AB MUY grande (contrario a los desfasadores de μO)

Elemento OFS

parece absurdo pero al final funciona mejor que desfasarlo directamente



Los espectros A1, A2, B1, B2 resultan tener un montón de componentes pero que al sumarse se van todas menos la que está a Ω − ω (y alguna más pequeñita)



Además si el desfase μO no es exacto, aparecen nuevos términos pero sigue funcionando

Elemento OPS

Electrodo que mediante una tensión continua se introduce un desfase óptico sobre la señal que atraviesa (similar a Mach-Zender)

$$\Delta\phi_{optica} = \frac{\pi n_0^3 r_{33}}{\lambda_0} L V_{bias}$$

jugando con la long. obtenemos mayor o menor pendiente

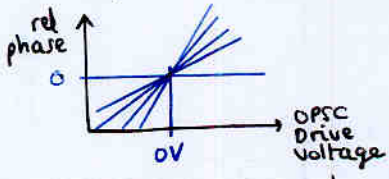
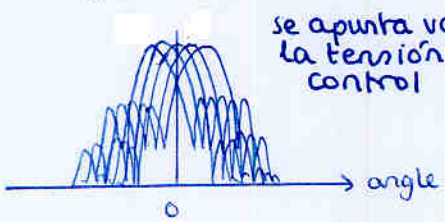


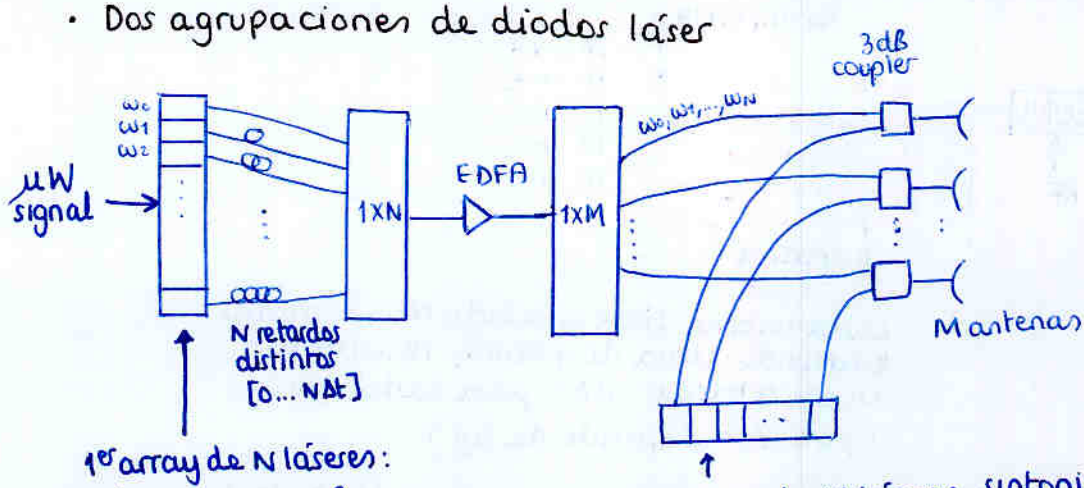
Diagrama de radiación



se apunta variando la tensión de control

RETARDADORES basados en tramos de FIBRA

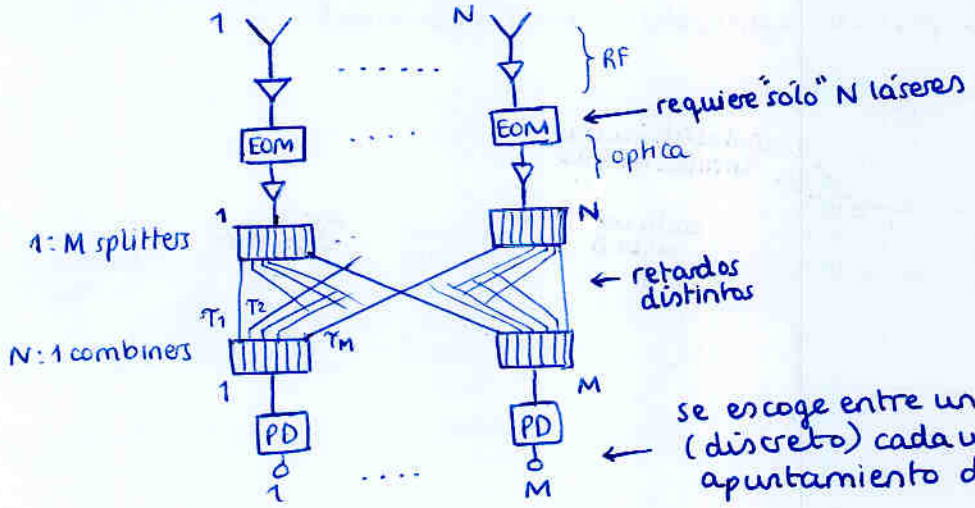
- Dos agrupaciones de diodos láser



1º array de N láseres:
- cada uno con su λ tendrá un retardo luego (ej 5 bits = 32 láseres) para ajustar el retardo

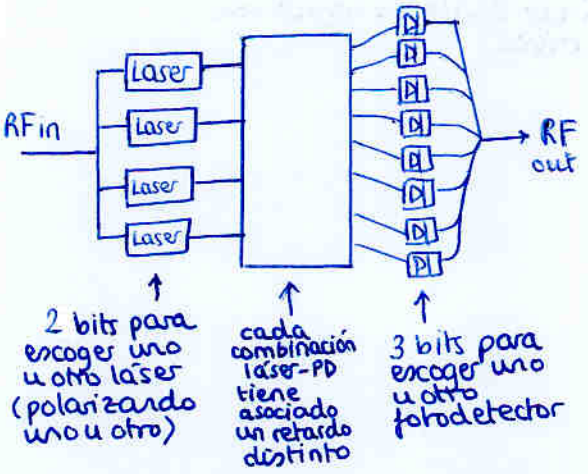
2º array de M láseres sintonizables
- cada uno asociado a una antena
- cada uno selecciona el retardo que le interesa a cada antena poniéndose en la λ adecuada para detección coherente

- solo un array de láseres pero más fibras

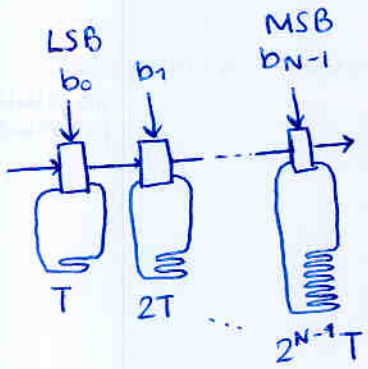


- Más ejemplos de conmutación de tramos de fibra

- conformador de 5 bits usando conmutación por Vpolarización



- BIFODEL (Binary Fiber optic Delay)



cada conmutador óptico decide si se efectúa su retardo o no
- difícil de implementar
- número elevado de conmutadores

Más util, mas interesante y mejor:

- Retardo basado en prisma de fibra dispersiva

Variando la λ de un único láser orientamos el haz!!
apuntamiento
0'28°/nm

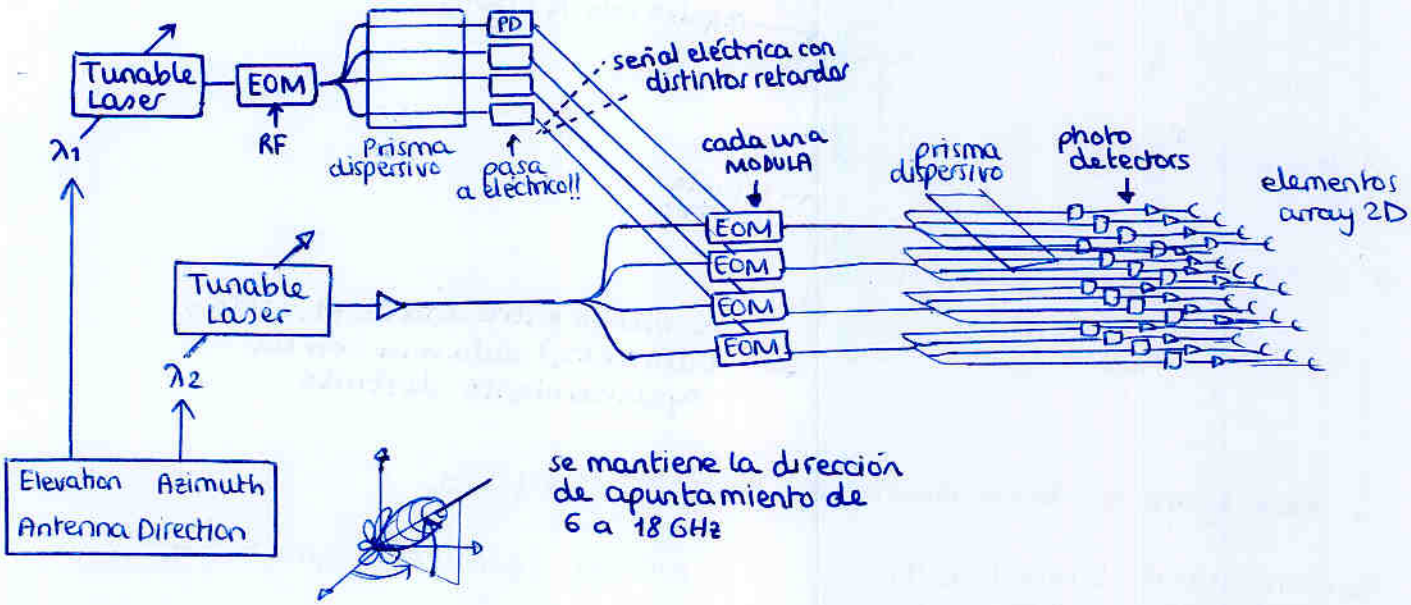
cada antena tiene asociado más o menos tramo de fibra dispersiva, resultando en un retardo $n\Delta\tau$ para cada una (pero $\Delta\tau$ depende de λ!!)

Apuntamiento independiente de f RF

se mantiene el apuntamiento entre 2 y 8 GHz !!!! (imposable en microondas)

(eso sí, lógicamente cambia el ancho de haz)

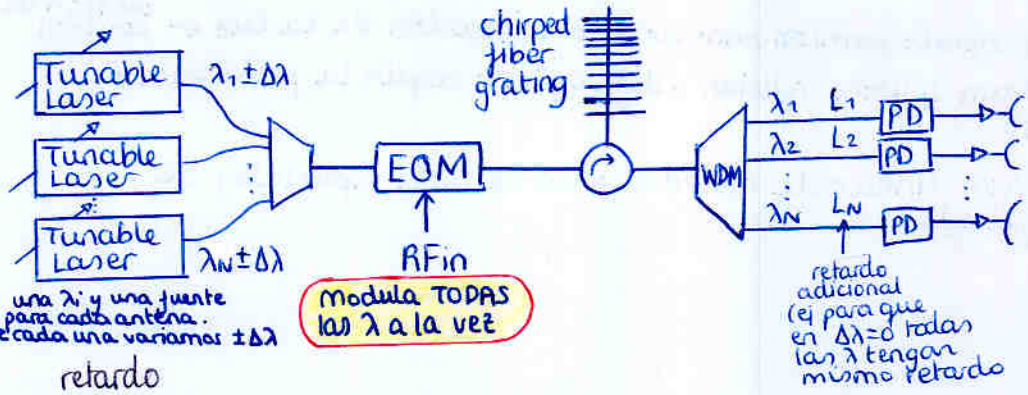
- Prisma de fibra dispersiva, agrupación bidimensional

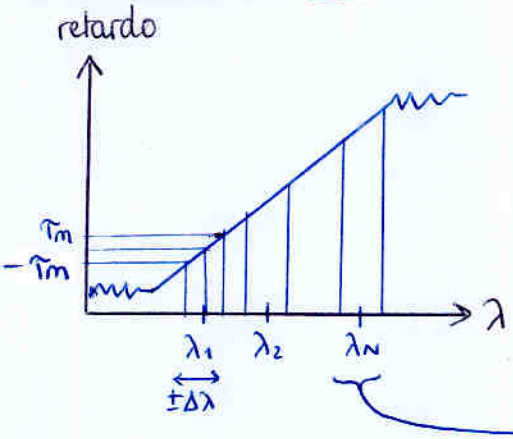


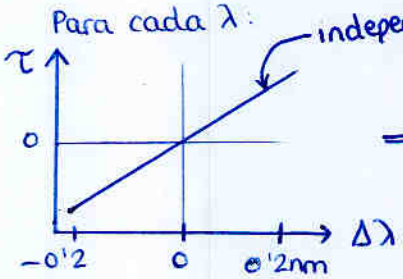
se mantiene la dirección de apuntamiento de 6 a 18 GHz

Configuración en recepción: ver p 5.25
se pueden combinar desfases en μo con prismas dirspersivos

RETARDADORES basados en redes de difracción







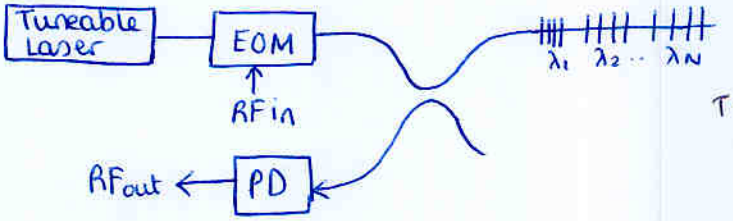
independiente de f_{RF} (de 2 a 18GHz!!!!)
APLICACION DE BANDA ANCHA

$\Rightarrow$

Problema:
τ varía con $\Delta\lambda$
↓
Dispersión
↓
Efecto de supresión de portadora

Solución:
usar modulación SSB (ej MZ dual drive alimentado con RF a 0° y 90°)

Alternativa: red de difracción discreta:



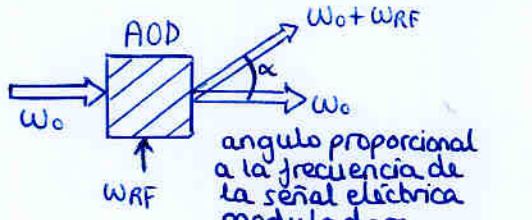
ventaja: control mas sencillo (elegir una u otra λ da uno u otro retardo, pero valores discretos)

retardo cte en cada λ
↳ no hay supresión portadora

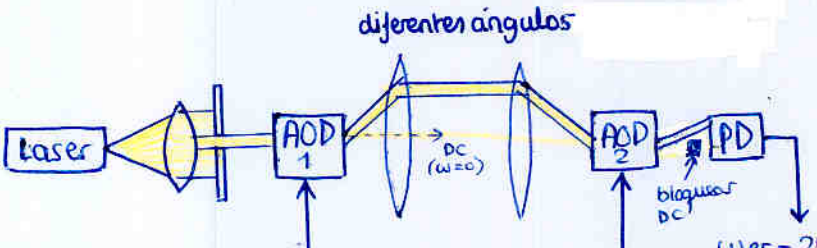
desventaja: menos flexibilidad

Redes conformadoras con OPTICA ESPACIAL

- Desfasadores basados en modulación acusto-óptica



angulo proporcional a la frecuencia de la señal eléctrica moduladora
además de modular

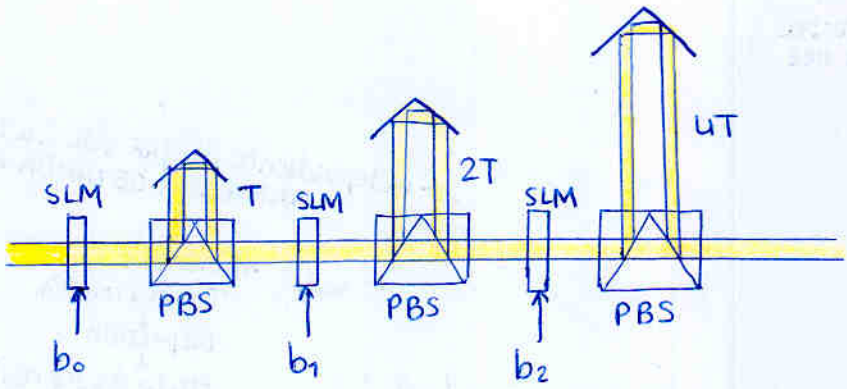


$\omega_{RF} = 2\omega_c$ con desfase que varía linealmente con ω_0

Ajustando la frecuencia de control ω_0 se ajusta el desfase

Retardadores basados en cristales líquidos

- Los Nematic Liquid Crystals (SLM) permiten controlar la polarización de la luz ← tensión de control
- Los Polarization Beam splitters (PBS) reflejan o dejan pasar según la polarización
- Podemos implementar líneas de retardo como caminos espaciales de diferentes longitudes



PREGUNTAS DE TEST DEL TEMA 2

1. Los sistemas radio sobre fibra óptica permiten una reducción en el coste de

   a) la estación de control.
   b) las estaciones base.
   c) los equipos de usuario.
   d) Ninguna de las anteriores.

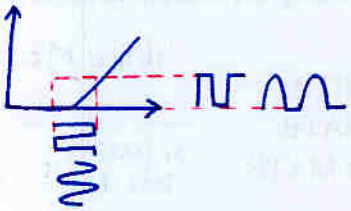
2. La limitación de los transmisores ópticos de sistemas analógicos basados en modulación directa de una fuente láser es

   a) su ancho de banda.
   b) el nivel de ruido RIN.
   c) la no linealidad de la respuesta de modulación.
   d) Todas las anteriores son correctas.

   son las desventajas de la modulación directa

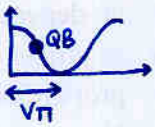
3. Los transmisores ópticos de sistemas digitales basados en modulación directa de una fuente láser no deben emplearse para transmitir señales analógicas debido principalmente a

   a) la baja relación de extinción.
   b) la alta relación de extinción.
   c) el recorte de la señal o "clipping".
   d) el chirp de frecuencia.



4. Si se reduce la tensión de media onda, V_π, en un modulador Mach-Zehnder, se obtiene como resultado

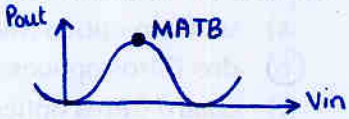
   a) un aumento de la distorsión no lineal.
   b) una reducción de la eficiencia o profundidad de modulación.
   c) una expansión de la respuesta de modulación del dispositivo.
   d) Ninguna de las anteriores.



reducir QB:
- comprime la respuesta
- mayor eficiencia
- más no lineal

5. Un modulador Mach-Zehnder polarizado en el punto de máxima transmisión (MATB) presenta distorsión de

   a) segundo orden, pero no de cuarto orden y superiores.
   b) tercer orden, pero no de quinto orden y superiores.
   c) segundo, cuarto, sexto y órdenes superiores.
   d) tercer, quinto, séptimo y órdenes superiores.



simetría par → órdenes pares

6. Si se desea reducir la distorsión no lineal de un modulador Mach-Zehnder adaptado para la transmisión de señales de vídeo multicanal habrá que

   a) polarizarlo en el punto lineal (QB). (por supuesto)
   b) polarizarlo en el punto de mínima transmisión (MITB).
   c) polarizarlo en el punto de máxima transmisión (MATB).
   d) incorporarle un circuito eléctrico de predistorsión.

   Polarizar adecuadamente en QB no es SUFICIENTE para suma de varios canales.
   Hay que recurrir a circuito de predistorsión

7. En comparación con los moduladores Mach-Zehnder, los moduladores de electroabsorción se caracterizan por

a) una respuesta más no lineal.
b) unas pérdidas de inserción más reducidas.
c) una mayor dependencia con la polarización.
d) Todas las anteriores son correctas.

electroabsorción vs. Mach Zender
- menos lineales
- más pérdidas de inserción
- menos dependiente de la polarización

8. Los enlaces ópticos que utilizan láseres Fabry-Perot en transmisión se caracterizan por

a) una figura de ruido reducida.
b) una gran ganancia.
c) un bajo coste.
d) Ninguna de las anteriores.

Fabry-Perot:
- baratos
- malas prestaciones

sale mucho

9. Se desea diseñar un transmisor óptico basado en la técnica de generación y mezclado armónico para generar una señal del tipo $3f_{OL} + f_{FI}$ empleando un único modulador Mach-Zehnder donde se aplican simultáneamente las señales de oscilador local y frecuencia intermedia. ¿Cuál debe ser su punto de polarización?

a) QB.
b) QB ó MITB.
c) QB ó MATB.
d) MITB ó MATB.

Único MZ — MZ — $3f_{OL} + f_{FI}$ ↔ orden 4 ↔ MITB o MATB
OL, FI

si fueran Dos MZ: MZ (FI) — MZ (OL) — $3f_{OL} + f_{FI}$

en QB por llevar la señal

en QB por ser orden impar (3)

10. La técnica de generación PM-IM en fibras dispersivas

a) no depende de los efectos no lineales de la fibra.
b) se utiliza para generar armónicos de orden elevado.
c) proporciona mejores resultados con moduladores de electroabsorción.
d) Ninguna de las anteriores.

PM-IM, FM-IM → propiedad clave: armónicos de orden muy elevado

(no tiene sentido ya que PM-IM requiere modular en fase, y un mod. electroabsorción sólo puede modular en intensidad)

11. La técnica coherente de cuadruplicación de frecuencia utilizando moduladores Mach-Zehnder requiere

a) un filtro óptico Mach-Zehnder.
b) dos filtros ópticos Mach-Zehnder.
c) cuatro filtros ópticos Mach-Zehnder.
d) Ninguna de las anteriores.

12. Se quiere utilizar un láser pulsado (MLL) para subir en frecuencia una señal de f_{FI} = 2 GHz a f_{RF} = 38 GHz. ¿Qué frecuencia de repetición del MLL se puede utilizar?

a) 4,75 GHz.
b) 9 GHz.
c) 19 GHz.
d) Ninguna de las anteriores.

El MLL se modulaba con una frec y se obtenían picos múltiplos de ella. Luego escogíamos dos picos cuya separación fuera la deseada

Deseamos subir de 2GHz a 38GHz, por tanto necesitamos una señal de 36 GHz (escoger 2 picos separados 36GHz)

9GHz × 4 = 36 GHz

lazo enganche fase vs. lazo enganche frec
· más complejo
· menor ruido de fase
· menor (mejor) ancho de línea
· mayor scattering Brillouin ← la técnica híbrida elimina esta desventaja

13. La técnica de generación coherente mediante lazo de enganche de fase se caracteriza por

a) un ancho de línea de las señales generadas grande.
b) una reducida influencia del scattering de Brillouin.
c) una mayor complejidad que la técnica con lazo de enganche de frecuencia.
d) Ninguna de las anteriores.

14. En la aplicación de generación y mezclado armónico de señales de milimétricas se obtienen los datos a transmitir sobre una frecuencia

a) $Nf_{OL} + f_{FI}$.
b) $Nf_{OL} + Mf_{FI}$. → produce distorsión salvo si la modulación fuera en frecuencia
c) Nf_{OL}.
d) Mf_{FI}.

15. ¿Cuál de los siguientes puntos de polarización del modulador Mach-Zehnder NO es en un principio insensible al efecto de supresión de la portadora?

a) SSB. → no es un punto de polarización, sino un tipo de modulación
b) QB
c) MITB.
d) MATB.

} → genera sólo dos tonos (bandas lat.) → sólo 1 batido al fotodetector → no puede haber supresión de portadora

16. Si se desea utilizar un modulador Mach-Zehnder para la generación armónica, se escogerá aquel que se caracterice por

a) tensión de media onda pequeña.
b) nivel de chirp reducido.
c) ancho de banda elevado.
d) Ninguna de las anteriores.

Generación armónica → Interesa no linealidad
- En principio el chirp da igual (chirp elevado puede resultar en no linealidad según la dispersión)
- El AB de modulación no hace falta que abarque los armónicos no lineales (i)

17. El proceso de conversión FM-IM en fibras dispersivas NO depende de

a) la potencia óptica.
b) el índice de modulación de fase.
c) el chirp de frecuencia.
d) la dispersión cromática.

FM-IM es lo mismo que PM-IM, pero FM-IM supone que para modular en frec se utiliza un láser (α: coef de ensanchamiento de línea)
b → importante en PM-IM
c → importante en FM-IM
} → el mismo efecto
d → imprescindible para convertir a IM

18. ¿Cuál de las siguientes técnicas coherentes de generación de señales milimétricas produce generalmente un ancho de línea más reducido?

a) OIL (optical injection locking).
b) OFLL (optical frequency-locked loop).
c) OPLL (optical phase-locked loop). → enganche de fase → ancho de línea reducido
d) OIPLL (optical injection phase-locked loop).

19. Si queremos inducir FWM para aplicarlo a la generación de señales milimetricas deberíamos utilizar una fibra (en tercera ventana)

a) SMF (single-mode fiber).
b) DSF (dispersion-shifted fiber).
c) NZDSF (nearly-zero dispersion-shifted fiber).
d) multimodo.

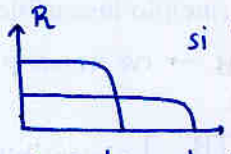
Para alta eficiencia de FWM interesa dispersión nula:
→ segunda ventana fibra estándar
→ Tercera ventana fibra DSF

20. Cuando la potencia óptica recibida es bastante pequeña suele predominar a la salida del fotodetector el ruido

a) ASE proveniente de los amplificadores ópticos.
b) térmico. (el que introduce el circuito eléctrico del receptor independiente de la pot óptica)
c) shot.
d) RIN proveniente del láser.

21. En general, en los fotodetectores para sistemas radio-fibra, cuando aumenta la responsividad

a) también aumenta el ancho de banda.
b) también aumenta el nivel de ruido shot.
c) disminuye la ganancia del enlace.
d) Ninguna de las anteriores.



si R↑ → AB↓

El ruido shot depende de la fotocorriente media, si R↑ → $\bar{I}$↑ → shot↑

22. La mejor solución para conseguir bajas pérdidas de inserción en los enlaces ópticos consiste en

a) aumentar el nivel de potencia óptica transmitida. (hoy día ha llegado a su límite)
b) reducir la longitud del enlace. (absurdo)
c) aumentar la responsividad y el ancho de banda del detector. (aquí está la clave)
d) Ninguna de las anteriores.

SOLUCIONES A LAS PREGUNTAS DE TEST DEL TEMA 2

1-b, 2-d, 3-c, 4-a, 5-c, 6-d, 7-a, 8-c, 9-d, 10-b, 11-b, 12-b, 13-c, 14-a, 15-b, 16-a, 17-a, 18-c, 19-b, 20-b, 21-b, 22-c

PREGUNTAS DE TEST DE LOS TEMAS 3-4

1. El efecto de supresión de la portadora en enlaces ópticos de sistemas radio-fibra se produce como consecuencia de

   a) la dispersión cromática de la fibra.
   b) los efectos no lineales de la fibra. (pueden afectar, pero no es imprescindible)
   c) la modulación en banda lateral única (SSB). (es una solución)
   d) Ninguna de las anteriores.

2. Debido al efecto de supresión de la portadora, se producen nulos de transmisión a determinadas frecuencias. La posición de estos nulos depende de

   a) la longitud de fibra.
   b) la potencia óptica transmitida. → al aumentar la potencia óptica se desplazan los nulos hacia la derecha (practica 2)
   c) el chirp del transmisor óptico. → en la práctica variábamos m_f
   d) Todas las anteriores son correctas.

3. Si se transmiten un conjunto de canales de vídeo cubriendo la banda de 400 a 600 MHz, a la salida del enlace de fibra afectará tan solo la distorsión no lineal del tipo → SCM

   a) HD2.
   b) HD3.
   } sólo para una única subportadora en SCM hay intermodulación (tanto armónicos como prod. intermodulación)
   c) CSO. → el sistema no ocupa más de una octava $2 \times 400 > 600$
   d) CTB. (no se ve enmascarado por CSO, que siempre predomina en F.O.)

   $f_1 \cdots f_2$ $\frac{f_2}{f_1} < 2$

4. Para que el efecto no lineal de automodulación de fase (SPM) provoque distorsión no lineal en sistemas ópticos analógicos modulados en intensidad, resulta imprescindible que

   a) el transmisor óptico introduzca chirp.
   b) la fibra tenga dispersión cromática.
   } no linealidad SPM + Dispersión → distorsión
   c) el área efectiva de la fibra tenga un valor reducido. ej: en una DSF (dispersión nula), a pesar de ser más no lineal, no tendría distorsión por SPM
   d) Ninguna de las anteriores.

gráfica pag 3.14

5. En sistemas ópticos analógicos con modulación externa de intensidad y detección directa, suele predominar la distorsión de → i.e. sin chirp

   a) segundo orden debida a la dispersión cromática de la fibra.
   b) tercer orden debida a la dispersión cromática de la fibra.
   } si no hay chirp no hay casi distorsión por dispersión (sistemas de cocos)
   c) segundo orden debida a los efectos no lineales de la fibra. → debido a la combinación SPM + dispersión
   d) tercer orden debida a los efectos no lineales de la fibra.

6. En sistemas ópticos analógicos con modulación directa de intensidad y detección directa, suele predominar la distorsión de ↳ i.e. con chirp

a) segundo orden debida a la dispersión cromática de la fibra.
b) tercer orden debida a la dispersión cromática de la fibra.
c) segundo orden debida a los efectos no lineales de la fibra.
d) tercer orden debida a los efectos no lineales de la fibra.

7. El fenómeno de scattering estimulado de Brillouin

a) puede reducirse aumentando el ancho de línea del láser. laser con mucho ruido fase / chirp
b) puede reducirse introduciendo una modulación de la fase óptica.
c) puede reducirse introduciendo una modulación de la frecuencia óptica.
d) Todas las anteriores son correctas.

8. Si se desea ecualizar simultáneamente las degradaciones causadas por la dispersión cromática y los efectos no lineales de la fibra, se deberá emplear ↳ i.e. SPM + dispersión

a) una fibra de dispersión desplazada (DSF). → no evitaría FWM (sí evitaría SPM+dispersión)
b) una fibra compensadora de dispersión (DCF).
c) una red de difracción sobre fibra con chirp (CFG). } compensar dispersión, no efectos no lineales
d) un conjugador óptico (OPC). → compensa ambos efectos

9. ¿Cuál de los siguientes efectos dificulta el diseño de un sistema de comunicaciones basado en fibras compensadoras de dispersión? ↳ muy no lineales

Los efectos no lineales dificultan mucho la compensación de dispersión

a) La dispersión cromática.
b) El scattering estimulado de Brillouin (SBS). → limita potencia inyectada
c) La automodulación de fase (SPM).
d) El chirp del transmisor óptico. → puedo compensar la dispersión haya más o menos chirp igualmente

10. ¿Cuál de las siguientes características de las redes de difracción sobre fibra utilizadas para compensar la dispersión cromática NO es correcta?

a) Suelen trabajar en modo reflexión.
b) La variación del índice de refracción presenta un chirp lineal.
c) Suelen colocarse a la salida del enlace de fibra y antes del fotorreceptor, empleando habitualmente un circulador óptico.
d) Son dispositivos fácilmente integrables. X una red de Bragg está hecha en fibra (varios cm)

11. Las funciones de apodización de las redes de difracción con chirp (CFGs) se utilizan para funciones de enventanado

a) disminuir las pérdidas de inserción del dispositivo.
b) aumentar su ancho de banda.
c) reducir el rizado de su característica de dispersión.
d) Ninguna de las anteriores.

para poder ir deshaciendo los efectos (que dependen de la pot) se necesitan pérdidas simétricas

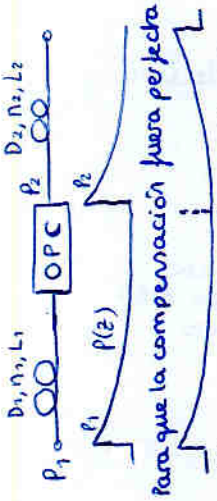
12. ¿Cuál de los siguientes dispositivos NO constituye una de las diferentes configuraciones posibles de conjugador óptico?

Hemos visto 3 configuraciones
- DSF
- SOA
- Laser

generen FWM

quitándole uno de los espejos para que la señal pueda entrar

a) Fibra de dispersión desplazada (DSF).
b) Amplificador de fibra dopada con Erbio (EDFA).
c) Amplificador óptico de semiconductor (SOA).
d) láser. (V-groove)



13. Para poder compensar perfectamente las degradaciones causadas por el efecto conjunto de la dispersión cromática y del SPM empleando la técnica de inversión espectral, se necesitarían (pregunta puramente teórica)

a) dos tramos de fibra de idénticas características de dispersión.
b) dos tramos de fibra de idénticas características de no linealidad.
c) dos tramos de fibra de idénticas características de dispersión y no linealidad.
d) dos tramos de fibra sin pérdidas.

14. La principal limitación de la técnica de inversión espectral en el caso de sistemas CATV es

a) el gran número de canales.
b) la sensibilidad frente a variaciones en la longitud del enlace óptico. → no afectaba mucho (era una ventaja)
c) el nivel de ruido ASE introducido por el conjugador óptico. P. 3.27
d) Ninguna de las anteriores.

15. En comparación con la configuración basada en SOA, el conjugador óptico basado en DSF puede ofrecer mejores prestaciones para

a) potencias ópticas de bombeo reducidas.
b) potencias ópticas de señal elevadas. → ya que el SOA se satura P 3.31
c) potencias de ruido ASE elevadas.
d) Ninguna de las anteriores.

16. El ruido de fase de los láseres puede convertirse en ruido RIN en presencia de

(i.e. efecto PM-IM)

El ruido de fase que no nos afectaría se transforma en ruido RIN

a) reflexiones. → si
b) fibras dispersivas. → si pueden
c) redes de difracción sobre fibra con chirp (CFGs). → equivalente a una fibra dispersiva
d) Todas las anteriores son correctas.

17. En enlaces ópticos analógicos de corto alcance suele predominar en recepción el ruido

no habrá amplificadores (no ASE)

a) RIN. → afecta para mucha señal
b) ASE. → afecta cuando amplificamos
c) térmico. → afecta para poca señal
d) shot. → siempre por enmedio pero nunca predomina

18. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones NO es una característica típica de los filtros ópticos de señales de RF basados en dispositivos dispersivos?

a) Se trata de filtros paso-bajo.
b) Presentan una respuesta en frecuencia cuya envolvente sigue el comportamiento típico del efecto de supresión de la portadora.
c) Presentan una respuesta en frecuencia que se repite de forma completamente periódica. idealmente sería periódico, pero la envolvente de la supresión de la portadora deshace la periodicidad ($\cos(\beta L^2)$)
d) Necesitan de un modulador externo para introducir la señal de RF.

19. Para conseguir filtros ópticos de señales de RF con respuestas de tipo paso-alto o paso-banda se requiere

Para ser paso alto debe anularse la continua (i.e. anulando la media de los coeficientes FIR) para ello necesitamos coeficientes negativos (desfases)

a) dispositivos dispersivos.
b) estructuras interferométricas.
c) inversores espectrales.
d) Ninguna de las anteriores.

20. El procesado de señal conocido como "time stretching" en conversores A/D fotónicos

a) se realiza después de la fotodetección. no
b) consiste en comprimir la señal como paso previo al muestreo. no
c) permite procesar señales de muy alta frecuencia. si
d) Ninguna de las anteriores.

SOLUCIONES A LAS PREGUNTAS DE TEST DE LOS TEMAS 3-4

1-a, 2-d, 3-d, 4-b, 5-c, 6-a, 7-d, 8-d, 9-c, 10-d, 11-c, 12-b, 13-d, 14-c, 15-b, 16-d, 17-a, 18-c, 19-b, 20-c