

# Comprensión de la modulación óptica coherente

## Contenido

---

[Introducción](#)

[Antecedentes](#)

[Propiedades de la luz](#)

[Problema](#)

[Solución](#)

[Teclado de desplazamiento de fase \(PSK\)](#)

[Teclado de desplazamiento de fase binario \(BPSK\)](#)

[Teclado de desplazamiento de fase en cuadratura](#)

[Modulación de amplitud en cuadratura \(QAM\)](#)

[8-QAM](#)

[16-QAM](#)

[32-QAM y 64-QAM](#)

[Multiplexación por polarización \(PM\)](#)

[Supervisión del rendimiento óptico](#)

---

## Introducción

En este documento se describen los principios básicos de los esquemas de modulación óptica coherente que se utilizan en las redes de multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM).

## Antecedentes

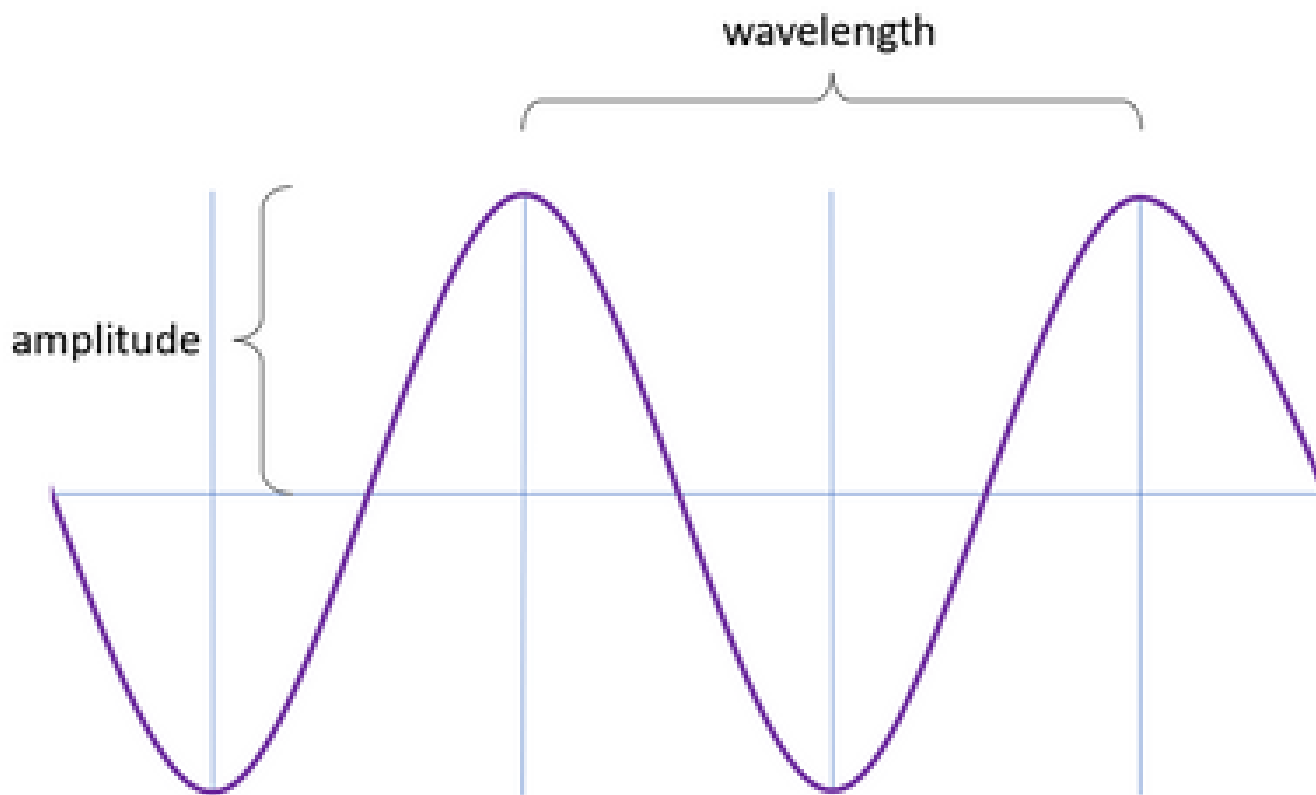
Un esquema de modulación altera continuamente la propiedad o propiedades de una forma de onda. En este caso, es ligero, para codificar la información binaria en la forma de onda. Las redes ópticas modernas utilizan diversos esquemas de modulación para transportar los datos a través de cientos o miles de kilómetros.

## Propiedades de la luz

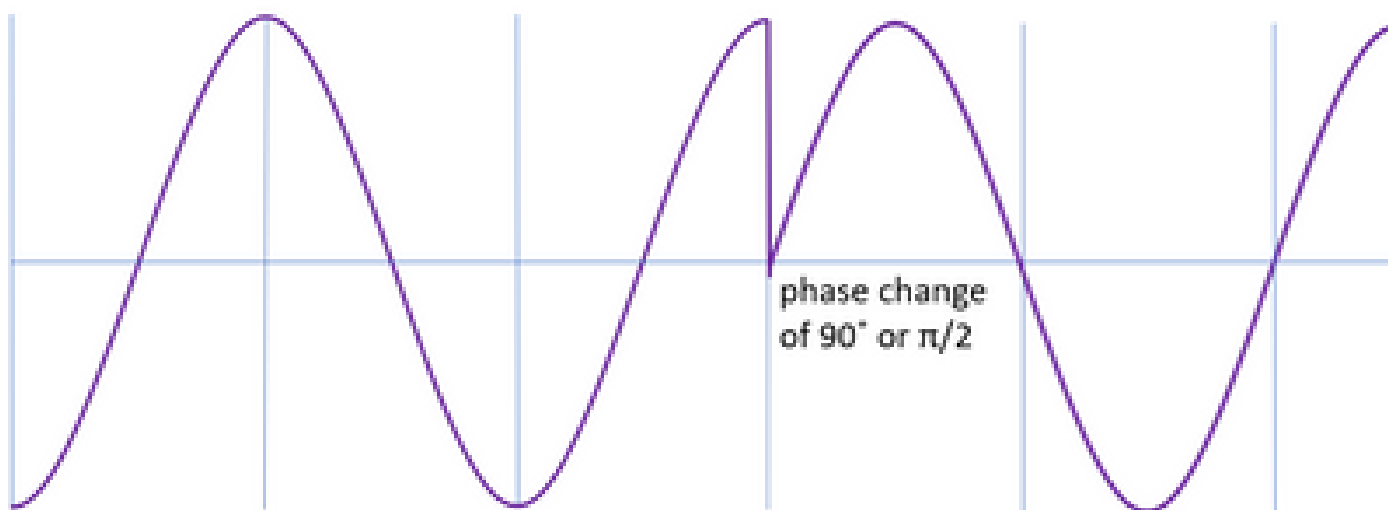
Las redes DWDM utilizan varias propiedades de luz para codificar eficazmente la información.

1. Longitud de onda o frecuencia: cada canal de una red DWDM utiliza una longitud de onda específica en la banda C, entre aproximadamente 1527 nm y 1565 nm. Cada señal puede proporcionar ancho de banda variable dependiendo de la velocidad en baudios y el esquema de modulación.
2. Fase: ángulo de una forma de onda medido típicamente en radianes. Al cambiar la fase, el período de la forma de onda se traduce en tiempo.
3. Amplitud: medida de la potencia total de una señal en decibelios-milivatios (dBm).
4. Polarización: las ondas electromagnéticas tienen dos estados de polarización primarios

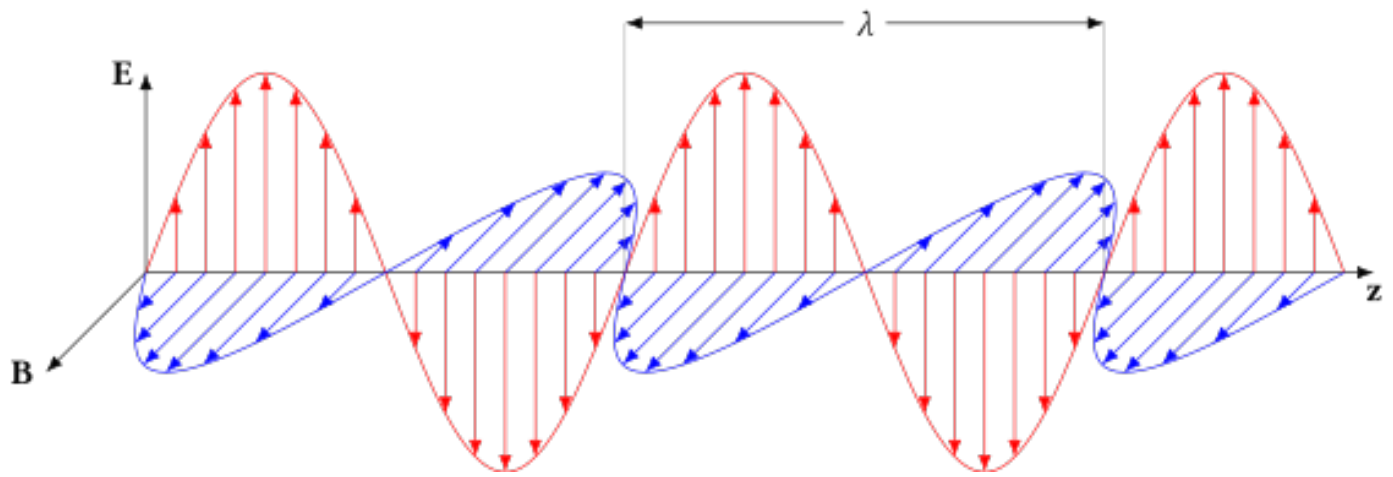
definidos por los campos eléctrico y magnético. Cada polarización puede contener información codificada por un esquema de modulación. Algunos productos ópticos de Cisco utilizan la notación Polarización coherente multiplexada (CP) o Polarización multiplexada (PM) para identificar el uso de la polarización en la modulación.



Longitud de onda y amplitud



Modulación de fase



Polarización transversal de la luz

## Problema

La transmisión eléctrica de datos tiene importantes limitaciones de distancia en comparación con la transmisión óptica. Los esquemas de codificación óptica heredados que utilizan señalización de encendido/apagado, como Non-Return to Zero (NRZ), sufren los efectos de la dispersión cromática (CD), lo que limita la distancia efectiva sin el uso de unidades de compensación de dispersión (DCU). Para transferir datos de forma eficaz a través de muchos kilómetros a velocidades superiores a 10 Gbps, los transceptores deben utilizar esquemas de modulación coherentes.

## Solución

Cambiar la fase y/o amplitud de una onda codifica la información como un símbolo, una sola unidad de transmisión que contiene uno o más bits. El valor del símbolo depende de la fase y amplitud medidas en el receptor. Todos los esquemas enumerados pueden utilizar la multiplexación por polarización para aumentar la velocidad de datos.

### Teclado de desplazamiento de fase (PSK)

La modulación PSK cambia la fase de la señal para codificar un bit o bits. A medida que la fase de la señal puede cambiar a medida que atraviesa la fibra, el receptor mide la diferencia de fase entre símbolos sucesivos para determinar su valor con mayor precisión. Esto se denomina modulación por desplazamiento de fase diferencial (DPSK).

### Teclado de desplazamiento de fase binario (BPSK)

BPSK cambia la fase de la señal por los radianes de 0 o 180 grados para codificar 0 o 1. La notable diferencia entre las fases se traduce en requisitos de baja relación señal óptica-ruido (OSNR) y las señales que utilizan esta modulación pueden viajar potencialmente miles de kilómetros. El bajo número de bits por símbolo limita la velocidad de datos de las señales BPSK a unos 100 Gbps.

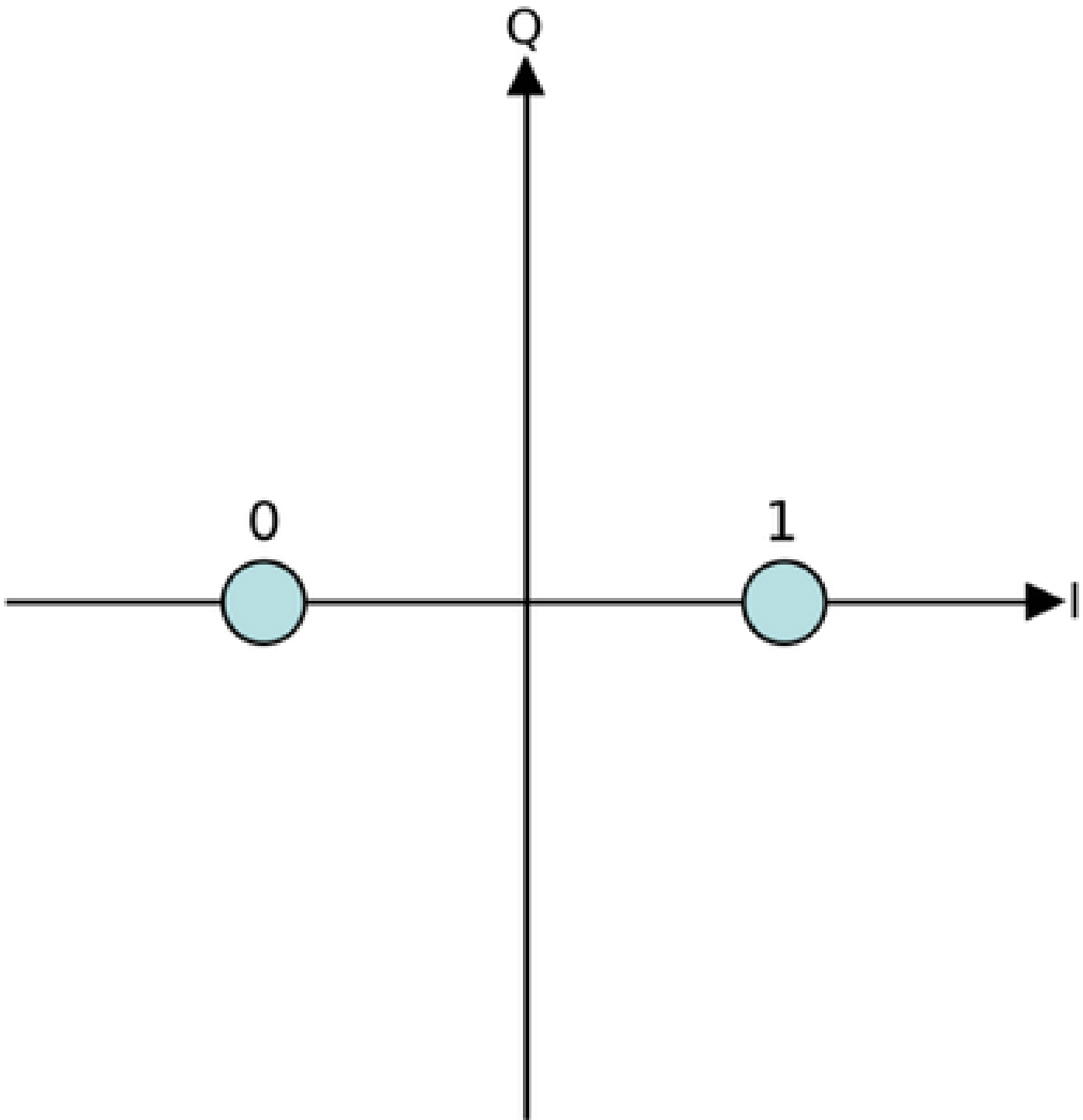


Diagrama de constelación de la modulación BPSK

### Teclado de desplazamiento de fase en cuadratura

QPSK cambia la fase entre símbolos sucesivos por los radianes  $\pi/2$  o 90 grados. El cambio más pequeño en la fase aumenta la densidad de información a dos bits por símbolo ya que QPSK tiene cuatro estados posibles.

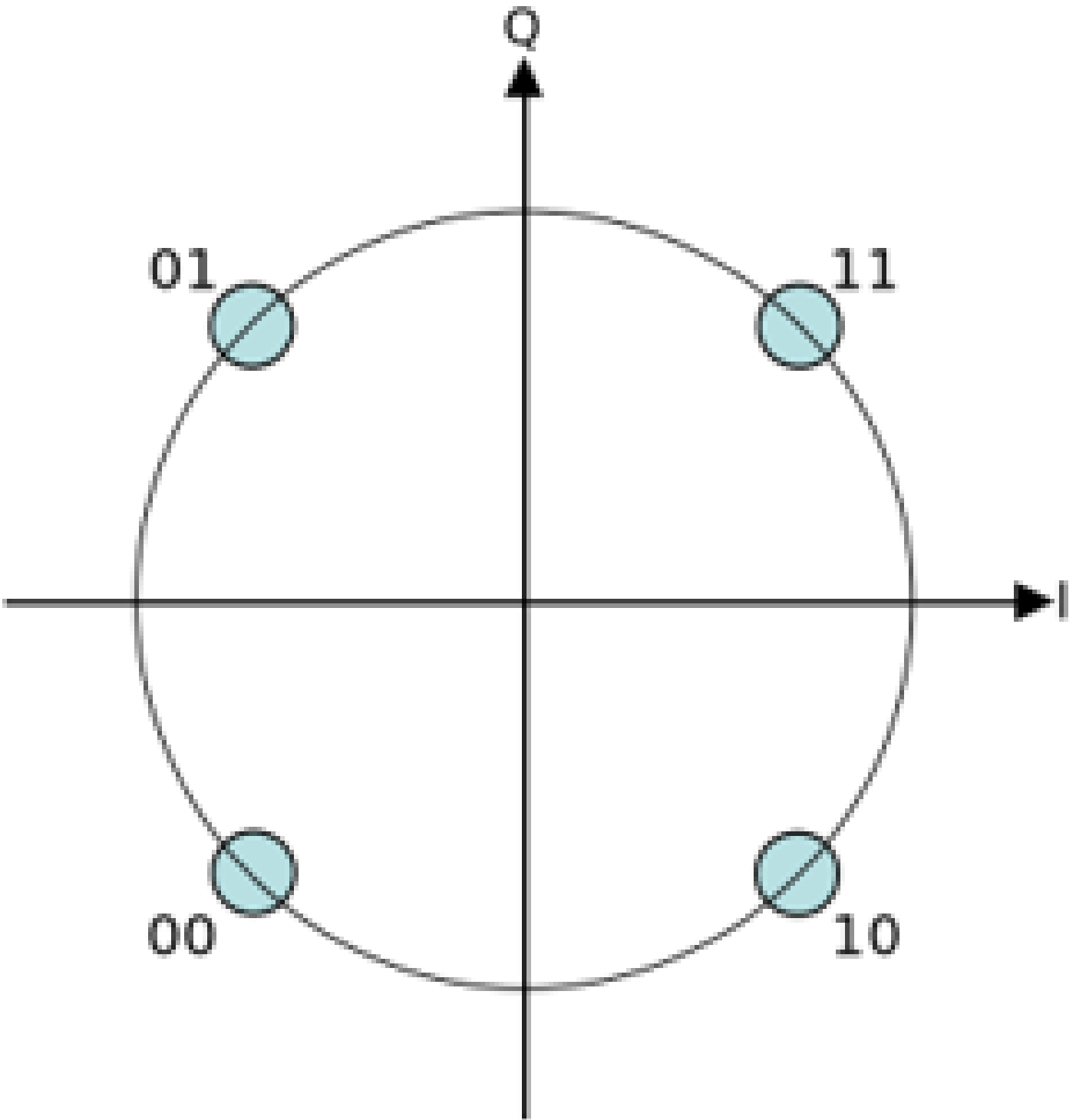


Diagrama de constelación de modulación QSPK

## Modulación de amplitud en cuadratura (QAM)

Para aumentar aún más el número de bits por símbolo, el transmisor puede cambiar la amplitud de la señal además de la fase. El número de puntos de la constelación (símbolos) define el tipo de QAM.

### 8-QAM

Ocho estados posibles dan tres bits por símbolo para este esquema de modulación.

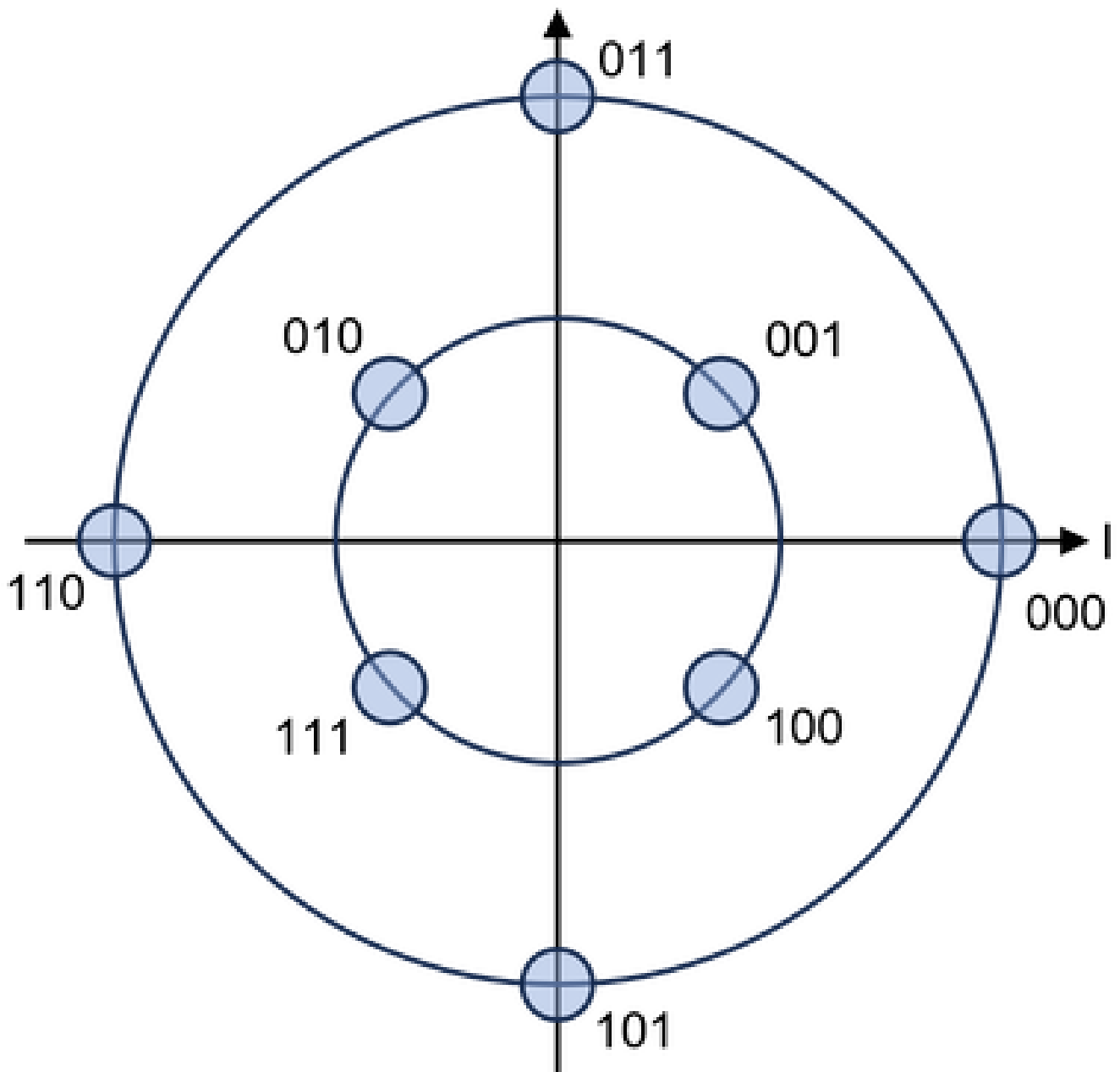


Diagrama de constelación de 8-QAM

### 16-QAM

Con velocidades en baudios de unos 30 Gbaud, 16-QAM tiene una velocidad de datos de 200 Gbps. El aumento a 60 Gbaud proporciona velocidades de hasta 400 Gbps. Los cambios más pequeños de fase y amplitud aumentan los requisitos del OSNR y limitan su alcance a unos cientos de kilómetros.

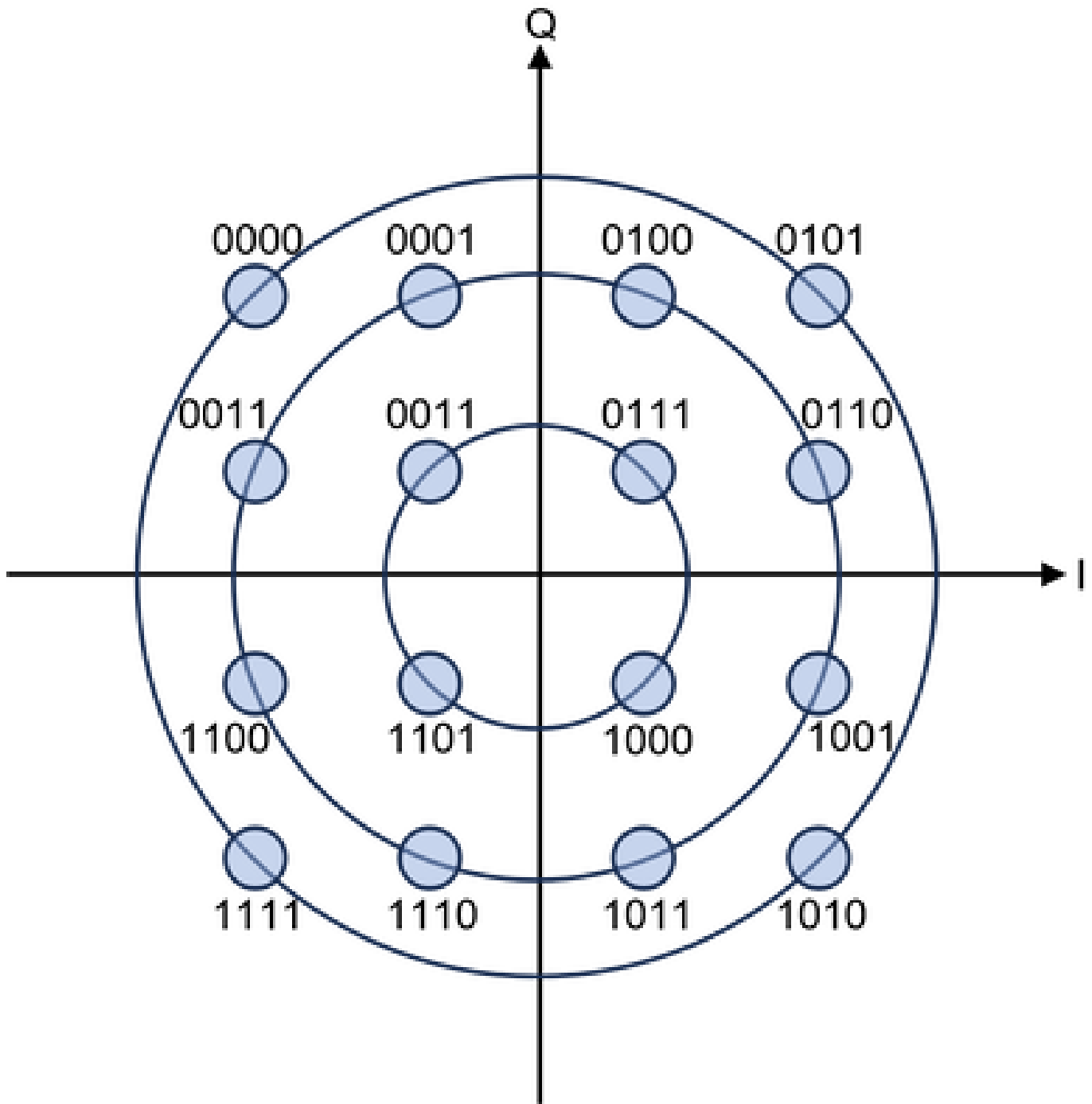


Diagrama de constelación de 16-QAM

### 32-QAM y 64-QAM

Estos dos esquemas de modulación de orden superior utilizan cinco y seis bits por símbolo, respectivamente, lo que permite velocidades de transmisión de hasta 600 Gbps. Los altos requisitos de OSNR de 64-QAM limitan el alcance efectivo a menos de 200 km.

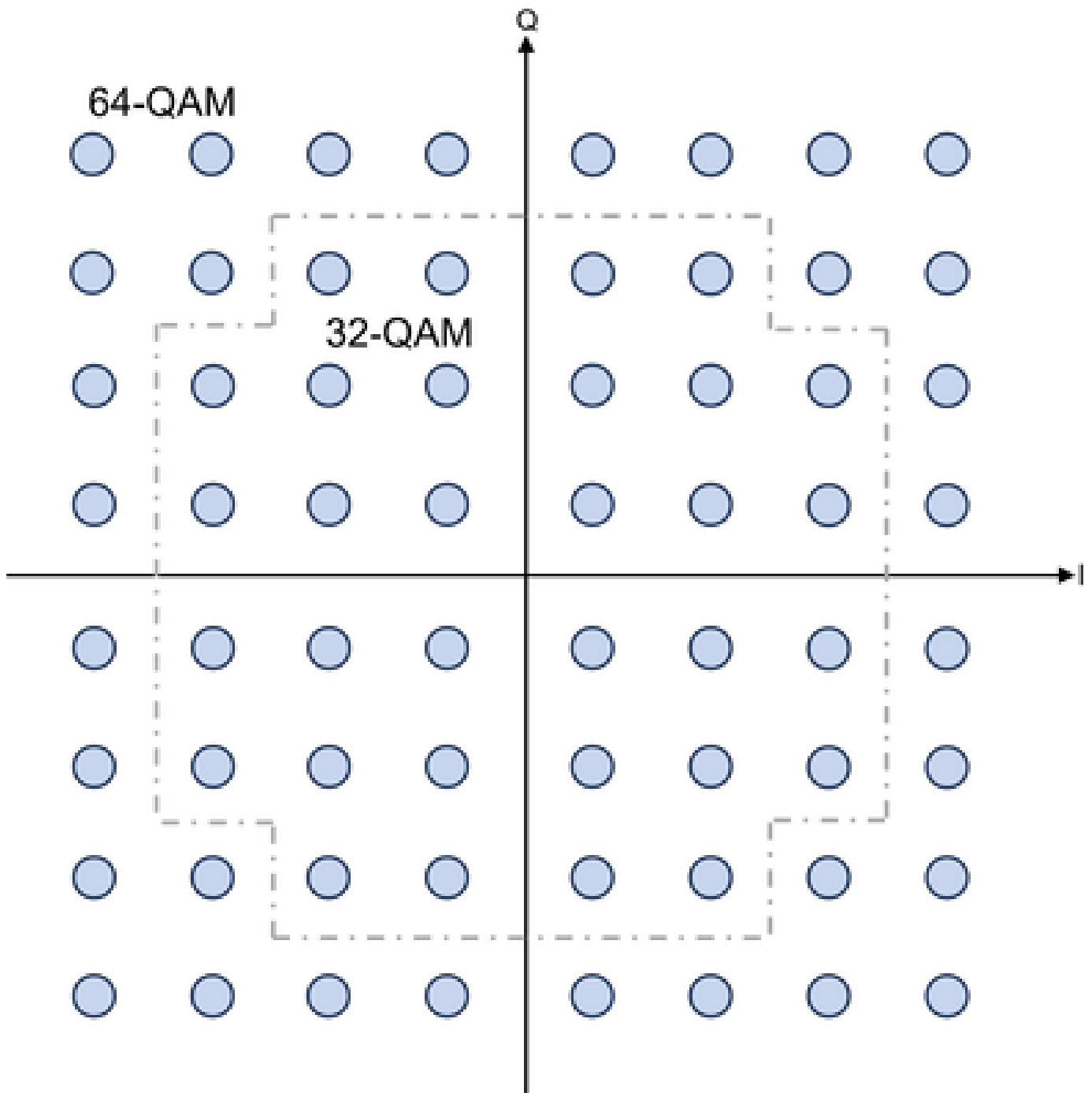


Diagrama de constelación de 32-QAM y 64-QAM

### Multiplexación por polarización (PM)

Todos los esquemas de modulación listados utilizan multiplexación de polarización para codificar las polarizaciones transversales de forma independiente, duplicando la velocidad de datos pero introduciendo posibles impedimentos como la pérdida dependiente de la polarización (PDL) y la dispersión del modo de polarización (PMD). Con esta técnica, la velocidad de datos es aproximadamente igual a la velocidad en baudios multiplicada por dos los bits por símbolo.

Modulación	Descripción	Bits por símbolo	Velocidades de	PID de ejemplo*



			transmisión de datos habituales (Gbps)	
BPSK	Clave de desplazamiento de fase binaria	1	100	NCS1K4-1.2T-K9
QPSK	Teclado de desplazamiento de fase en cuadratura	2	100, 200	NCS2K-100G-CK-C
8-QAM	Modulación de amplitud en cuadratura de 8 estados	3	100, 200	NCS1K4-2-QDD-C-K9, QDD-400G-ZRP-S
16-QAM	Modulación de amplitud en cuadratura de 16 estados	4	200, 300, 400	ONS-CFP2-WDM, QDD-400G-ZRP-S, NCS2K-100G-CK-C
32-QAM	Modulación de amplitud en cuadratura de 32 estados	5	400, 500	NCS1K4-1.2T-K9
64-QAM	Modulación de amplitud en cuadratura de 64 estados	6	500, 600	NCS1K4-1.2T-K9

\* Muchos PID soportan múltiples tipos de modulación. Esto no representa una lista exhaustiva.

## Supervisión del rendimiento óptico

Los transceptores ópticos de Cisco miden varias estadísticas de rendimiento diferentes relacionadas con la modulación coherente. En esta sección se ofrece una breve definición de cada uno de ellos.

- Demora de grupo diferencial (DGD): diferencia en el tiempo de propagación de los dos modos de polarización del transmisor al receptor medida en picosegundos.
- Dispersión cromática (CD): las diferentes longitudes de onda viajan a velocidades más rápidas o más lentas a través de una guía de onda (fibra). El cambio en el tiempo de propagación por unidad de espectro se mide en picosegundos-nanómetros (ps-nm) y se acumula linealmente a medida que la señal atraviesa la fibra. La cantidad de dispersión cromática tolerada en el receptor varía mucho dependiendo fuertemente del esquema de modulación. Los transceptores con una menor tolerancia a la dispersión requieren unidades de compensación de dispersión para eliminar este efecto antes de llegar al receptor. Los tipos de fibra pueden tener coeficientes de CD significativamente diferentes.
- Relación señal-ruido óptico (OSNR): diferencia entre la energía de la señal y la energía del ruido en dB medida en el receptor. El valor OSNR necesario para mantener la integridad de la señal depende principalmente del esquema de modulación utilizado.
- Dispersión por modo de polarización (PMD): esta cantidad está relacionada con DGD y representa la diferencia acumulada total en el tiempo de propagación entre los modos de polarización medidos en picosegundos.
- Dispersión en modo de polarización de segundo orden (SOPMD): similar a la dispersión cromática, el efecto de la dispersión en modo de polarización depende de la longitud de onda. SOPMD caracteriza esta dependencia con unidad picosegundos al cuadrado ( $\text{ps}^2$ ).
- Tasa de cambio de polarización (PCR): velocidad media a la que cambian los estados de polarización a medida que la señal atraviesa la fibra medida en múltiplos de radianes por segundo.
- Pérdida dependiente de la polarización (PDL): atenuación efectiva en dB debido a cambios en los estados de polarización a través de la fibra.

## Acerca de esta traducción

Cisco ha traducido este documento combinando la traducción automática y los recursos humanos a fin de ofrecer a nuestros usuarios en todo el mundo contenido en su propio idioma.

Tenga en cuenta que incluso la mejor traducción automática podría no ser tan precisa como la proporcionada por un traductor profesional.

Cisco Systems, Inc. no asume ninguna responsabilidad por la precisión de estas traducciones y recomienda remitirse siempre al documento original escrito en inglés (insertar vínculo URL).