



# Técnicas de modulación para fibra óptica

**Amedeo Beck Peccoz**

**Madrid**

**ESNOG29**

**18 de mayo de 202**

## **Hoy hablamos de:**

- 1 – Algunos ejemplos**
- 2 – Qué es la modulación**
- 3 – Limitaciones de la fibra**
- 4 – El presente**
- 5 – El futuro**

# 1 – Algunos ejemplos

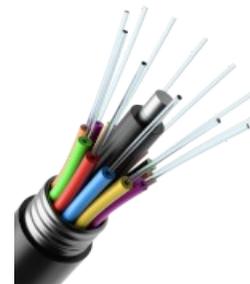
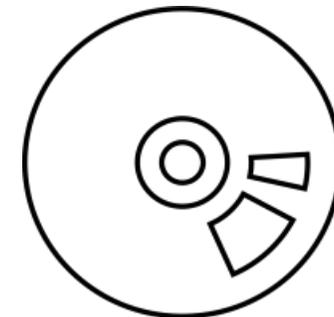
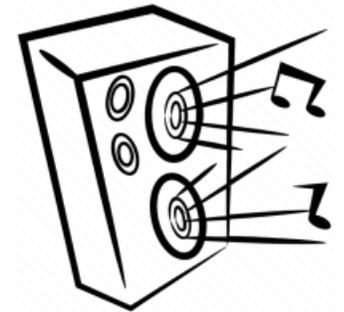
Tam-tam y señales de humo

Morse -- --- .-. . . .

AM/FM (radio analógica)

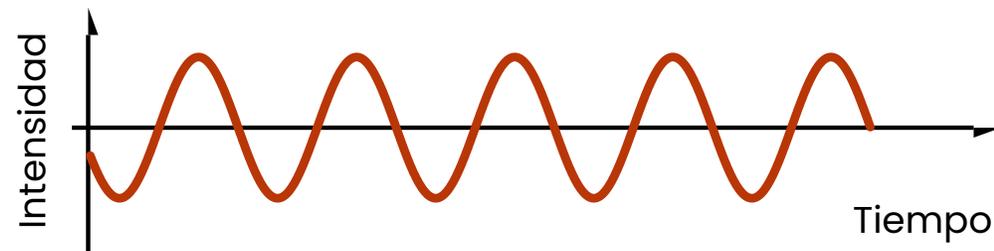
FM/MFM/M2FM (discos magnéticos) y EFM (CDs)

PAM4, QPSK y QAM (fibra óptica)



## 2 – Qué es la modulación

Para transmitir una señal tenemos que modularla sobre una portante



$$A \operatorname{sen}(\omega t + \varphi)$$

**A** = amplitud

**$\omega$**  = frecuencia

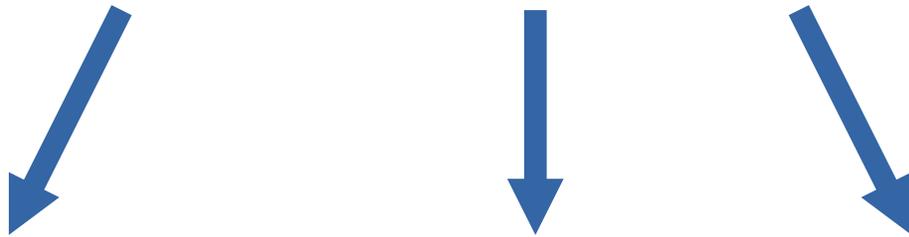
**t** = tiempo

**$\varphi$**  = fase

## 2 – Cómo se modula

Podemos modular la amplitud, la frecuencia, la fase...

$$A \operatorname{sen}(\omega t + \varphi)$$



$$A(t) \operatorname{sen}(\omega(t)t + \varphi(t))$$

... y la forma de onda

## **2 – Eficiencia de la modulación**

**Tasa de bits / ancho de banda**

**Se expresa en bits/Hz**

**Con mayor eficiencia, mas bits enviados con la misma banda**

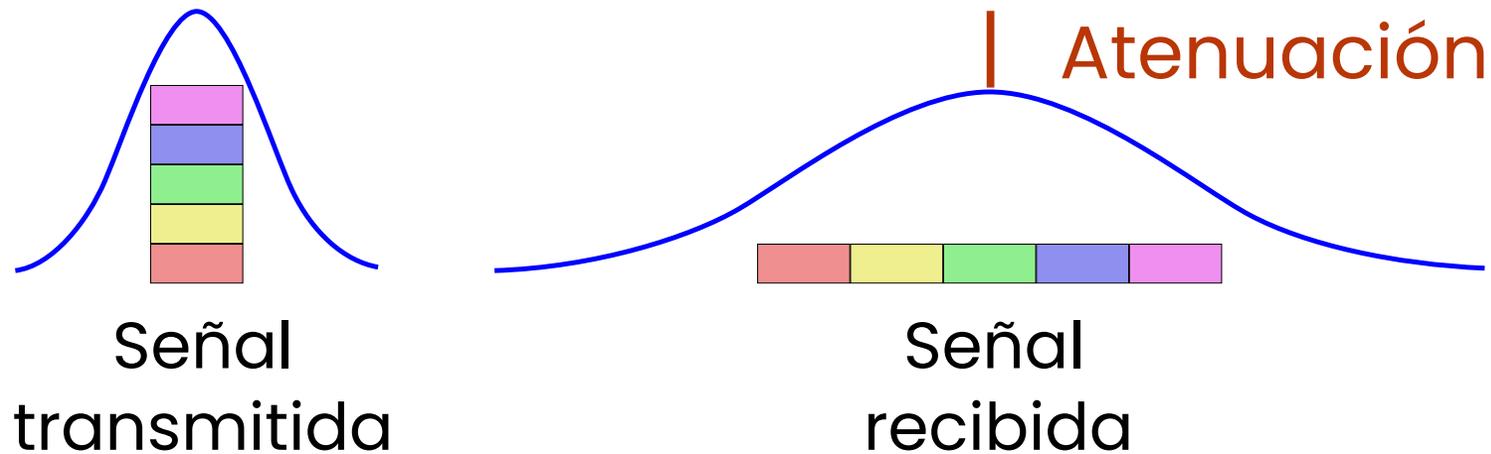
**Luz coherente: 1 bit/Hz**

**Modem V.92: 18,1 bit/Hz**

### 3 – Limitaciones de la fibra

Atenuación – función de la distancia (0,25 dB/km típico a 1550nm)

Dispersión cromática – función del ancho de banda



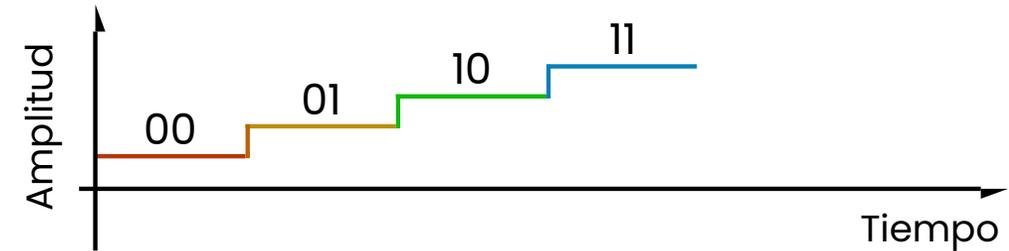
Ancho de banda (GHz)	Distancia máxima (km)
1	1.000
10	100
25	40
100	10
400	3

## 4 – PAM: Pulse-amplitude modulation

**PAM4: 4 niveles de amplitud**

**Cada nivel representa 2 bits**

**Eficiencia: 2 bits/Hz**



$$A(t) \text{ sen}(\omega t + \varphi)$$

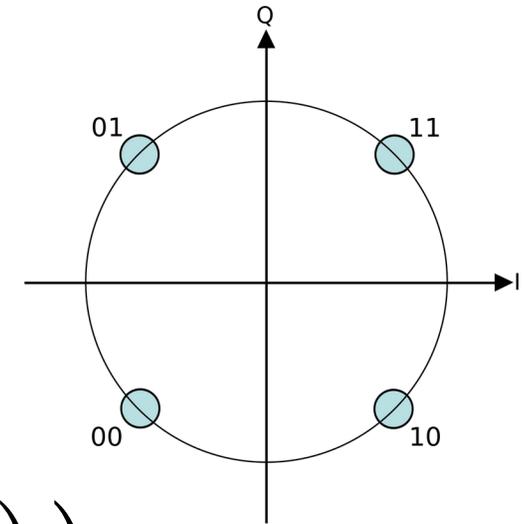
**Modulación de  
la amplitud**

## 4 – QPSK: Quadrature Phase-Shift Keying

QPSK: 4 distintas fases con un desfase de  $\pi/2$

Cada punto representa 2 bits

Eficiencia: 2 bits/Hz



$$A \sin(\omega t + \varphi(t))$$

Modulación de  
la fase

## 4 – QAM: Quadrature amplitude modulation

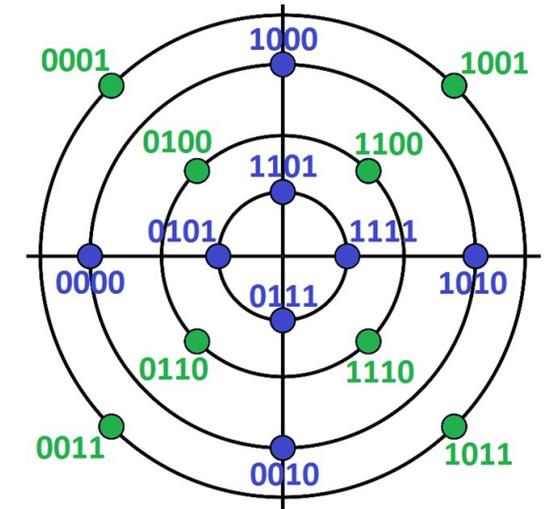
QAM16: 4 niveles de amplitud combinados con 4 fases  
alternadas

por un total de 16 puntos

Cada punto representa 4 bits

Eficiencia: 4 bits/Hz

BER (tasa de error de bit) mejorada



$$A(t) \sin(\omega t + \varphi(t))$$

Modulación de la  
amplitud y de la fase

## 5 – El futuro

Con el aumento de la banda necesaria para cada usuario, será necesario modular cada vez más.

Ejemplo: streaming vídeo vs streaming holográfico

5Mbps vs entre 1Gbps y 1Tbps

Un fibra en la actualidad puede mover 800.000 streams 4K podrá mover apenas 9 – 9.000 streams holográficos



**¡Pásate al lado oscuro de la fibra!**

**¡Muchas gracias!**

**[amedeo@alturnanetworks.com](mailto:amedeo@alturnanetworks.com)**

** SOLID OPTICS**