

# Aspectos prácticos del amplificador Raman

## Contenido

[Introducción](#)

[Antecedentes](#)

[Tipos comunes de amplificadores Raman](#)

[Principio](#)

[Teoría de la ganancia de Raman](#)

[Fuentes de ruido](#)

[Información Relacionada](#)

## Introducción

Este documento describe los aspectos prácticos de la implementación de amplificadores Raman en la red óptica. Hace a Raman más fácil de entender, lista abajosus ventajas, requisitos y aplicaciones.

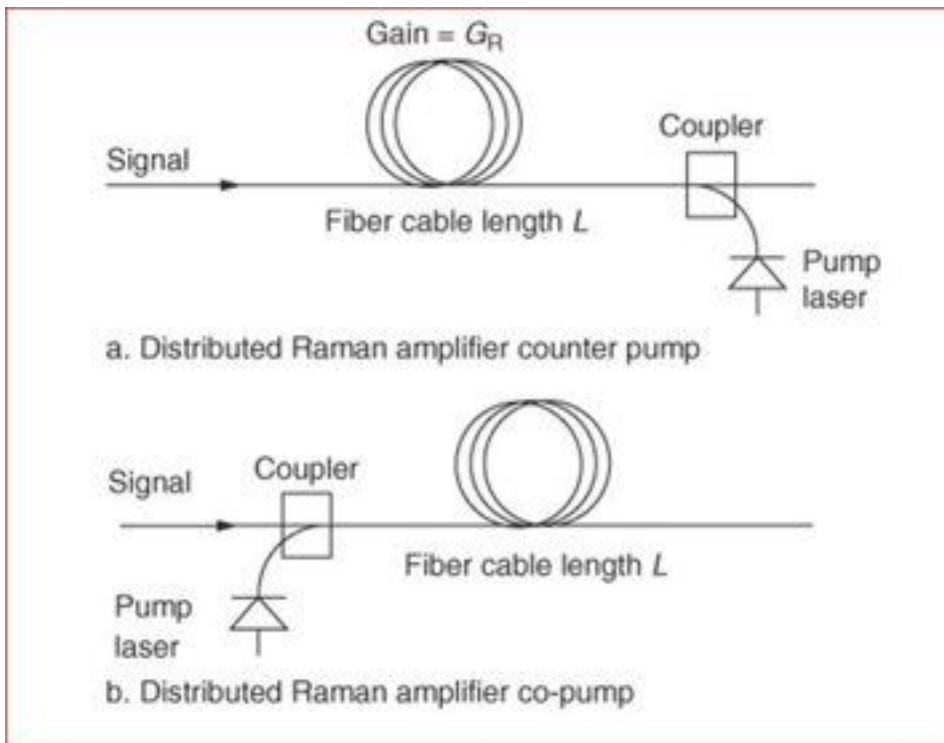
Colaborado por Sanjay Yadav, ingeniero del TAC de Cisco.

## Antecedentes

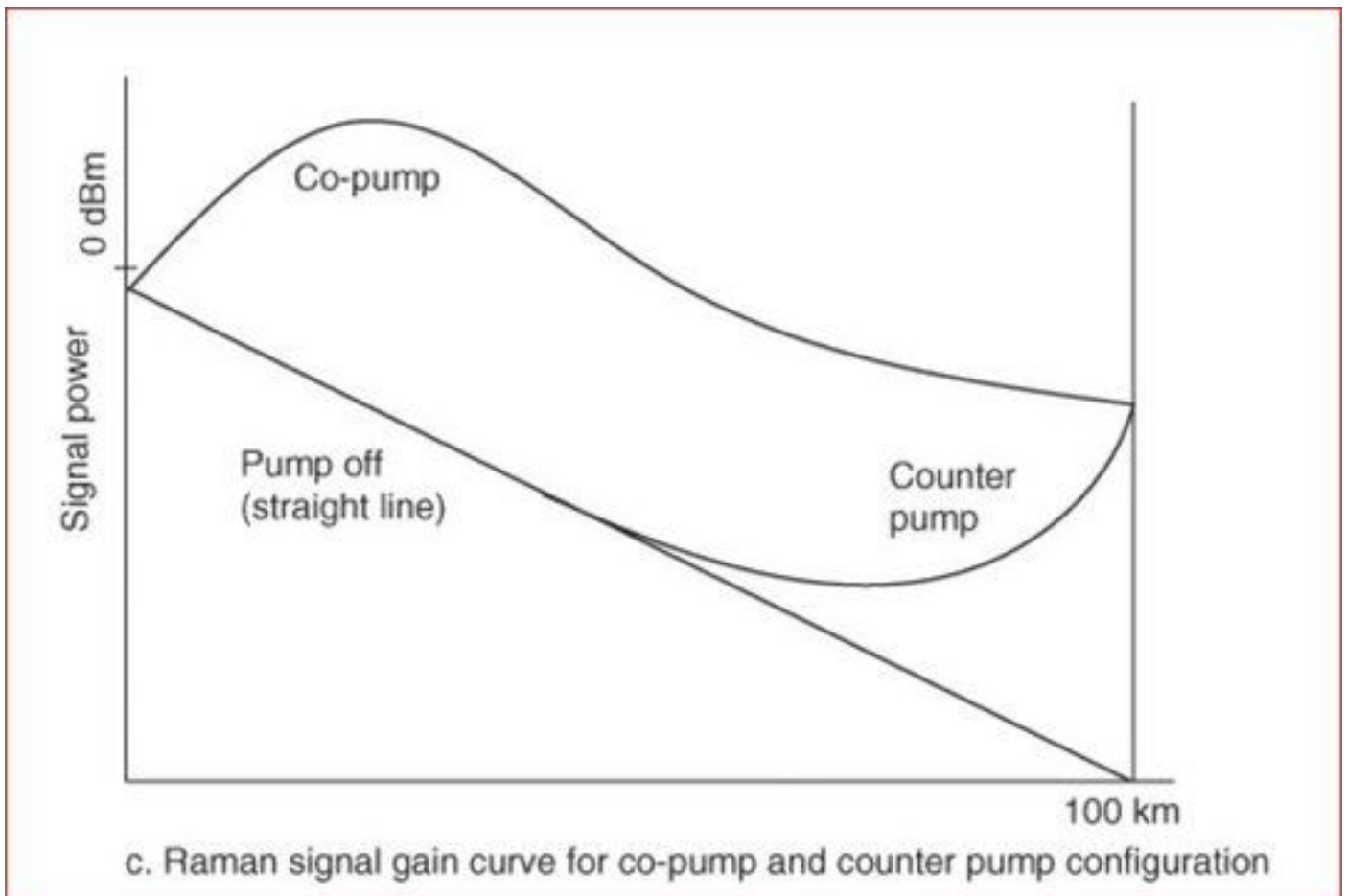
1. El amplificador Raman suele ser mucho más costoso y tiene menos ganancia que un amplificador de fibra dopada de Erbium (EDFA). Por lo tanto, sólo se utiliza para aplicaciones especializadas.
2. La principal ventaja que este amplificador tiene sobre el EDFA es que genera mucho menos ruido y, por lo tanto, no degrada la relación óptica-ruido de señal (OSNR) tanto como el EDFA.
3. Su aplicación típica se encuentra en extensiones EDFA donde se requiere ganancia adicional pero se ha alcanzado el límite de OSNR.
4. La adición de un amplificador Raman puede no afectar significativamente al OSNR, pero puede proporcionar una ganancia de señal de hasta 20 dB.
5. Otro atributo clave es el potencial para amplificar cualquier banda de fibra, no sólo la banda C como ocurre con el EDFA. Esto permite que los amplificadores Raman aumenten las señales en las bandas O, E y S (para la aplicación de amplificación de división de longitud de onda aproximada (CWDM)).
6. El amplificador funciona sobre el principio de dispersión Raman estimulada (SRS), que es un efecto no lineal.
7. Consta de un láser de bomba de alta potencia y un acoplador de fibra (circulador óptico).
8. El medio de amplificación es la fibra span en un amplificador Raman de tipo distribuido (DRA).
9. El láser de retroalimentación distribuida (DFB) es un ancho de banda espectral estrecho que se utiliza como mecanismo de seguridad para la tarjeta Raman. DFB envía el pulso para verificar cualquier reflexión posterior que exista en la longitud de la fibra. Si no se encuentra ninguna reflexión de respaldo alta (HBR), Raman comienza a transmitir.

10. Por lo general, el HBR se verifica en unos pocos kilómetros iniciales de fibras hasta los primeros 20 km. Si se detecta HBR, Raman no funcionará. Se necesita cierta actividad de fibra después de encontrar el área del problema a través de OTDR.

## Tipos comunes de amplificadores Raman



- El amplificador Raman de tipo lumpado o discreto contiene internamente una banda suficientemente larga de fibra donde se produce la amplificación de la señal.
- El láser de la bomba DRA se conecta a la extensión de fibra en una bomba de contador (bomba de marcha atrás) o en una bomba de corriente (bomba de reenvío) o en una configuración.
- La configuración de la bomba de contador suele ser preferible, ya que no da como resultado una potencia de señal excesivamente alta al inicio del tramo de fibra, lo que puede dar lugar a distorsiones no lineales como se muestra en la imagen.



La ventaja de las configuraciones de bomba conjunta es que produce menos ruido.

## Principio

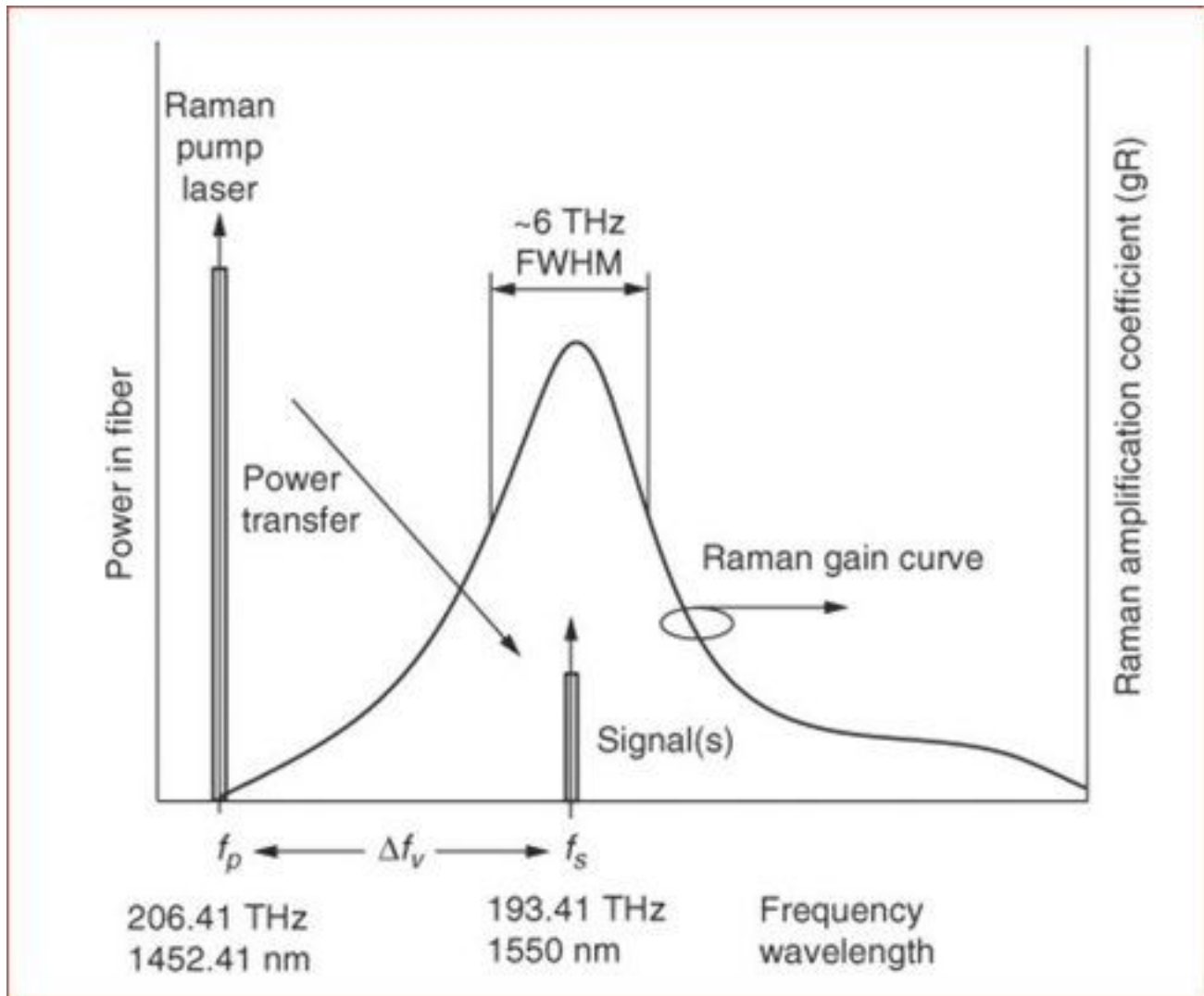
A medida que los fotones láser de la bomba se propagan en la fibra, colisionan y son absorbidos por moléculas de fibra o átomos. Esto excita las moléculas o átomos a niveles de energía más altos. Los niveles de energía más altos no son estados estables, por lo que se descienden rápidamente a niveles de energía intermedios más bajos que liberan energía como fotones en cualquier dirección a frecuencias más bajas. Esto se conoce como dispersión espontánea de Raman o dispersión de Stokes y contribuye al ruido en la fibra.

Dado que las moléculas se descomponen a un nivel de vibración de energía intermedio, el cambio de energía es menor que la energía inicial recibida en el momento de la excitación molécula. Este cambio de energía del nivel de entusiasmo al nivel intermedio determina la frecuencia del fotón desde  $\Delta f = \Delta E / h$ . Esto se conoce como el cambio de frecuencia de Stokes y determina la forma y la ubicación de la curva de ganancia Raman versus la curva de frecuencia. La energía que permanece desde el nivel intermedio hasta el nivel de tierra se disipa como vibraciones moleculares (fonones) en la fibra. Dado que existe una amplia gama de niveles de energía más altos, la curva de ganancia tiene un ancho espectral amplio de aproximadamente 30 THz.

En el momento de la dispersión Raman estimulada, los fotones de señal propagan conjuntamente el espectro de las ganancias de frecuencia de la curva y adquieren energía de la onda Stokes, lo que resulta en amplificación de la señal.

## Teoría de la ganancia de Raman

El ancho de la curva de ganancia Raman de la FWHM es de aproximadamente 6 THz (48 nm) con un pico de aproximadamente 13,2 THz bajo la frecuencia de la bomba. Este es el útil espectro de amplificación de señal. Por lo tanto, para amplificar una señal en el rango de 1550 nm, el la frecuencia láser de la bomba debe ser 13,2THz inferior a la frecuencia de la señal a unos 1452 nm.



Para ampliar la curva de ganancia Raman total se utilizan varios láseres de bomba con curvas de ganancia lado a lado.

$$f_p = f_s + \Delta f_v$$

Donde  $f_p$  = frecuencia de la bomba, THz  $f_s$  = frecuencia de la señal, THz  $\Delta f_v$  = cambio de frecuencia Raman Stokes, THz.

La ganancia Raman es la ganancia de señal neta distribuida a lo largo de la longitud efectiva de la fibra. Es una función de potencia láser de la bomba, longitud efectiva de la fibra y área de fibra.

En el caso de las fibras con una pequeña zona efectiva, como la fibra de compensación de dispersión, la ganancia de Raman es mayor. La ganancia también depende de la separación de la

señal de la longitud de onda de la bomba láser, también se especifica la ganancia de la señal Raman y el campo se mide como ganancia de encendido/apagado. Esto se define como la relación de la potencia de la señal de salida con el láser de la bomba encendido y apagado. En la mayoría de los casos, el ruido de la ASE Raman tiene poco efecto sobre el valor de la señal medida con el láser de la bomba encendido. Sin embargo, si hay un ruido considerable, que puede experimentarse cuando la anchura espectral de medición es grande, la potencia acústica medida con la señal apagada se restará de la bomba en la potencia de la señal para obtener un valor de ganancia de encendido/apagado exacto. La ganancia de Raman on on/off se conoce a menudo como ganancia de Raman.

$$G_{R.on/off} = 10 \log \left( \frac{P_s(\text{pump.on,signal.on}) - P_{\text{noise}}(\text{pump.on,signal.off})}{P_s(\text{pump.off,signal.on})} \right)$$

## Fuentes de ruido

El ruido creado en un tramo DRA consta de:

- Emisiones espontáneas amplificadas (ASE)
- Difusión de Rayleigh doble (DRS)
- Ruido láser de bomba

El ruido ASE se debe a la generación de fotones por la dispersión espontánea de Raman.

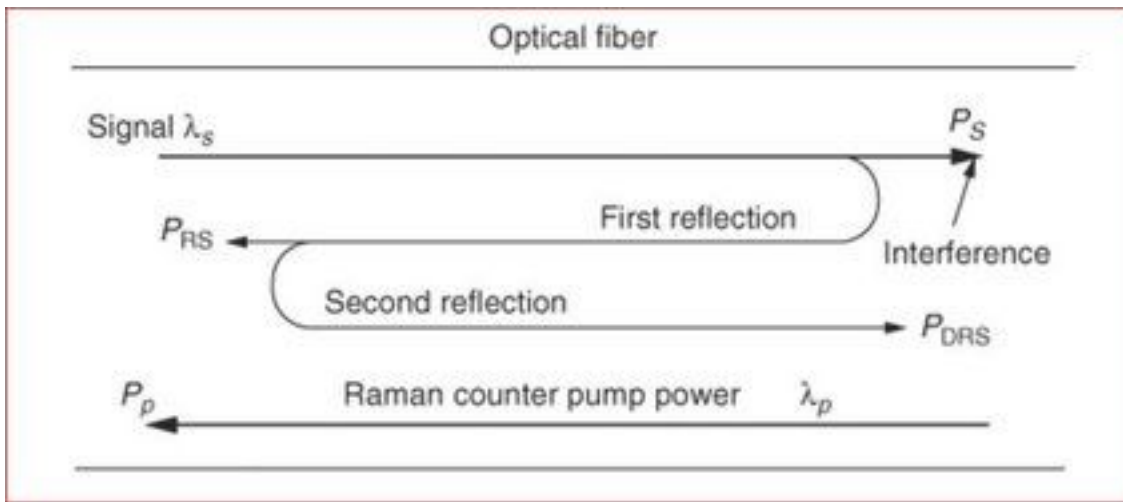
El ruido DRS se produce cuando se amplifica la potencia de la señal reflejada dos veces debido a la dispersión de Rayleigh e interfiere con la señal original como ruido de punto cruzado.

Los reflejos más fuertes se producen a partir de conectores y empalmes defectuosos.

Normalmente, el ruido DRS es menor que el ruido ASE, pero para varias extensiones Raman puede sumarse. Para reducir esta interferencia, se pueden utilizar conectores ultrapolacos (UPC) o conectores polacos angulares (APC). Los aisladores ópticos se pueden instalar después de los diodos láser para reducir los reflejos en el láser. Además, los seguimientos de OTDR de span pueden ayudar a localizar eventos de gran reflejo para su reparación.

La configuración de DRA de la bomba de contador da como resultado un mejor rendimiento de OSNR para las ganancias de señal de 15 dB y mayores. El ruido láser de bomba es menos preocupante porque suele ser bastante bajo con RIN de mejor de 160 dB/Hz.

Los efectos Kerr no lineales también pueden contribuir al ruido debido a la alta potencia de la bomba láser. En el caso de las fibras con bajo ruido de DRS, la cifra de ruido Raman debido a la ASE es mucho mejor que la cifra de ruido EDFA. Por lo general, la cifra de ruido Raman es de -2 a 0 dB, que es aproximadamente 6 dB mejor que la cifra de ruido EDFA.



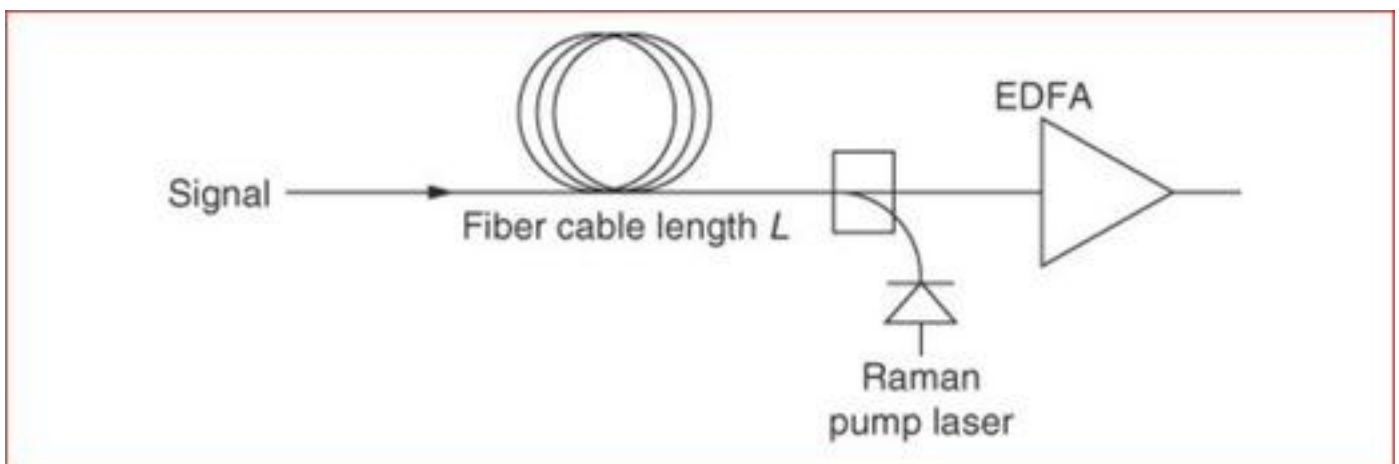
El factor de ruido del amplificador Raman se define como el OSNR en la entrada del amplificador al OSNR a la salida del amplificador.

$$F_R = \frac{\text{OSNR}_{\text{in}}}{\text{OSNR}_{\text{out}}}$$

$$\text{NF}_R = 10 \log(F_R)$$

La cifra de ruido es la versión dB del factor de ruido.

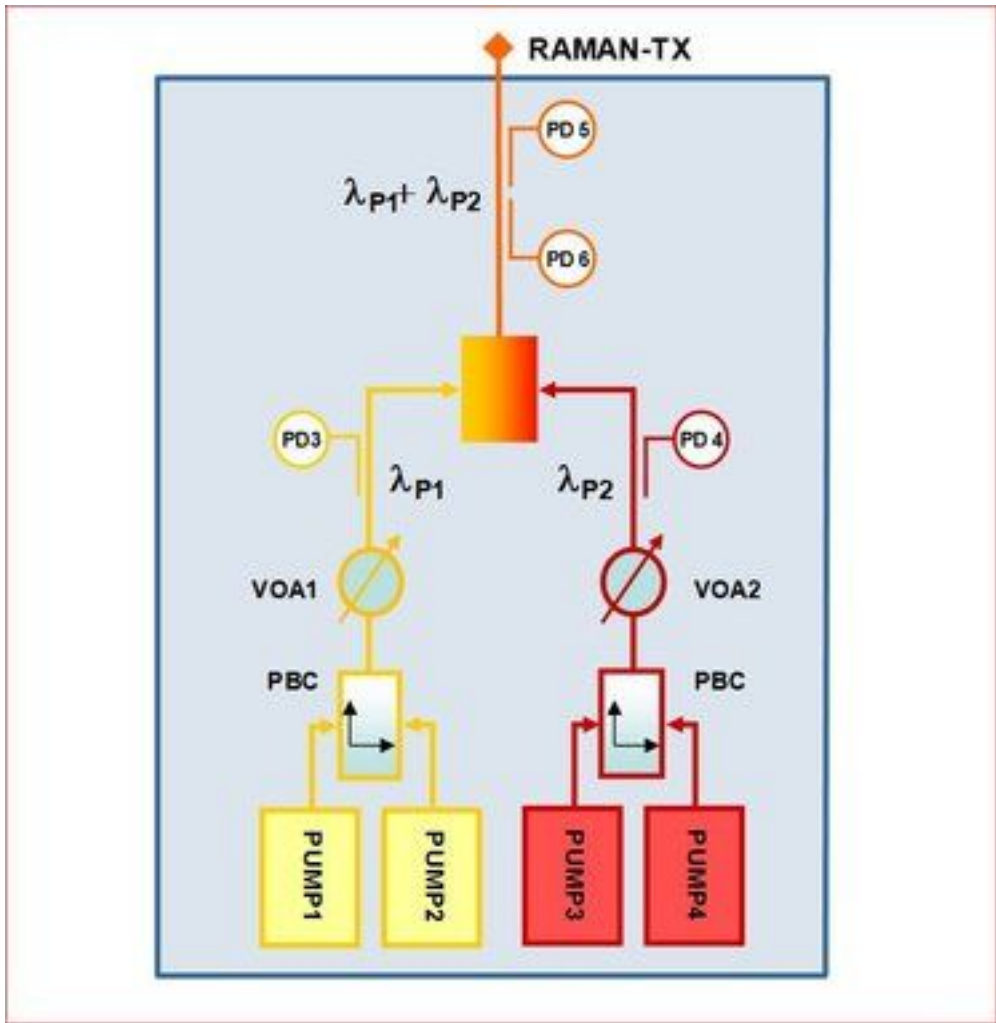
El ruido DRA y la ganancia de señal se distribuyen a lo largo de la longitud efectiva de la fibra span.



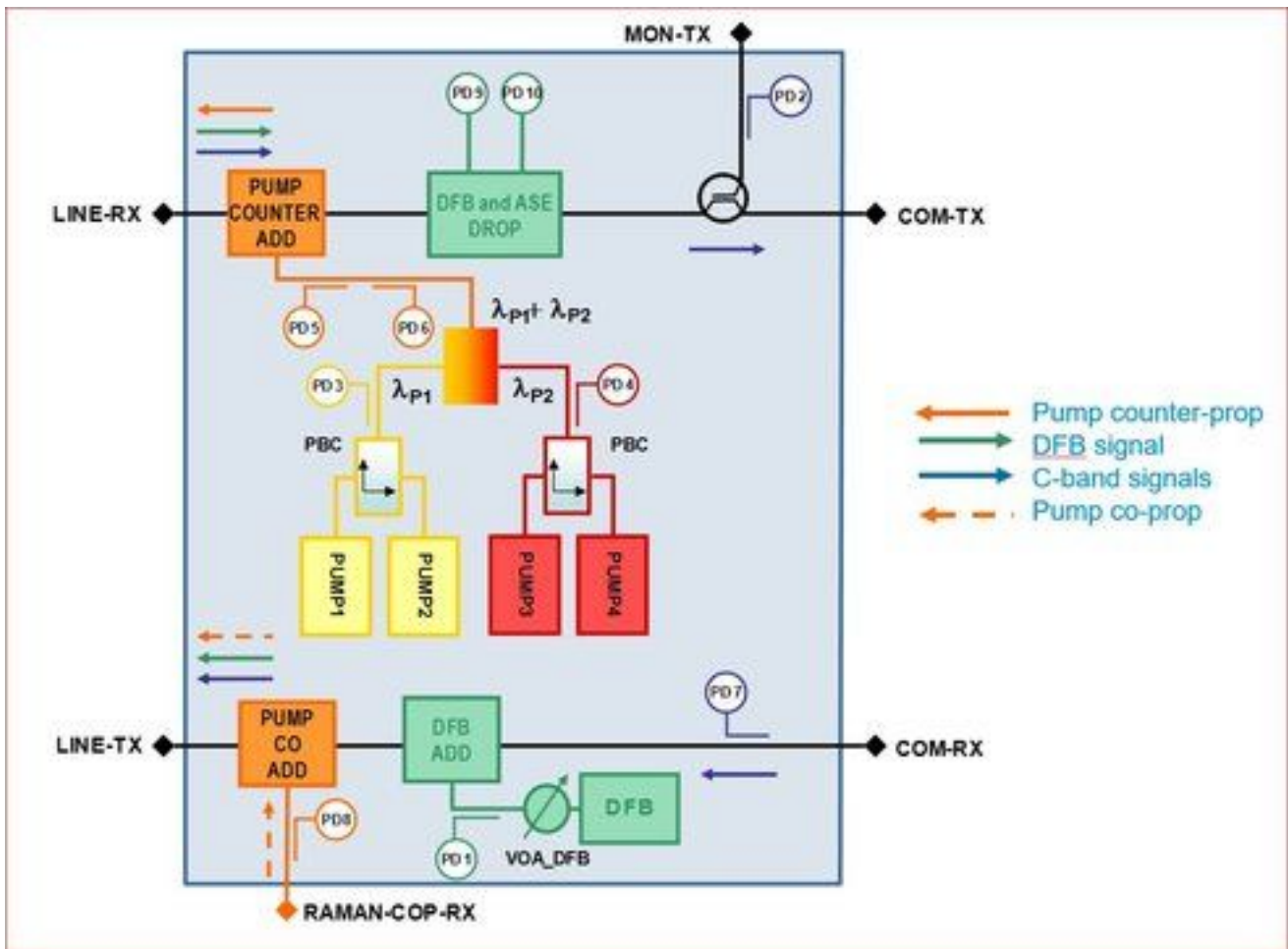
Los amplificadores Raman distribuidos por la bomba de contador se combinan a menudo con los preamplios EDFA para extender las distancias de tramo. Esta configuración híbrida puede proporcionar una mejora de 6 dB en el OSNR, que puede ampliar significativamente las longitudes de tramo o aumentar el presupuesto de pérdida de tramo. La DRA de la bomba de contador también puede ayudar a reducir los efectos no lineales y permite reducir la potencia de lanzamiento del canal.

[Diagrama de bloques funcionales para amplificador Raman de coPropagación y contra](#)

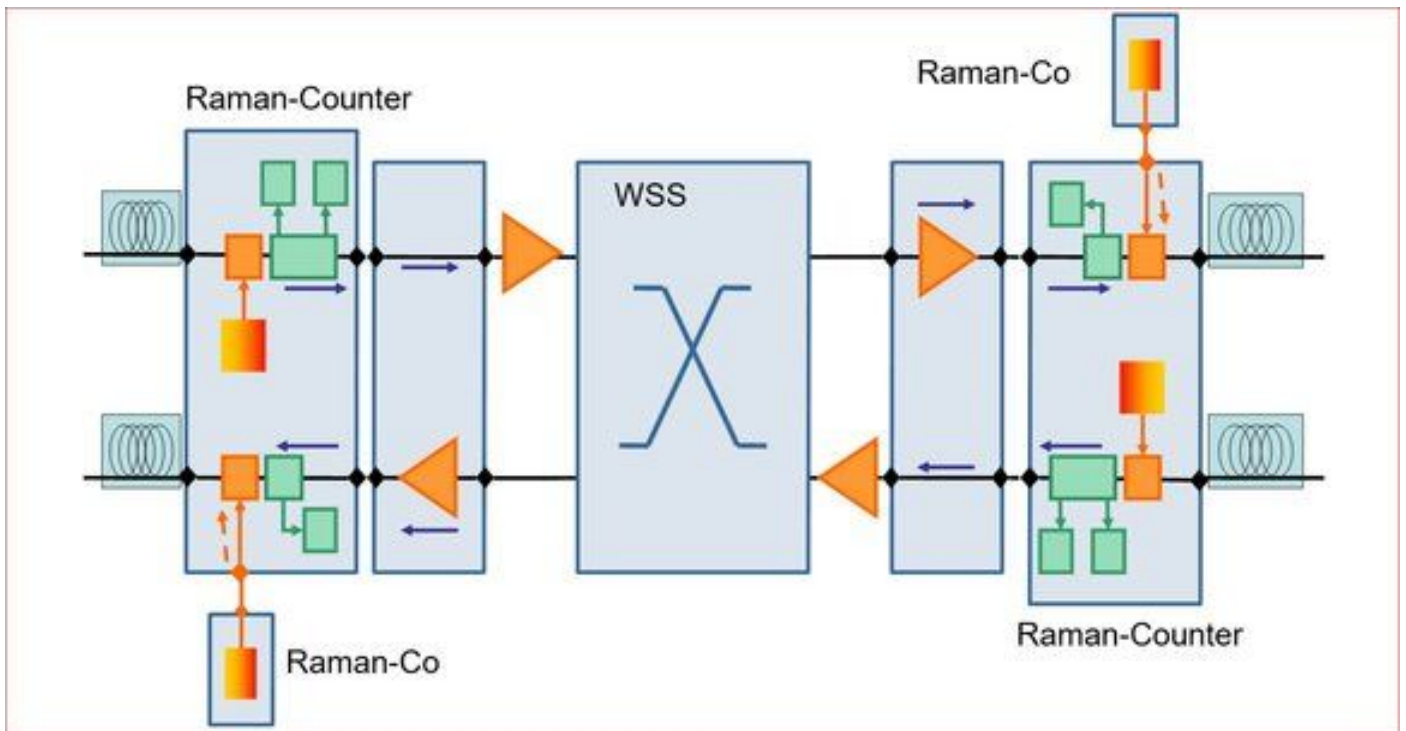
propagación







Arquitectura de implementación de campo de amplificadores EDFA y RAMAN:



Interesante saber:

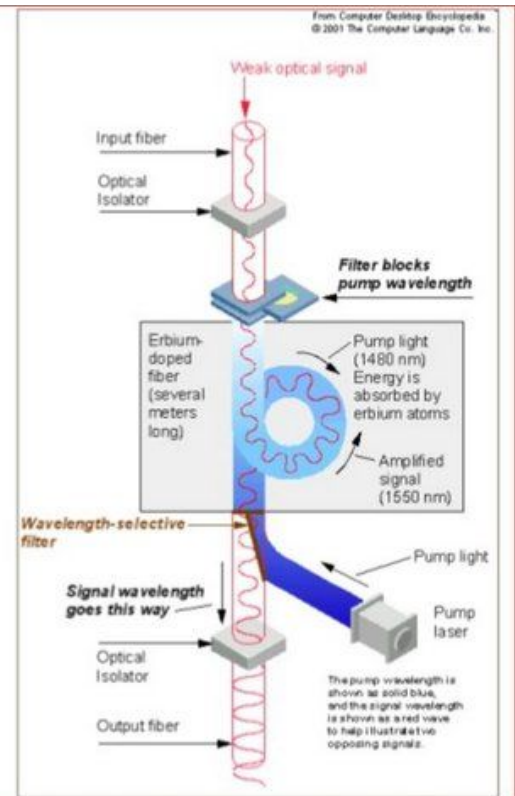


### Simplified Explanation on Raman Amplification:

Based on stimulated Raman scattering (SRS) effect, the weak light signal gets amplified while passing through a Raman gain medium (**the fiber**) in presence of a **strong pump laser**. It's the power transfer from lower to higher wavelengths.

### EDFA vs. Raman Amplifier:

A Raman optical amplifier is not an amplifier “in a module”; instead, the optical amplification relies on the transmission “**fiber**” itself. In other words, whoever is deploying a Raman amplifier means he/she is building the amplifier on-site basically with a **high-power laser pump + existing fiber (any type of fiber)**!



## Información Relacionada

- Planificación de redes de fibra óptica por Bob Chomycz
- [https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/ons-15454-series-multiservice-provisioning-platforms/data\\_sheet\\_c78-658538.html](https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/ons-15454-series-multiservice-provisioning-platforms/data_sheet_c78-658538.html)
- [Soporte Técnico y Documentación - Cisco Systems](#)