

# 5

# PORTADORAS DIGITALES



## Objetivo

- Describir las tecnologías que sustentan la infraestructura de los Operadores de Red.

## Manual de clases

Última modificación:  
14 de marzo de 2023

Tema 5 de:  
REDES WAN

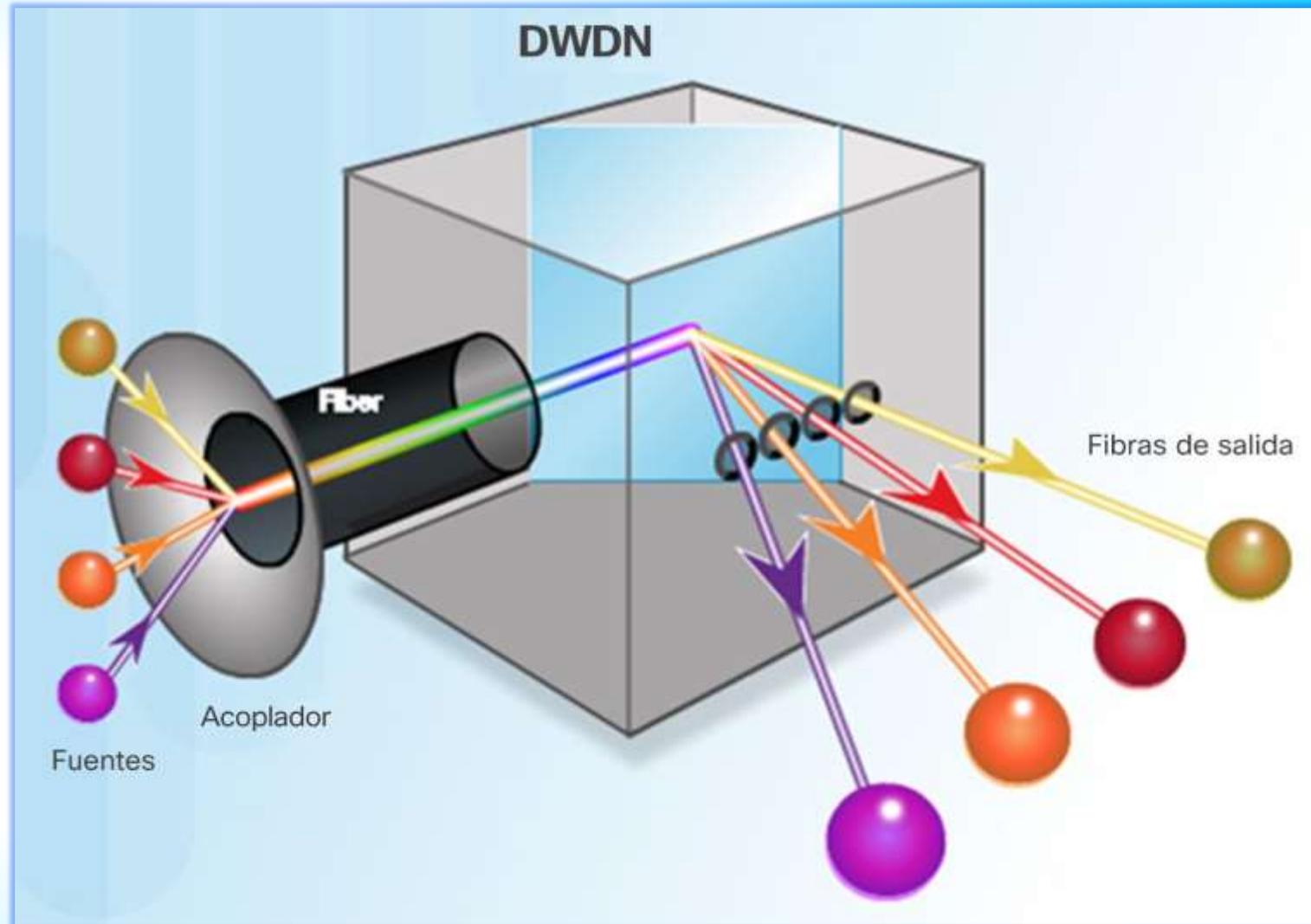
Edison Coimbra G.

# 0. INTRODUCCIÓN

## PORTADORAS DIGITALES

### Escenario actual

- Las **tecnologías** que sustentan la infraestructura de los operadores de telecomunicaciones son:
  - **Digitalización** de señales analógicas PCM.
  - **Multiplexación** digital TDM.
  - **Opticalización** de la red de transporte SONET/SDH.
  - **Multiplexación** óptica DWDM.

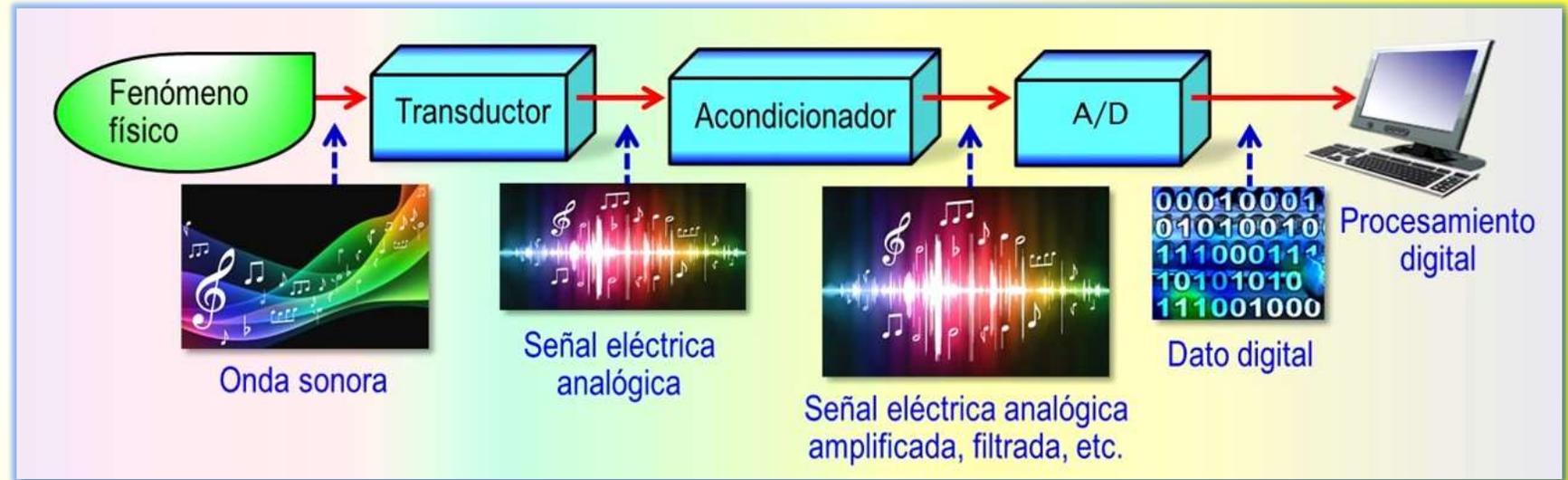


# 1. DIGITALIZACIÓN DE SEÑALES ANALÓGICAS PCM

## PORTADORAS DIGITALES

### Conversión analógica a digital

- **Las magnitudes físicas** que sirven para representar fenómenos naturales son, por lo general, **analógicas**, por ejemplo: voz, música, imágenes, temperatura, radiación, humedad, etc.:
- **En consecuencia**, los sistemas electrónicos de comunicación, que, en su mayoría, procesan datos digitales, deben tratar con estas magnitudes físicas analógicas en su punto de contacto con el mundo exterior (sus entradas); y para procesarlas las convierten a **datos digitales**.
- **El proceso de conversión** se resume así:



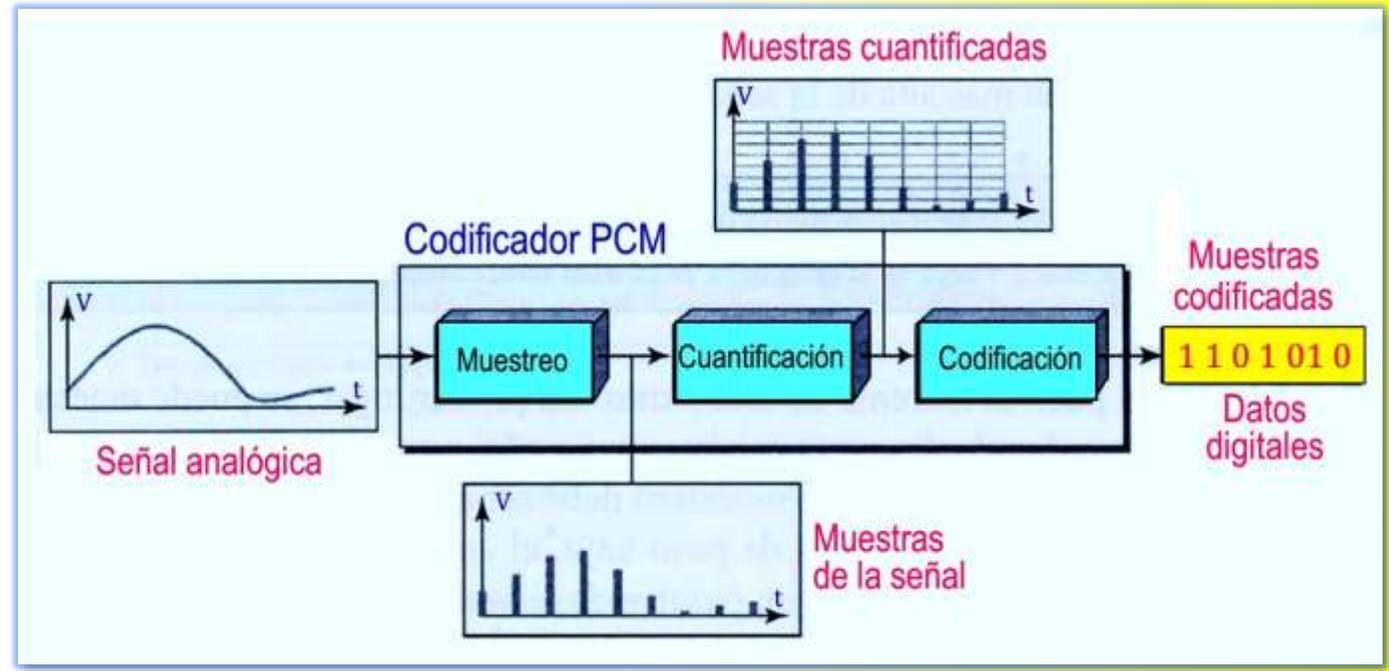
- ► **Un transductor** (micrófono, cámara de video, sensor, etc.) convierte la magnitud física en una señal eléctrica analógica.
- ► **Un acondicionador** (amplificador, filtro, etc.) acondiciona la señal eléctrica analógica.
- ► **Un conversor analógico digital A/D** convierte la señal eléctrica analógica en dato digital (flujos de 0s y 1s). Utiliza habitualmente la técnica PCM.

# Digitalización de señales analógicas PCM

## PORTADORAS DIGITALES

### Modulación por Codificación de Pulsos (PCM)

- **La técnica** más habitual para cambiar una señal analógica a datos digitales (**digitalización**) es la denominada PCM, propuesta por Allex Reeves en 1937.
- **Un codificador PCM** tiene tres procesos como se muestra en la figura.
  - ▶ **1. Se muestrea** la señal analógica a intervalos de tiempo constantes.
  - ▶ **2. Se cuantifica** la señal muestreada, se mide el valor de la muestra y se le asigna un valor discreto en una escala de valores posibles.
  - ▶ **3. Se codifican** como flujos de bits los valores cuantificados. A cada valor de la muestra se le asigna un código binario.
- **Por tanto**, cada muestra esta representada por un paquete binario.



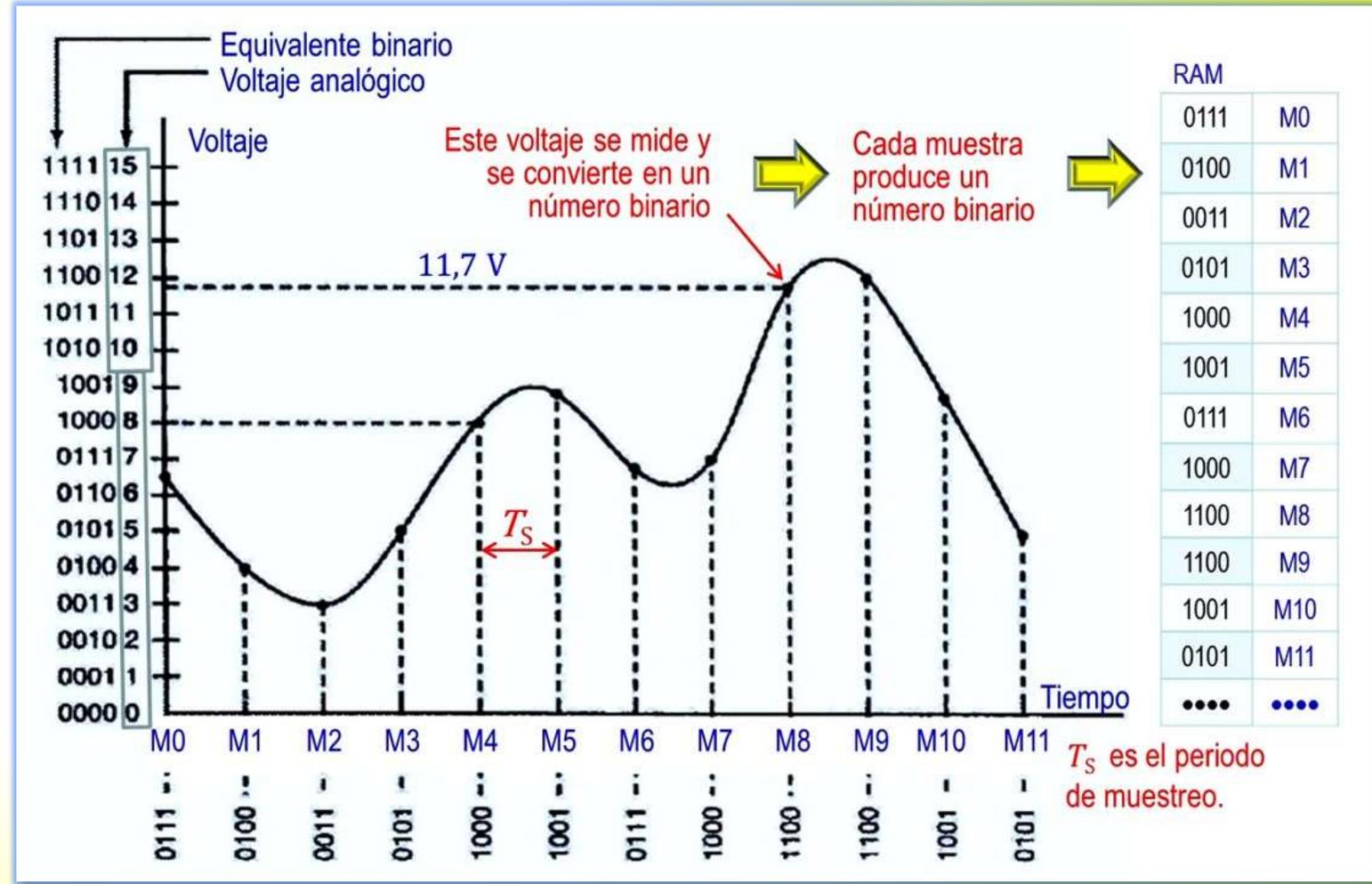
# Digitalización de señales analógicas PCM

## PORTADORAS DIGITALES

### Ejemplo digitalización PCM

(Blake, 2012)

- ▶ **Ejemplo 1.** Una señal analógica se convierte a **datos digitales** utilizando la técnica **PCM**, con un periodo de muestreo  $T_s$ , 16 niveles de cuantificación y una codificación de 4 bits por muestra. El intervalo de voltaje analógico oscila entre 0 y 15 V.
- En **cada instante** de muestreo se generan números binarios.



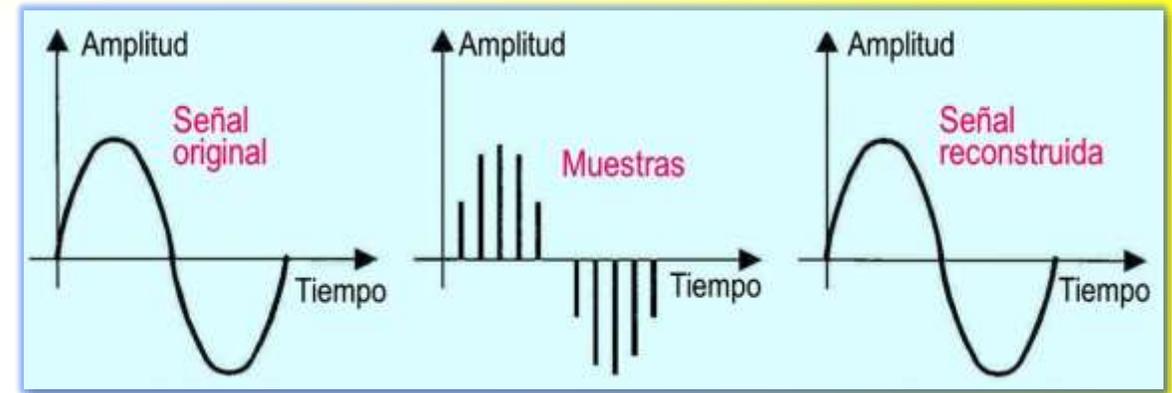
# Digitalización de señales analógicas

## PORTADORAS DIGITALES

### Tasa de muestreo

(Forouzan, 2020)

- **Una consideración importante** es la tasa de muestreo o frecuencia ¿Cuáles son las restricciones sobre  $T_s$ ? Lo respondió Harry Nyquist en 1928 con un teorema.
- **El Teorema de Nyquist** o Teorema del Muestreo establece que para reproducir la señal analógica original, una condición necesaria es que la tasa de muestreo sea al menos el doble de la frecuencia más alta contenida en la señal original.



$$f_s > 2f_{m\acute{a}x}$$

$f_s$  = frecuencia de muestreo, en Hz.  
 $f_{m\acute{a}x}$  = frecuencia más alta, en Hz.

- **Ejemplo 2.** Las compañías de teléfono digitalizan la voz asumiendo una frecuencia de audio máxima de 3,4 kHz. La tasa de muestreo para la conversión A/D es, por tanto, mayor que 6.800 muestras/segundo; pero se acordó estandarizar una tasa de 8.000 muestras/segundo (8 kHz). El periodo de muestro es, por tanto, 125  $\mu$ s.
- **Ejemplo 3.** En los sistemas de disco compacto CD, para una frecuencia de audio máxima de 20 kHz (para el oído humano), la tasa mínima de muestreo para la conversión A/D es 40 kHz; sin embargo, se acordó estandarizar una tasa de 44,1 kHz. El periodo de muestro es, por tanto, 22,68  $\mu$ s.

### ¿Cuántos niveles de cuantificación son necesarios?

(Forouzan, 2020)

- **En el ejemplo anterior**, se han mostrado ocho niveles de cuantificación. La elección de  $L$ , el número de niveles, depende del rango de las amplitudes de la señal analógica y de la precisión con la que se necesite recuperarla.
  - ☒ Si la **amplitud** de la señal fluctúa sólo entre 2 valores, se necesitarán solo 2 niveles.
  - ☒ Si la **señal**, como la voz, tiene muchos valores de amplitud, se necesitan más niveles de cuantificación. En la digitalización de audio,  $L$  normalmente toma el valor 256; en video normalmente se toman como valores miles.
- **El número de niveles** disponibles depende del número de **bits** utilizados para expresar el valor de la muestra.

$$N = 2^n$$

$N$  = número de niveles.  
 $n$  = número de bits por muestra.
- ▶ **Ejemplo 4.** Calcule el número de niveles de cuantificación si el número de bits por muestra es: **a)** 8 como en telefonía, **b)** 16 como en los sistemas de audio de CD.

- a) 256
  - b) 65.536
- ▶ **Ejemplo 5.** Se está muestreando una señal, y cada muestra necesita al menos 12 niveles de precisión. ¿Cuántos bits se necesitan?

4 bits
- **La elección** de valores bajos de  $L$  incrementa el **error de cuantificación** si hay mucha fluctuación en la señal.
- **La diferencia** entre el valor real y el valor cuantificado de la señal digitalizada, produce un error de cuantificación. ¿cómo se interpreta este error?

# Digitalización de señales analógicas

## PORTADORAS DIGITALES

### Descripción de la codificación

(Forouzan, 2020)

▪ **Es la última etapa en PCM.** Con la **codificación** se representan las muestras cuantificadas mediante una secuencia binaria de **unos** y **ceros**. El número de bits para cada muestra se determina a partir del número de niveles de cuantificación.

▪ **La tasa de bit** generada se calcula con base a la tasa de muestreo y la cantidad de bits por muestra.

$$v_t(\text{bps}) = f_S(\text{Hz}) \times n$$

$v_t$  = tasa de bit, en **bps**.  
 $f_S$  = tasa de muestreo, en **Hz**.  
 $n$  = número de bits por muestra.

▪ **Ejemplo 6.** Se quiere digitalizar la voz humana. Calcule la tasa de bit asumiendo 8 bits por muestra.

$$v_t = 64 \text{ kbps}$$

▪ **Ejemplo 7.** Se desea grabar en CD un concierto musical, en el cual se producen ondas audibles de banda base hasta 20.000 Hz. Calcule el espacio en memoria que se necesita, si para el muestreo se dispone de los siguientes formatos PCM: 8.000, 16.000, 24.000, 36.000 y 44.100 Hz. Elija uno de ellos. Se utilizan, además, 16 bits para codificación. El tiempo total de grabación se calcula en una hora.

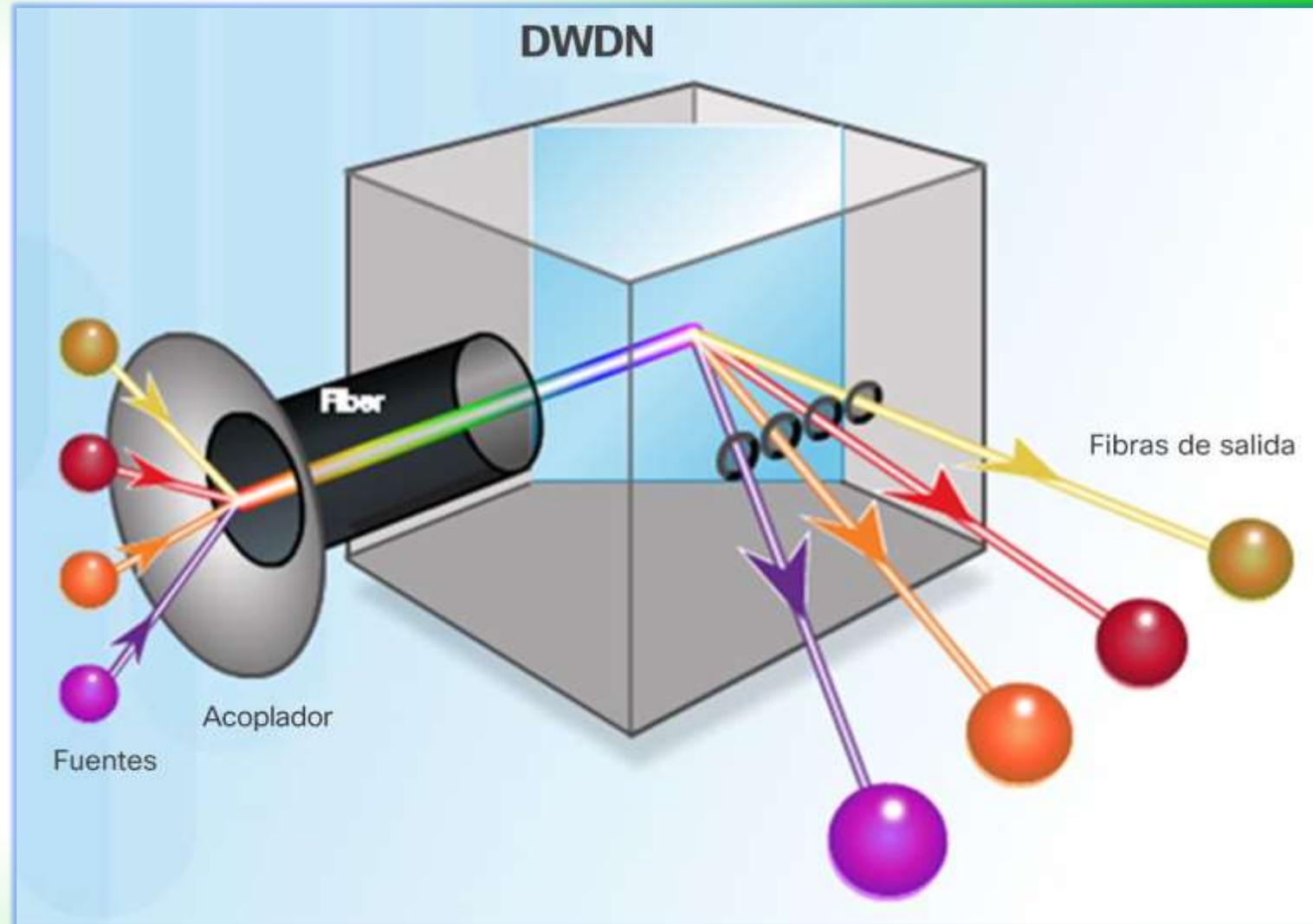
$$\text{Memoria} = 317,52 \text{ MB}$$

# 2. MULTIPLEXACIÓN DIGITAL TDM

## PORTADORAS DIGITALES

### Escenario actual

- **Las tecnologías** que sustentan la infraestructura de los operadores de telecomunicaciones son:
- ► **Digitalización** de señales analógicas PCM.
- ► **Multiplexación** digital TDM.
- ► **Opticalización** de la red de transporte SONET/SDH.
- ► **Multiplexación** óptica DWDM.



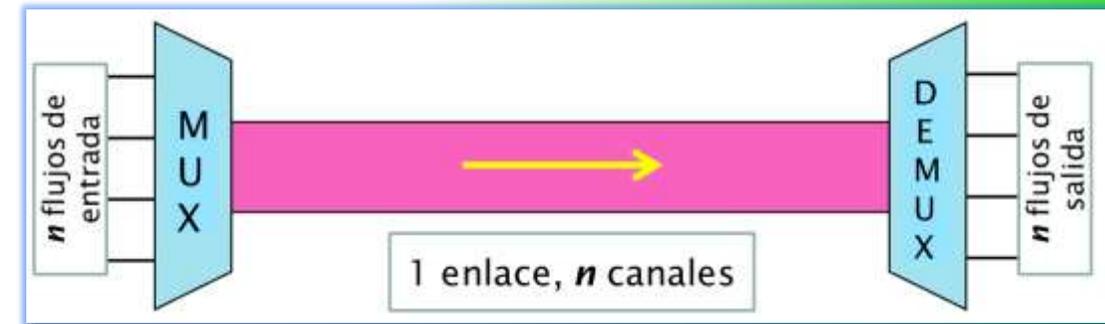
# Multiplexación digital TDM

## PORTADORAS DIGITALES

### ¿Por qué multiplexar?

(Forouzan, 2020)

- **Porque las tecnologías** de transmisión incluyen medios de **gran ancho de banda**, como cable coaxial, fibra óptica y microondas terrestre y satelital. Cualquiera de ellos tiene una capacidad que sobrepasa las necesidades medias para transmitir una señal. Por tanto, el objetivo de la multiplexación es el uso eficiente del ancho de banda.
- **Y para optimizar** la utilización de estos medios, se ha desarrollado un conjunto de técnicas que permiten la transmisión simultánea de múltiples señales a través de un **único enlace**.
- **En general**, los componentes de la estructura de la multiplexación son:
  - ► **Multiplexor MUX**. Los dispositivos de entrada envían sus flujos de transmisión a un **MUX** que los combina en un único flujo.
  - ► **Enlaces y canales**. El enlace es el **camino físico** por el cual va el único flujo. El canal es una **porción de camino** reservado para cada flujo de entrada.
  - ► **Demultiplexor DEMUX**. En el receptor, el único flujo se introduce en un **DEMUX** (demultiplexor), que separa los flujos componentes y los dirige a sus correspondientes receptores.



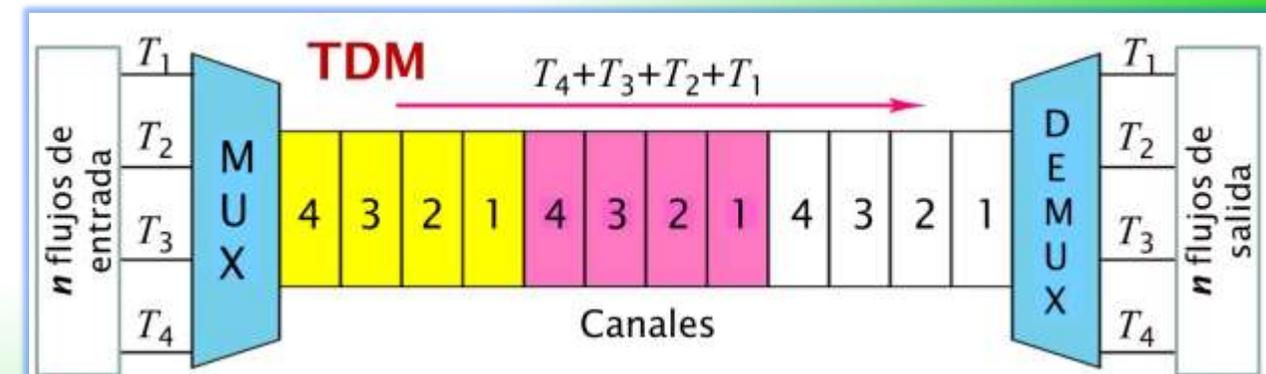
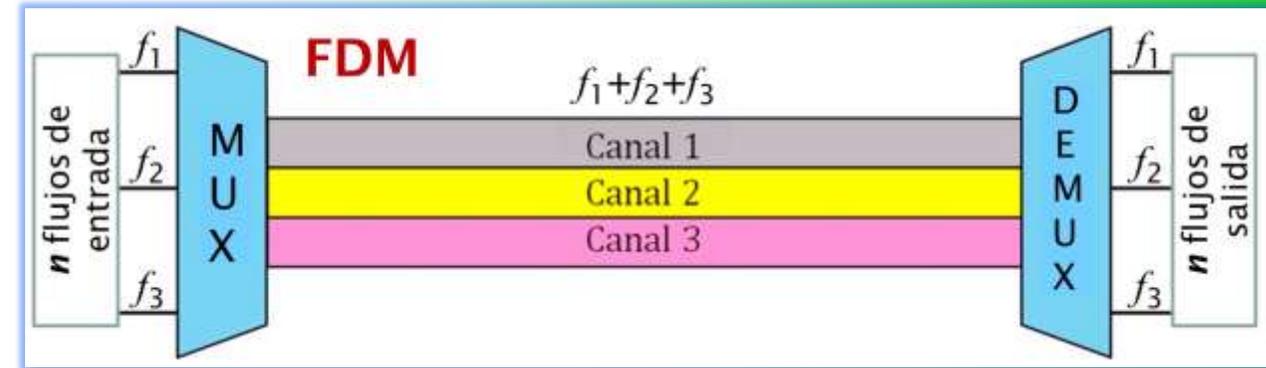
# Multiplexación digital TDM

## PORTADORAS DIGITALES

### Tipos de multiplexación

(Forouzan, 2020)

- Existen tres técnicas básicas de multiplexación.
- ► **Multiplexación** por división de frecuencia **FDM**. Es una técnica analógica que combina señales analógicas.
- ► **Multiplexación** por división de longitud de onda **WDM**. Es una técnica analógica que combina señales ópticas.
- ► **Multiplexación** por división de tiempo **TDM**. Es una técnica digital que combina varios canales de baja tasa en uno de alta tasa.



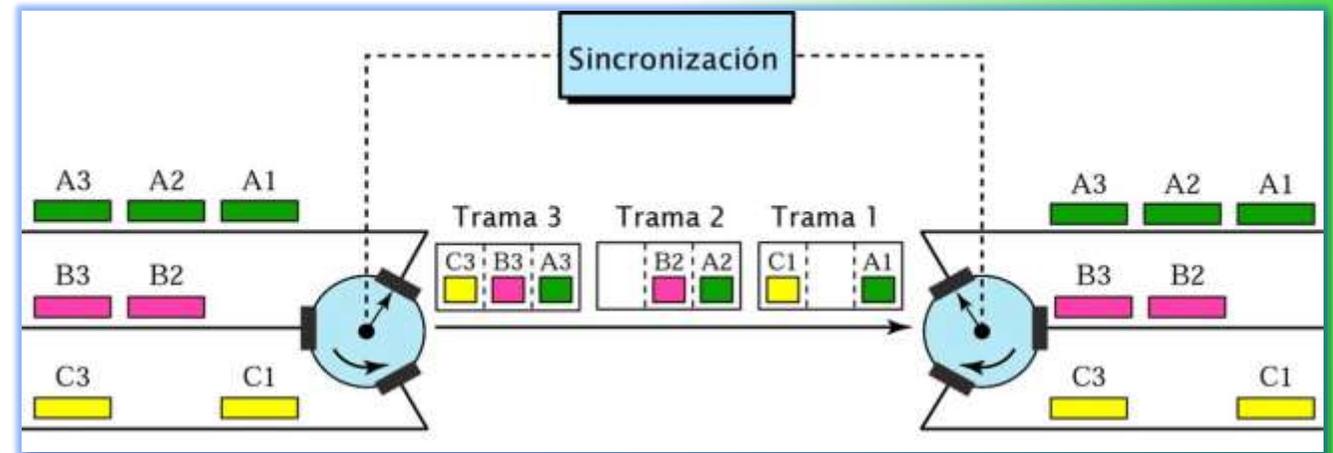
# Multiplexación digital TDM

## PORTADORAS DIGITALES

### Descripción de TDM

(Forouzan, 2020)

- **Es un proceso básico** en telefonía digital; permite combinar diferentes **señales de voz** digitalizadas y enviarlas por el mismo canal de transmisión.
- **De esta forma**, las señales digitales de baja tasa se multiplexan formando lo que se conoce como **tramas** de alta tasa.
- **► Ejemplo 8.** Los flujos entrantes se dividen en **unidades** de 1, 2 u 8 bits. Los multiplexores se visualizan como **switches rotatorios** perfectamente sincronizados.
  - ☒ **En el lado multiplexor**, cuando el switch se abre en frente de una conexión, esa conexión envía una **unidad** por el camino.
  - ☒ **En el lado demultiplexor**, cuando el switch se abre en frente de una conexión, esa conexión recibe una **unidad** del camino.



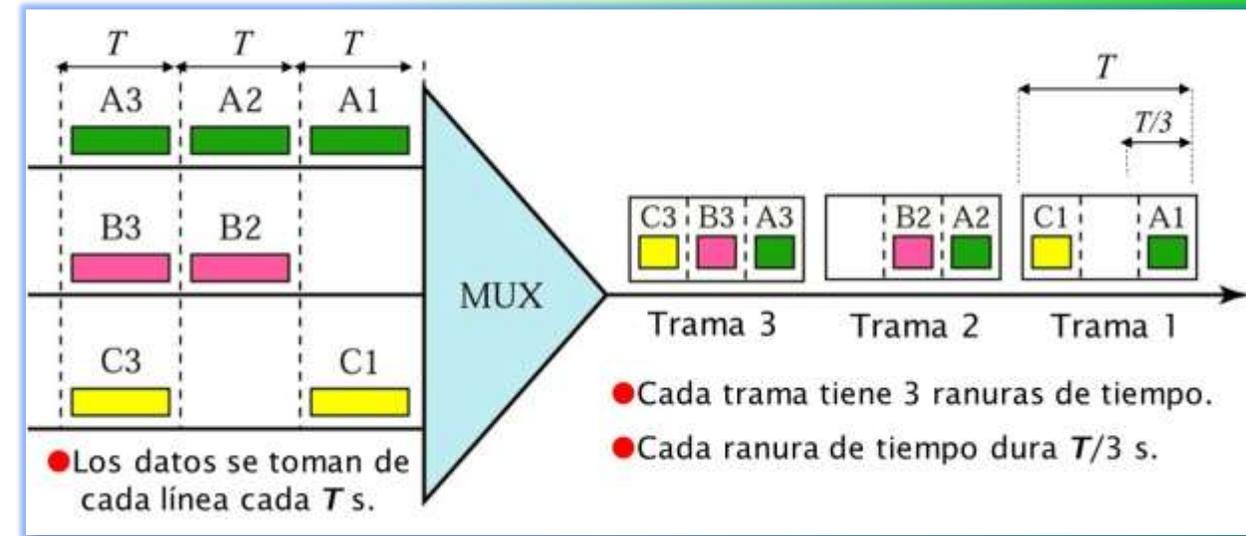
# Multiplexación digital TDM

## PORTADORAS DIGITALES

### Representación de TDM

(Forouzan, 2020)

- ▶ **En la entrada.** El flujo de datos de cada conexión de entrada se divide en unidades que ocupan una **ranura de tiempo** (canal de entrada).
  - ✉ Una **unidad de entrada** puede ser 1, 2 u 8 bits, o un bloque de datos. 8 bits es una muestra en telefonía.
- ▶ **En la salida.** Cada unidad de entrada se convierte en una **unidad de salida** y ocupa una ranura de tiempo (*time slot*) denominada **canal**.
  - ✉ La **duración** de una ranura de tiempo en la salida es  $n$  veces más corta que la ranura de tiempo en la entrada. Es decir, la unidad en la conexión de salida viaja más rápido. Las ranuras de tiempo se agrupan en **tramas**.
  - ✉ Una **trama** consta de un ciclo completo de ranuras de tiempo, con una ranura (canal) dedicada a cada dispositivo de entrada; es por esto que se denomina **TDM síncrona**.



- ▶ **Ejemplo 9.** En la figura, la tasa de bit para cada conexión de entrada es **1 kbps**. Calcule la velocidad de transmisión de la trama de salida.

4 kbps

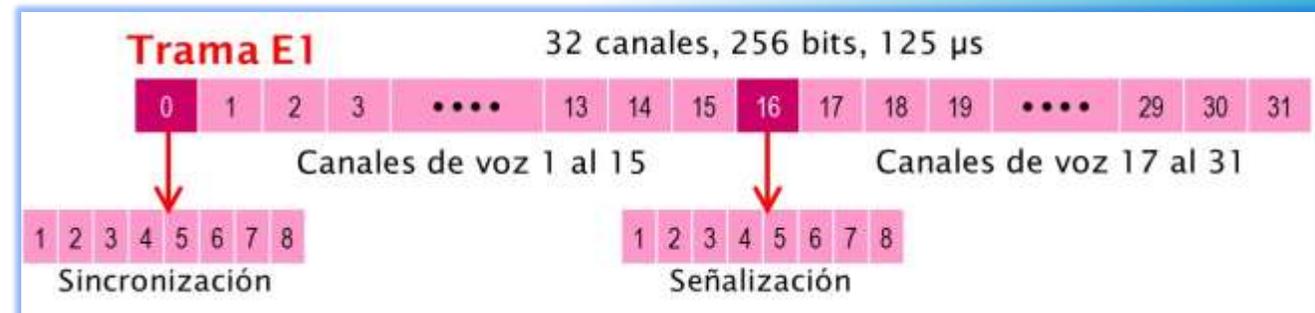
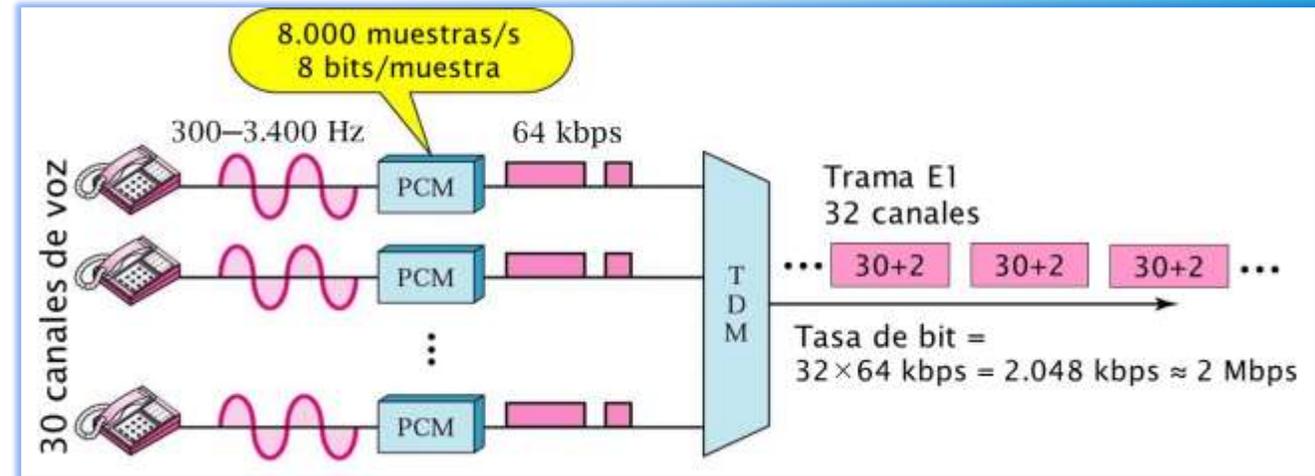
# 3. PORTADORAS DIGITALES E

## PORTADORAS DIGITALES

### Descripción de la portadora E1

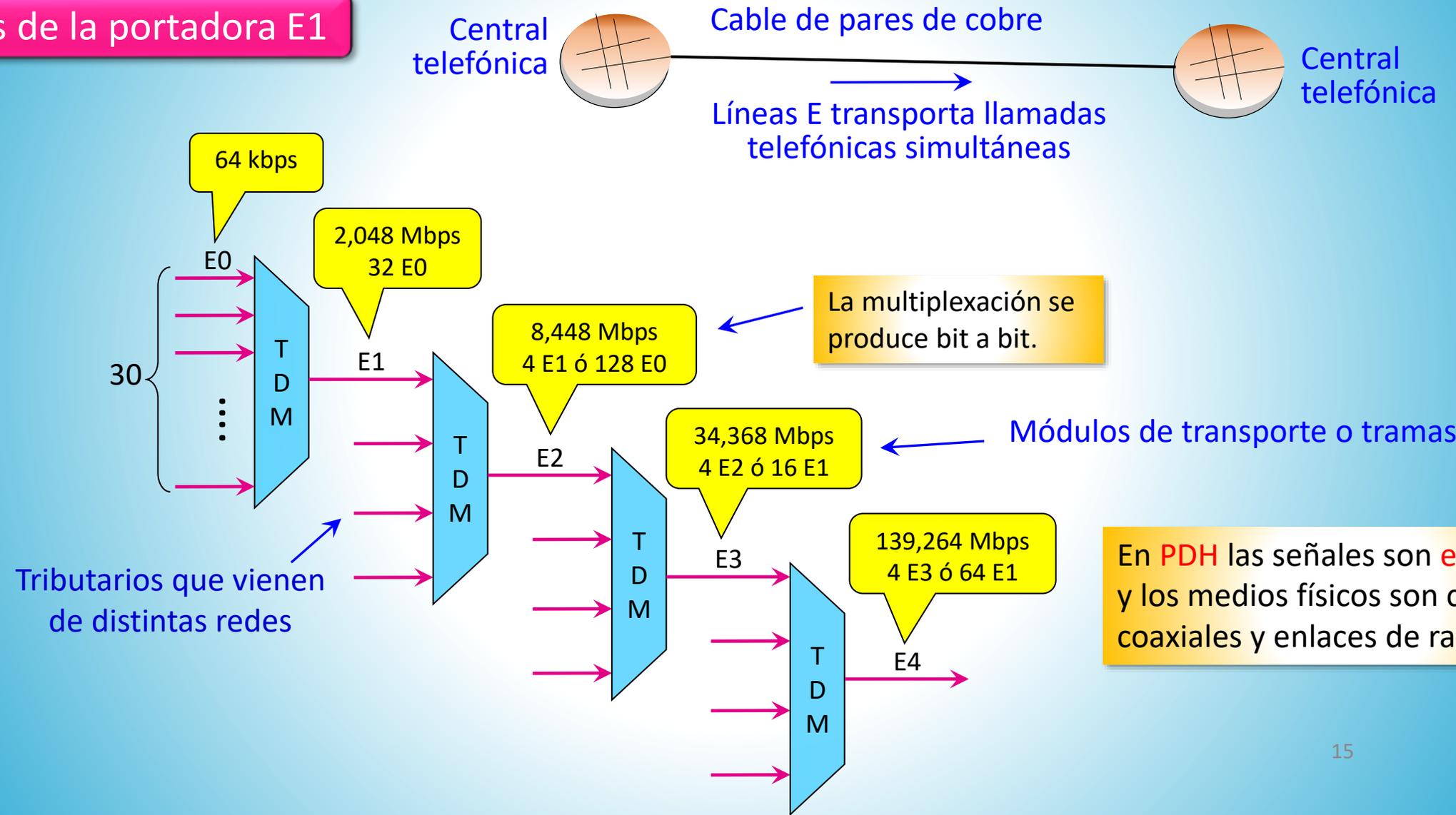
(Forouzan, 2020)

- **Es una línea** diseñada para transmitir señales digitales o señales telefónicas digitalizadas. Utiliza PCM y TDM.
- **Se forma** multiplexando **32 canales** o ranuras de tiempo de **64 Kbps**, obteniendo una **trama E1** de **2,048 Mbps**. Cada ranura es una palabra o paquete PCM de 8 bits; una muestra de voz.
- **En telefonía**, un enlace **E1** utiliza un canal para sincronización y uno para señalización.
- **En transmisión de datos** punto a punto, un enlace **E1** utiliza los 32 canales para datos.



PORTADORAS DIGITALES

Orígenes de la portadora E1



# Portadoras digitales E

## PORTADORAS DIGITALES

### Aplicación de líneas PDH-E

- **Utilizan conexiones** full dúplex, originalmente mediante dos pares trenzados de **cobre** y actualmente también sobre coaxial, microondas o fibra óptica.
- **E1 se utiliza** también como portadora analógica, conduciendo 30 conexiones telefónicas regulares.
- **Ejemplo 10.** Un Banco local ha solicitado a la empresa telefónica los servicios de líneas **PDH-E**, para portar las 48 conexiones de teléfonos fijos que tiene conectados a su centralita. Determine:
  - **a)** La cantidad de líneas de **par trenzado** que le llegan para el servicio telefónico regular.
  - **b)** La cantidad y tipo de línea **PDH-E** requeridas.
  - **c)** La cantidad de líneas de **par trenzado** necesarias para el servicio digital.
- **Sin embargo**, las líneas PDH presentan algunos inconvenientes en el transporte de datos:
  - **Los bits de relleno** utilizados para forzar el sincronismo impiden extraer directamente un canal de voz cuando se encuentra en una trama superior (E2, E3, E4). Se tiene que **descomponer la trama**, extraer el canal y volver a componerla. Esto requiere equipos muy costosos y complejos en las centrales telefónicas.
  - **No dispone** de un buen sistema de gestión ni de redundancia.
  - **PDH** fue diseñada para señales **eléctricas** o **microondas** y no utiliza eficazmente la fibra óptica, por lo que como red de transporte entre nodos de una red telefónica o WAN ha sido sustituida por la red óptica **SONET/SDH**.

| Línea     | Velocidad | Canales de voz | Interfaz  |
|-----------|-----------|----------------|---|
| <b>E1</b> | 2 Mbps    | 30             | ● V.35.   |
| <b>E2</b> | 8 Mbps    | 120            | ● No se comercializa. Se usan enlaces E1 en paralelo. |
| <b>E3</b> | 34 Mbps   | 480            | ● HSSI ( <i>High Speed Serial Interfaz</i> ).         |
| <b>E4</b> | 140 Mbps  | 1920           | ● No se comercializa.                                 |

- a) 48 pares.
- b) 2 E1.
- c) 4 pares, 2 para cada conexión dúplex.

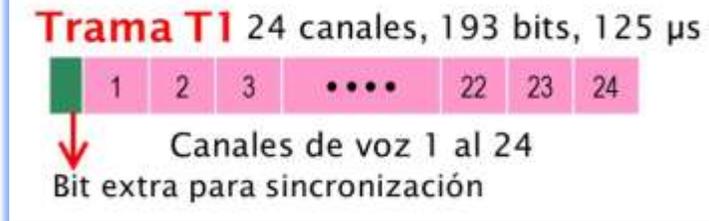
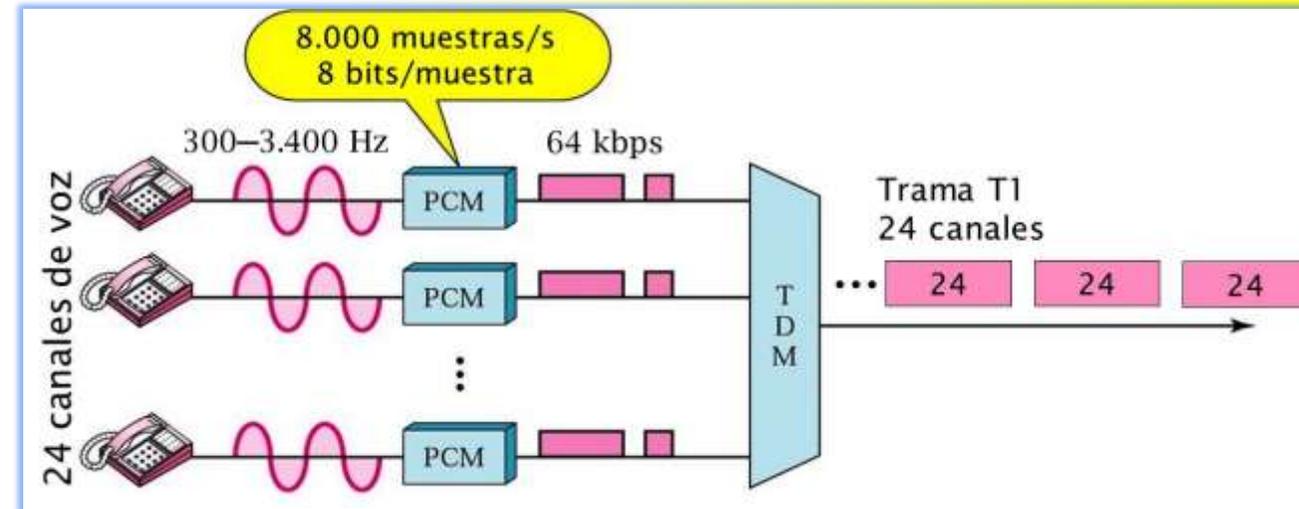
# 4. PORTADORAS DIGITALES T

## PORTADORAS DIGITALES

### Descripción de la portadora T1

(Forouzan, 2020)

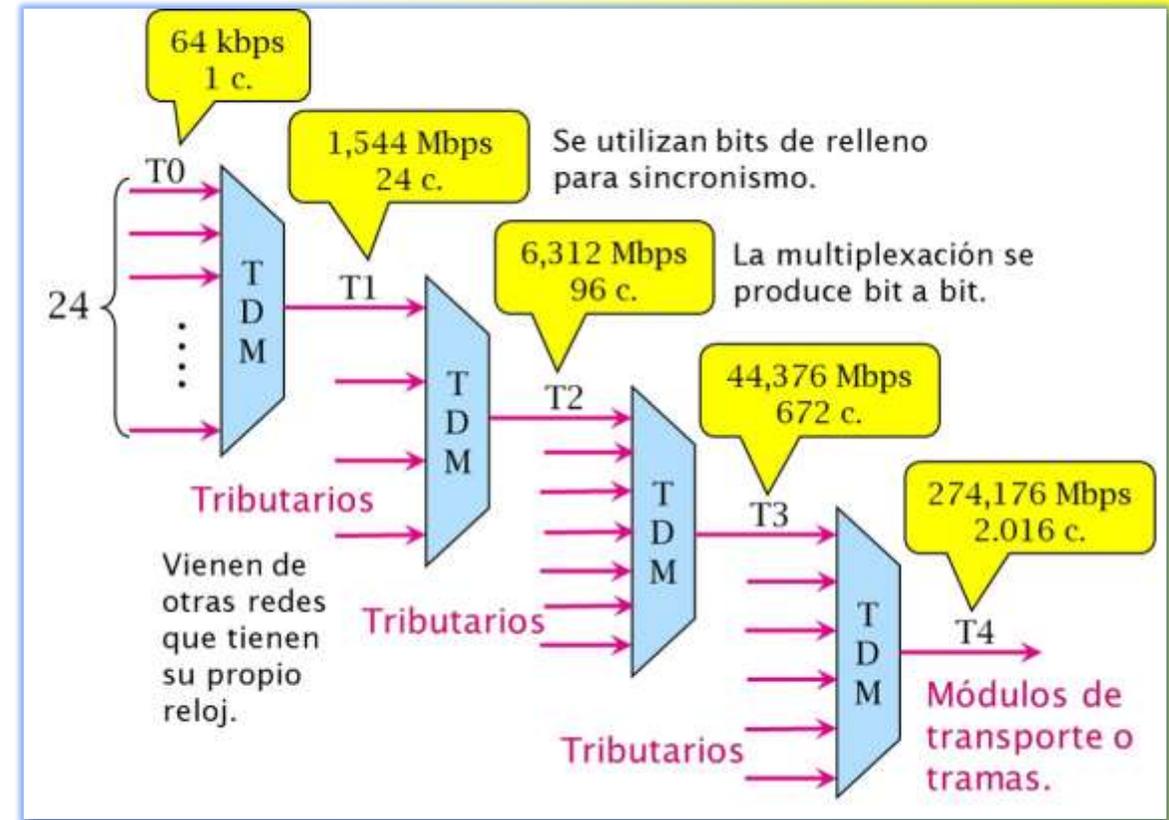
- **Es una línea** diseñada para transmitir señales digitales o señales telefónicas digitalizadas.
- **Se forma** multiplexando **24 canales** o ranuras de tiempo de **64 Kbps**, obteniendo una **trama T1** de **1,544 Mbps**. Cada ranura es una palabra o paquete PCM de 8 bits; una muestra de voz.
- **En telefonía**, se añade un bit extra para sincronización al principio de la **trama T1**.
- **T1 se utiliza** también como portadora analógica, conduciendo 24 conexiones telefónicas regulares.
- **La portadora T1** se utiliza principalmente en EE.UU y Japón.
- **Los sistemas** de portadora **T1** y **E1** no son compatibles, aunque pueden interconectarse.



### Descripción de la jerarquía PDH-T

(Forouzan, 2020)

- La **PDH-T** fue introducida por *Bell System* en EE.UU en los años 60 y se utiliza principalmente en EE.UU y Japón.
- Se **basa en líneas** dedicadas digitales. Envía **tramas** de mayor capacidad a partir de multiplexar tramas de nivel inferior llamadas tributarios: **T1, T2, T3, T4**. El canal básico de 64 kbps se llama a veces línea **T0**.
- Al **agrupar tributarios**, se agregan **bits de sincronismo** porque los tributarios vienen de redes independientes que tienen su propia señal de reloj, por lo que es preciso **sincronizarlas** en el multiplexor.
- La **multiplexación** se produce **bit a bit**, excepto para T0.



# 5. INFRAESTRUCTURA WAN

## PORTADORAS DIGITALES

### Migración PDH a SONET/SDH



# Infraestructura WAN privada

## PORTADORAS DIGITALES

### Líneas arrendadas

(CISCO, 2018)



- **Cuando** se requieren conexiones dedicadas permanentes, se utiliza un enlace punto a punto para proporcionar una ruta de comunicaciones WAN preestablecida desde las instalaciones del cliente hasta la red del proveedor.

- **Por lo general**, un proveedor de servicios arrienda las líneas punto a punto, que se llaman “líneas arrendadas”. Sin embargo, como han existido desde la década de 1950, a veces se usan los siguientes términos para hacer referencia a ellas:
  - ▶ Circuitos arrendados
  - ▶ Enlace serial
  - ▶ Línea serial
  - ▶ Enlace punto a punto PPP
  - ▶ Líneas T1/E1 o T3/E3
- **Las líneas arrendadas** varían en precio según el ancho de banda requerido y la distancia entre las dos rutas conectadas.
- **En América del Norte** y en Japón, los proveedores de servicios utilizan el sistema de portadora T para definir la capacidad de transmisión digital de un enlace serial de medios de cobre. Por ejemplo, un enlace T1 admite 1,544 Mb/s.
- **En el resto del mundo**, utilizan el sistema de portadora E. Por ejemplo, un enlace E1 admite 2,048 Mb/s.

# Referencias bibliográficas

PORTADORAS DIGITALES

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blake, Roy (2004). *Sistemas electrónicos de comunicaciones*. México: Thomson.
- Coimbra, E. (18 de Agosto de 2013). *Datos y señales en comunicaciones electrónicas*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/edisoncoimbra/21-datos-y-seales-analogicas-y-digitales>
- Forouzan, B. A. (2020). *Transmisión de datos y redes de comunicaciones*. Madrid: McGraw-Hill.
- Kurose, J. Keith, R. (2017). *Redes de computadoras: un enfoque descendente*. Madrid: Pearson Education, S.A.

FIN

Tema 5 de:  
REDES WAN

Edison Coimbra G.