

# MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA FDM

## Contenido

- 1.- Introducción.
- 2.- Procesos en FDM.
- 3.- Jerarquía de multiplexación analógica.
- 4.- Aplicaciones de FDM.



**Objetivo.-** Al finalizar el tema, el estudiante será capaz de describir el proceso de multiplexación por división de frecuencia FDM utilizado para combinar señales analógicas y explicar sus aplicaciones en los sistemas de telefonía y radiodifusión.

Última modificación:  
12 de agosto 2010

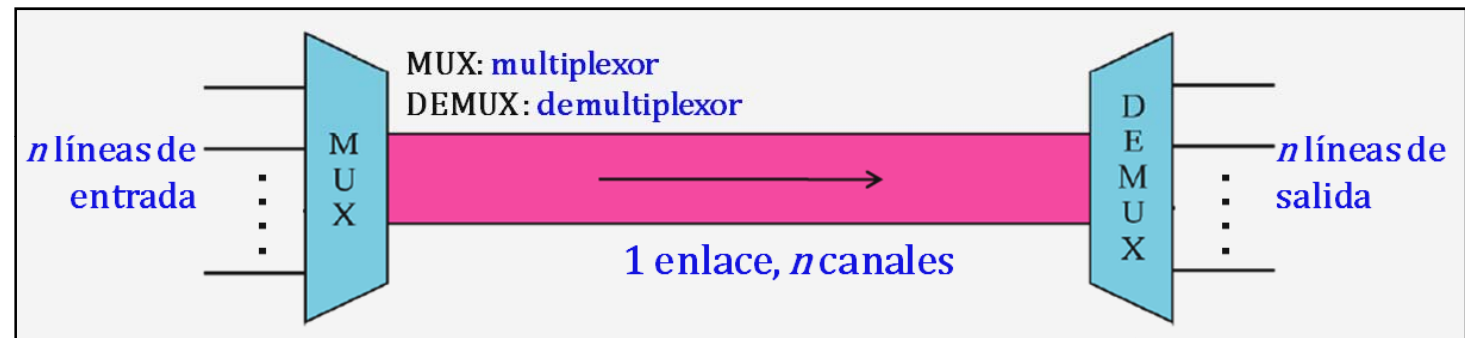
**Tema 5 de:**  
**COMUNICACIONES ANALÓGICAS**  
**Edison Coimbra G.**

# 1.- Introducción

La tecnología actual incluye medios de gran **ancho de banda (BW)**, como el cable **coaxial**, la **fibra óptica** y las **microondas** terrestre y satelital. Cualquiera de estos medios tiene una **capacidad** que sobrepasa las necesidades medias para transmitir una señal.

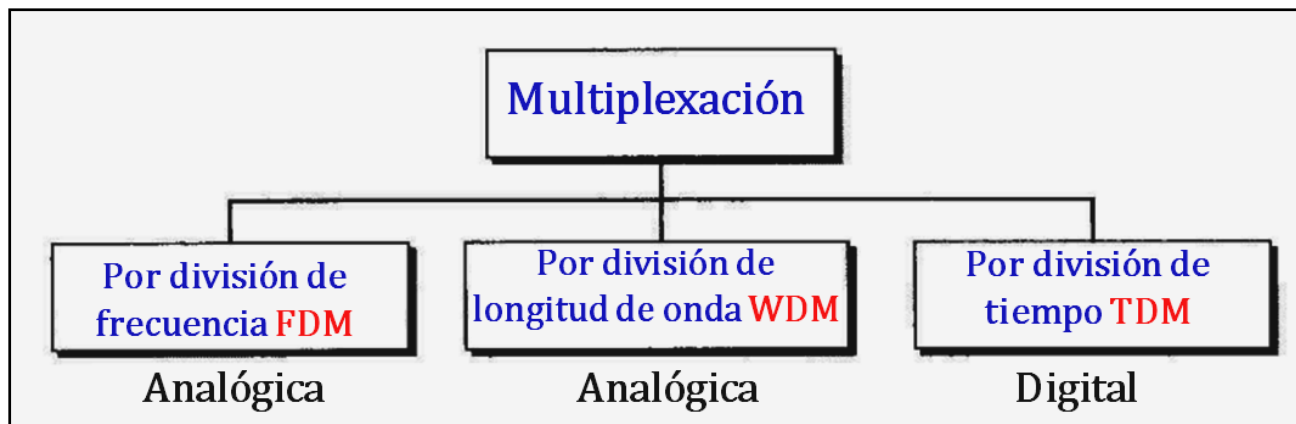
Para optimizar la utilización del medio de transmisión, se ha desarrollado la **multiplexación**, que es un conjunto de técnicas que permite la transmisión simultanea de **múltiples señales** a través de un **único enlace**.

Los dispositivos de **entrada** envían sus flujos de transmisión a un **MUX**, que los combina en un **único flujo**.



El **enlace** es el camino físico. El **canal** es una porción de camino que lleva una transmisión entre dos dispositivos.

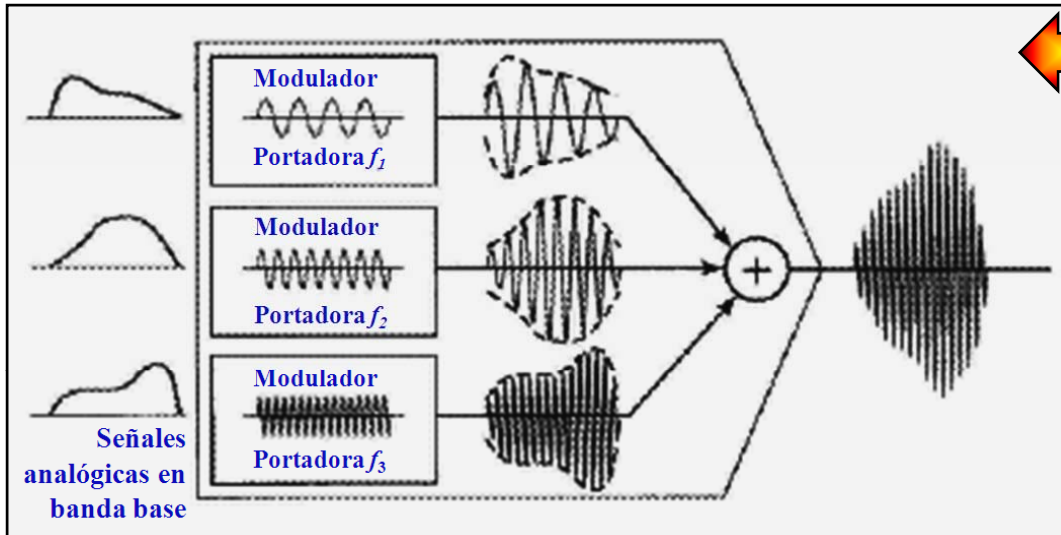
En el receptor, el **flujo** se introduce en un **DEMUX**, que separa los **flujos componentes** y los dirige a sus correspondientes receptores.



Existen tres técnicas básicas de multiplexación: **FDM, WDM y TDM**.

## 2.- Procesos en FDM

### Proceso de multiplexación



FDM es una técnica **analógica** que se puede aplicar cuando el **BW** de un enlace es mayor que los **BW** combinados de las señales a transmitir.

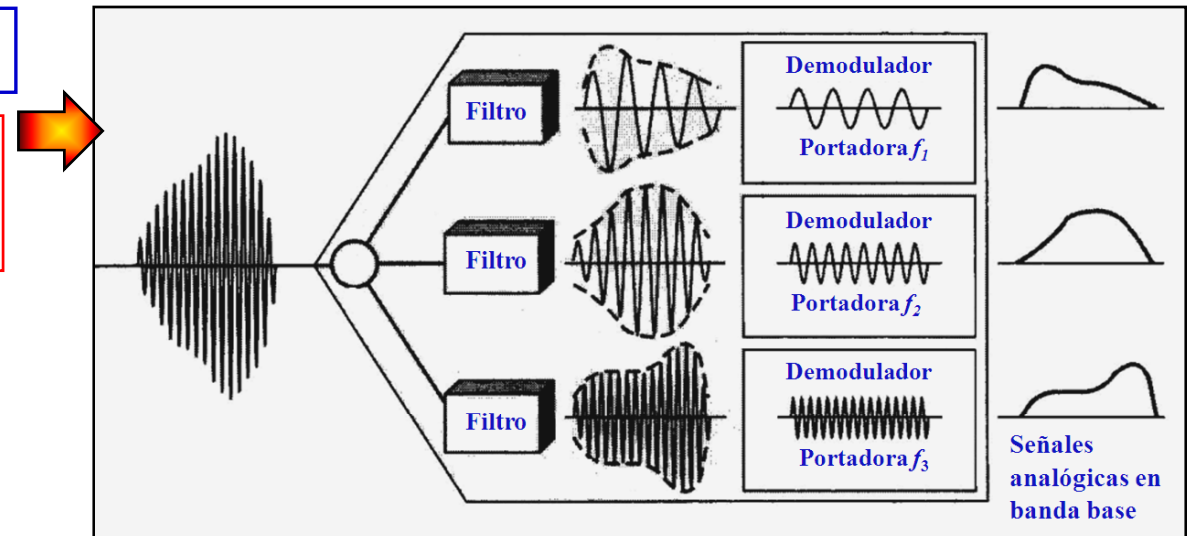
Cada **fuente** genera una señal con un rango de frecuencia similar. Dentro del **MUX**, estas señales similares se **modulan** sobre distintas **frecuencias portadoras** ( $f_1$ ,  $f_2$  y  $f_3$ ).

Las señales **moduladas** resultantes se **combinan** en una única señal compuesta que se envía sobre un **enlace** que tiene **BW** suficiente para acomodarlas.

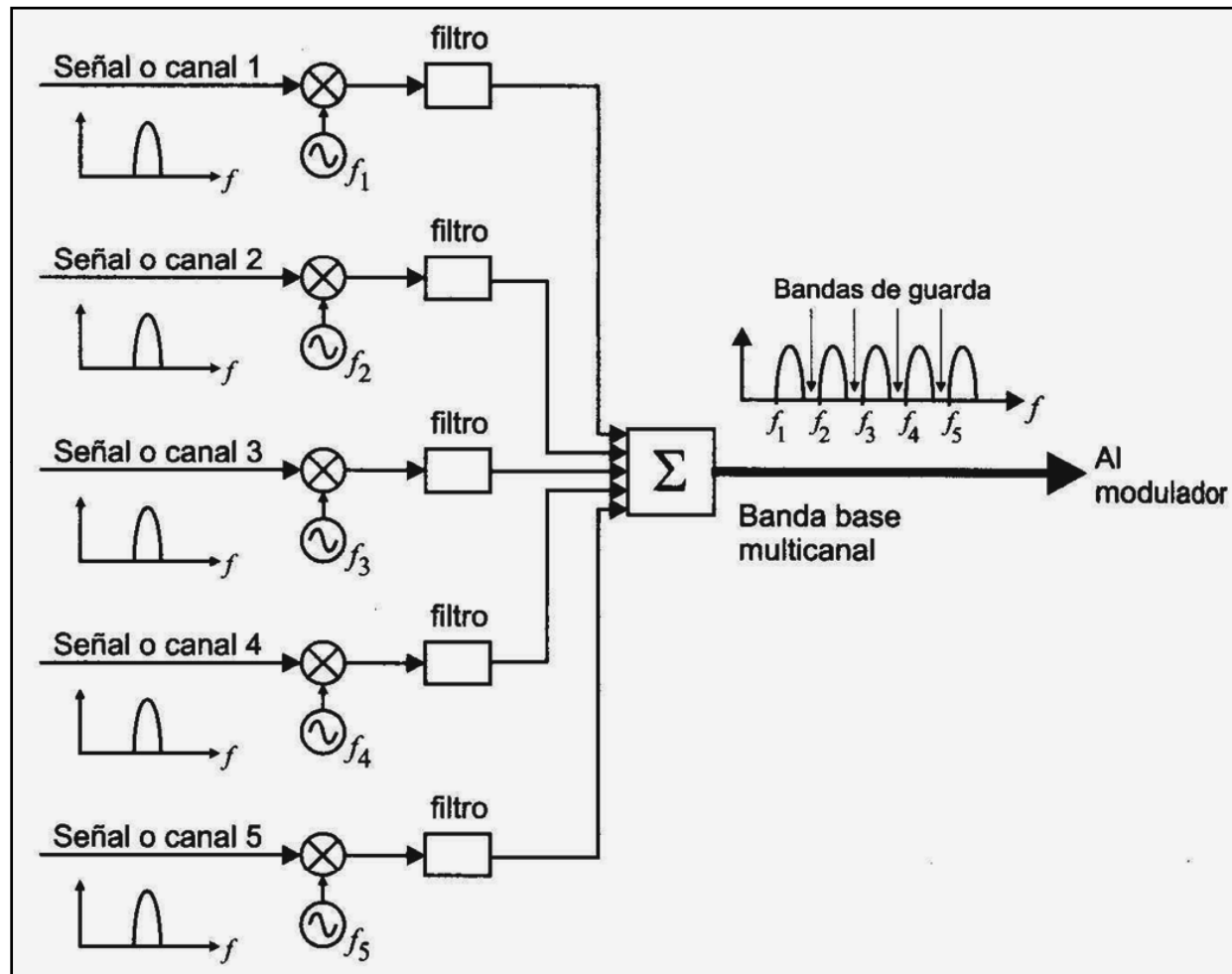
### Proceso de demultiplexación

El **DEMUX** usa **filtros** para **descomponer** la señal multiplexada en las señales componentes que la constituyen.

Las **señales individuales** se pasan después a un **demodulador** que las separa de sus portadoras y las pasa a **líneas de salida**.



## FDM en el dominio de la frecuencia



Se puede considerar a **FDM** como una técnica de **multiplexación analógica**; sin embargo, esto no significa que FDM no se pueda utilizar para combinar fuentes que envían **señales digitales**. Una señal digital se puede convertir a una señal analógica antes de que FDM se utilice para multiplexarlas.

## Ejemplo 1. FDM en telefonía

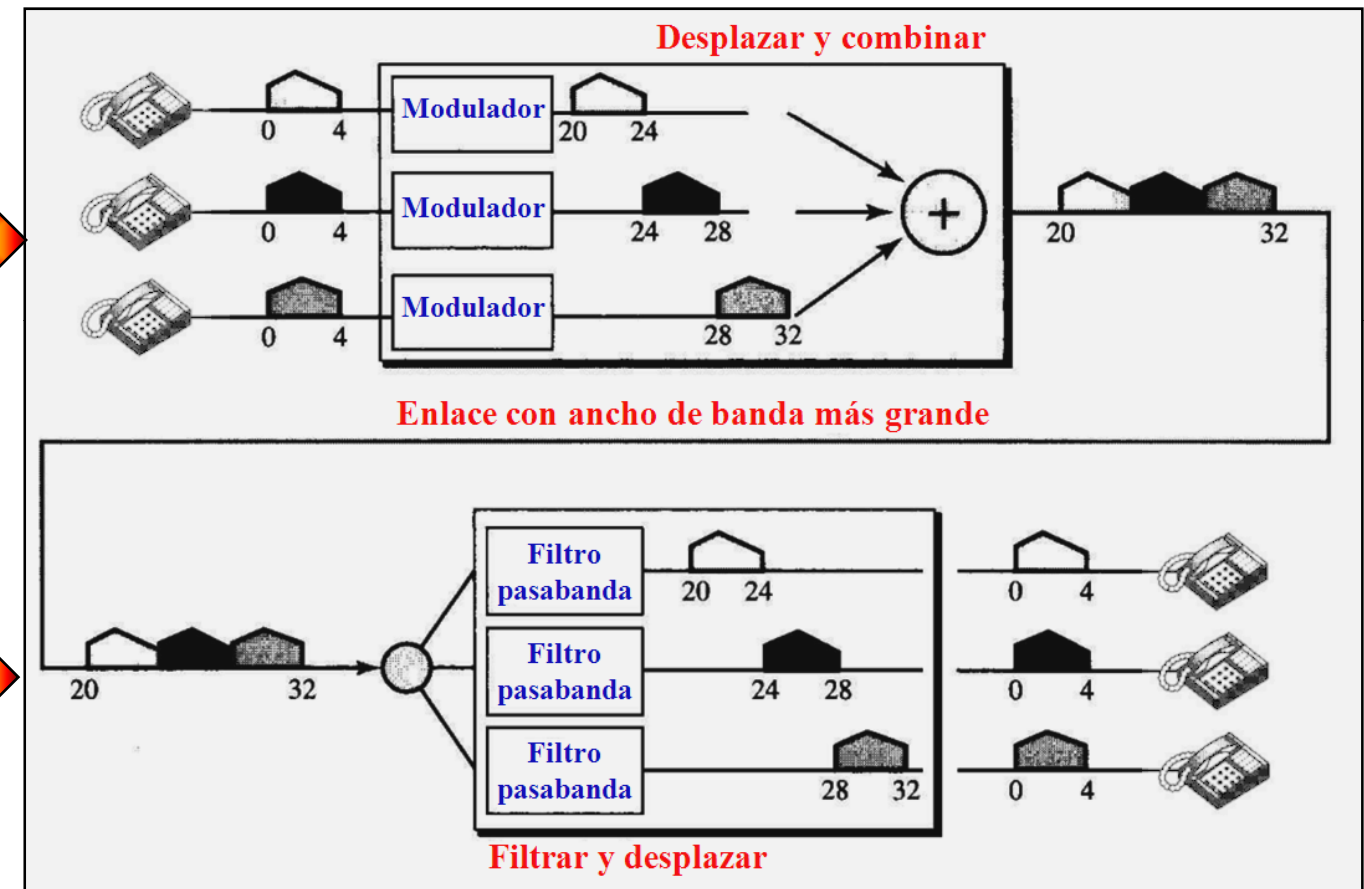
Asuma que el **canal de voz** ocupa un  $BW = 4$  kHz. Se necesita combinar 3 canales de voz en un enlace que tiene un  $BW = 12$  kHz, entre 20 y 32 kHz. Muestre la configuración usando el dominio de la frecuencia, sin bandas de guarda.

### Respuesta.-

**1** Se **desplaza** (modula) cada canal de voz a un BW diferente. Se utiliza el BW de 20 a 24 kHz para el primero, de 24 a 28 kHz para el segundo y el de 28 a 32 kHz para el tercero.

**2** Se **combinan** las señales moduladas.

**3** En el **receptor**, cada canal recibe la señal entera y utiliza un **filtro** para separar su propia señal. El primero utiliza un filtro que pasa las frecuencias entre 20 y 24 kHz y descarta las restantes, y así sucesivamente.

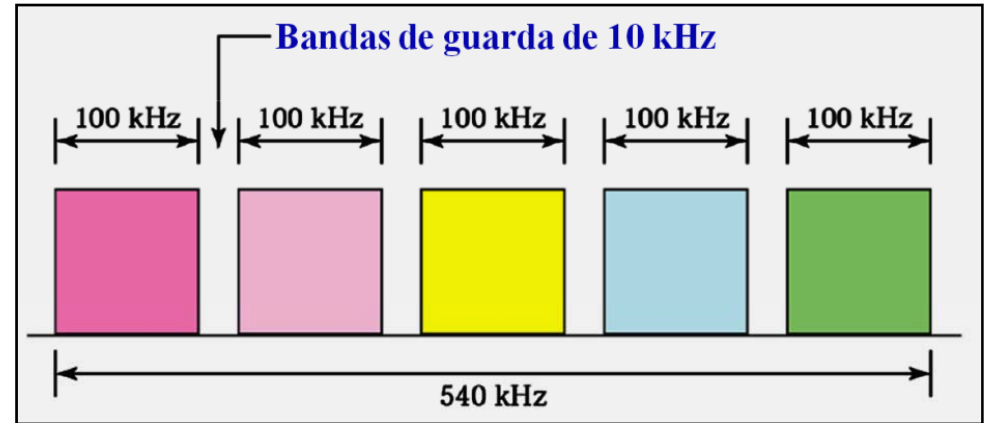


**4** Cada canal a continuación **desplaza** la frecuencia para que comience en **ceros**.

## Ejemplo 2. FDM en radioenlaces

Se **multiplexan** cinco canales de radio, cada uno con un BW de **100 kHz**. ¿Cuál es el BW del enlace si se necesita una banda de guarda de **10 kHz** entre los canales para evitar interferencias?

**Respuesta.-**

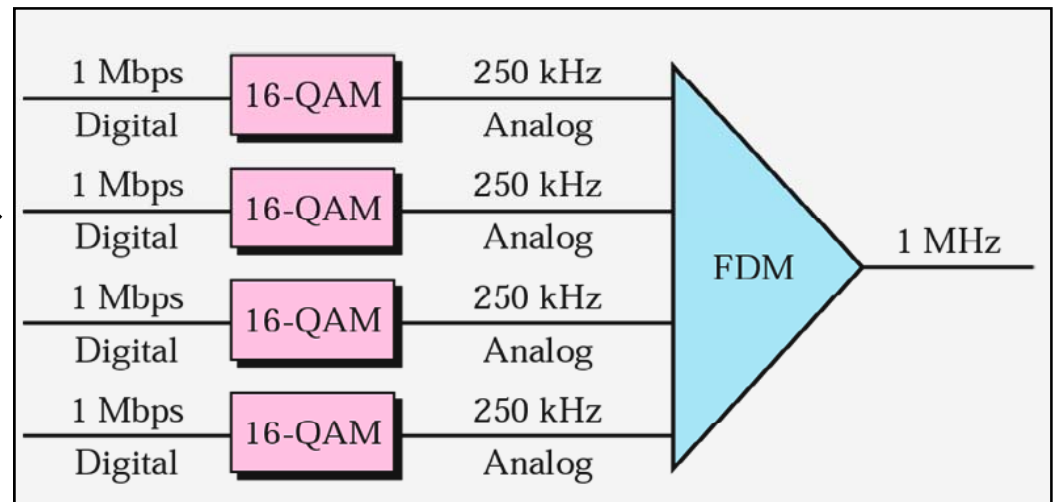


## Ejemplo 3. FDM en enlaces satelitales

Para **4 canales** de datos (digitales), cada uno transmitiendo a **1 Mbps**, se utiliza un **canal de satélite** de **1 MHz**. Diseñe una configuración apropiada utilizando FDM.

**Respuesta.-**

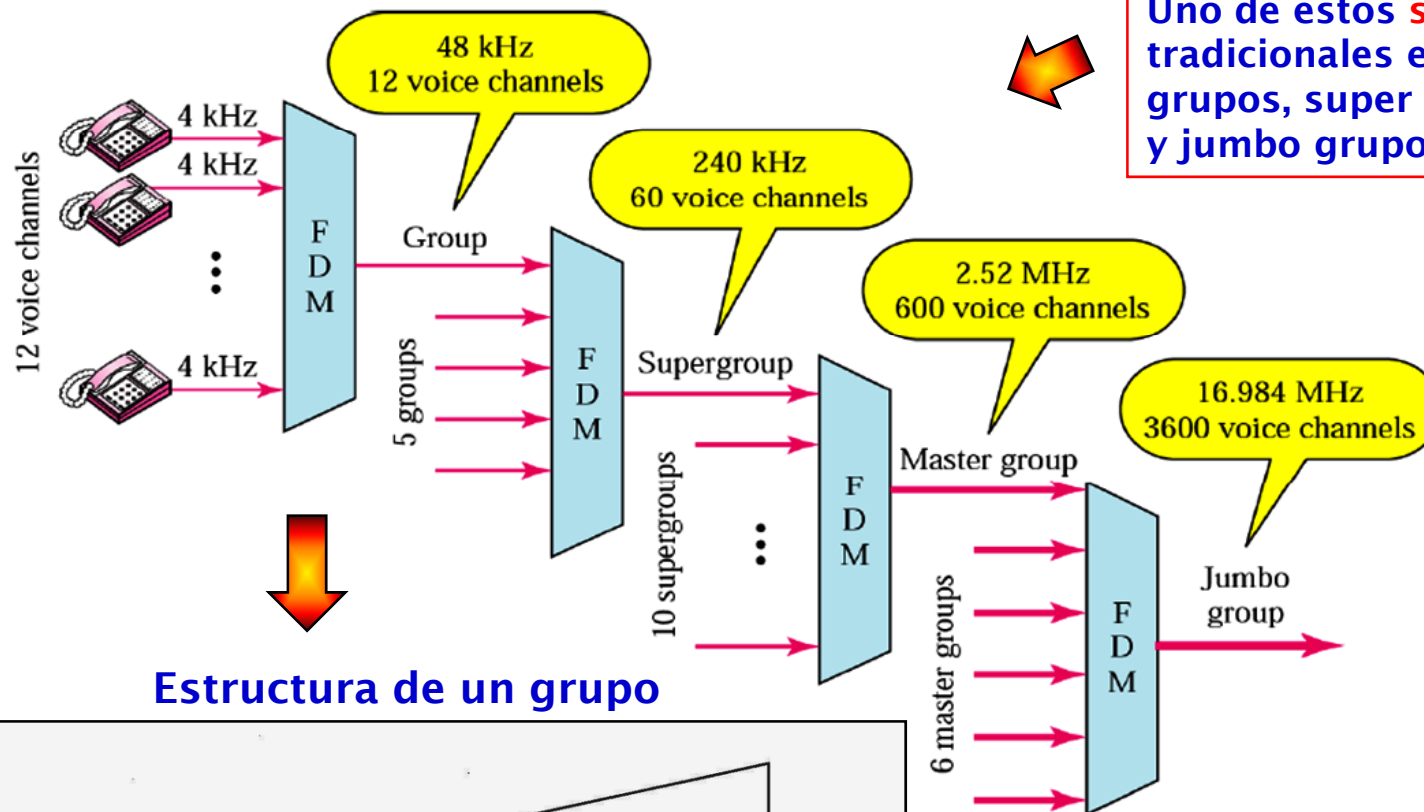
El canal de satélite es **analógico**. Se divide en **4 canales**, cada uno de **250 kHz** de BW. Cada canal digital de **1 Mbps** es modulado de forma que 4 bits se **modulen** a 1 Hz. Una solución es utilizar la modulación **16-QAM**.



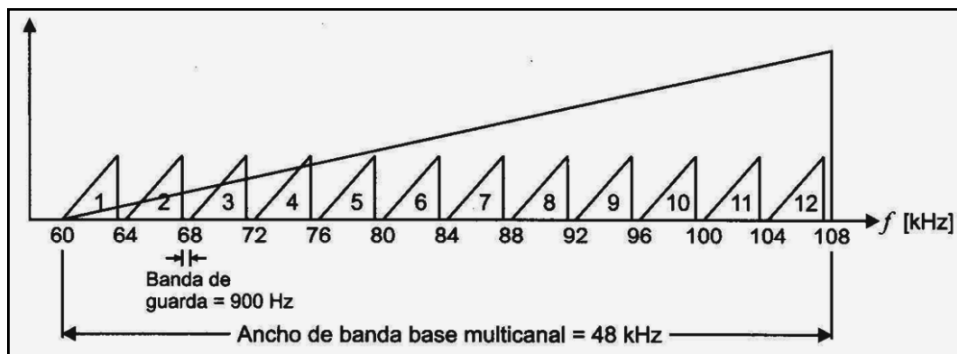
# 3.- Jerarquía de multiplexación analógica

Para maximizar la **eficiencia** de su infraestructura, las compañías telefónicas **multiplexan** las señales de líneas con BW pequeño sobre líneas con mayor BW. Para **líneas analógicas** se utiliza **FDM**.

Uno de estos **sistemas jerárquicos** tradicionales está formado por **grupos, super grupos, master grupos y jumbo grupos**.



**Estructura de un grupo**



Existieron muchas **variaciones** de esta jerarquía en la industria de las telecomunicaciones. Sin embargo, han sido **reemplazadas** por jerarquías digitales.

## 4.- Aplicaciones de FDM

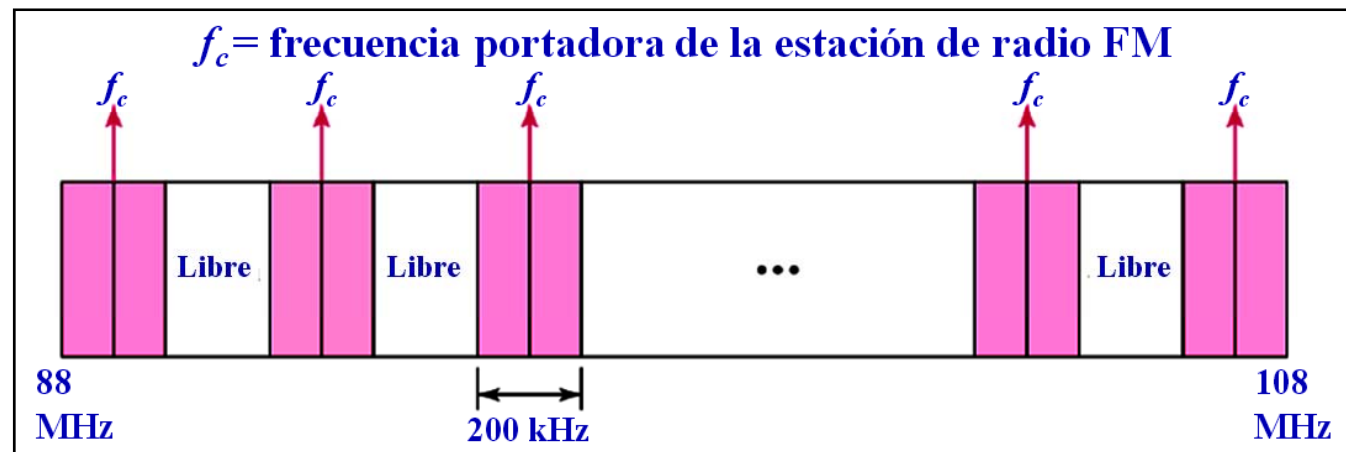
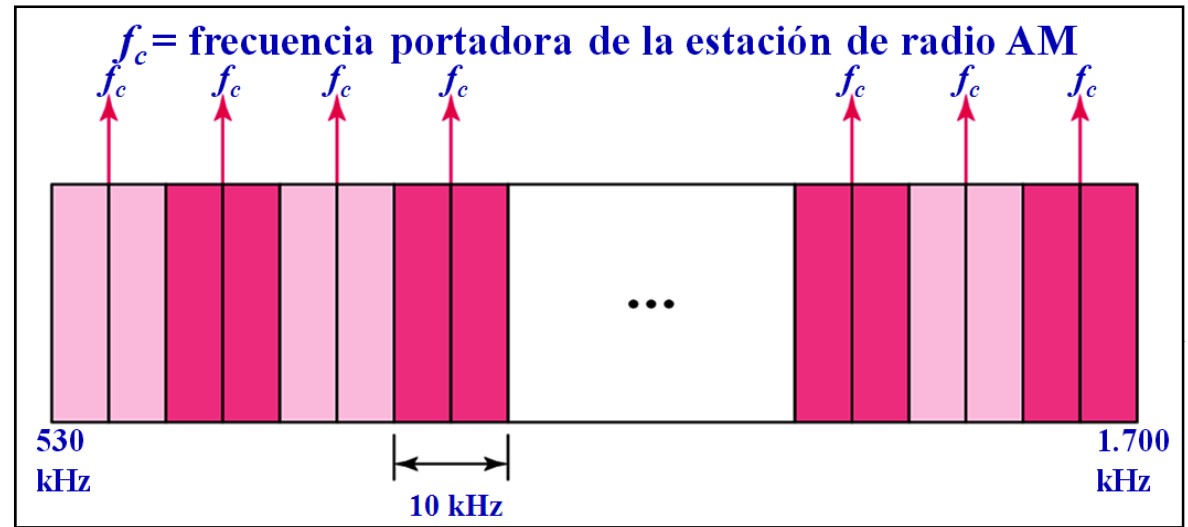
### En radiodifusión AM y FM

Una banda comprendida entre **530 y 1.700 kHz** se asigna a la **radio AM**. Cada estación necesita **10 kHz** de BW y utiliza una **frecuencia portadora** diferente, lo que significa el **desplazamiento** de su señal y la **multiplexación**.

La señal que viaja por el aire es una **combinación de señales**. Un receptor recibe todas las señales, pero **filtra** (mediante la sintonización) sólo la que desea.

Una situación similar ocurre en **FM**. Sin embargo, FM tiene una banda más amplia de **88 a 108 MHz** debido a que cada estación necesita **200 kHz** de BW.

Una aplicación muy común es la **radiodifusión AM y FM**. La radio utiliza el aire como medio de transmisión.





## Otras aplicaciones de FDM

Otro uso común de FDM es la **difusión de la televisión**. Cada canal de TV tiene su propio ancho de banda de **6 MHz**.

La **1G** de teléfonos móviles utiliza **FDM**. A cada usuario se asigna **2 canales de 30 kHz**, uno para enviar voz y el otro para recibir. La señal de voz (**BW=3 kHz**), se modula utilizando **FM**, lo cual resulta en un canal con un **BW=10×3 kHz=30kHz**. Por tanto, cada usuario recibe de la estación base un **BW=60 kHz** en un rango disponible cada vez que se realiza una llamada.

## Ejemplo 4. FDM en telefonía móvil 1G

El *sistema de teléfonos móviles avanzado* (AMPS) utiliza 2 bandas. La primera de **824 a 849 MHz** se utiliza para el envío, y la de **869 a 894 MHz** para la recepción. Cada usuario tiene un **BW=30kHz** en cada dirección. La voz de 3 kHz se modula utilizando FM, que crea una señal modulada de 30 kHz. ¿Cuánta gente puede utilizar sus teléfonos móviles simultáneamente?

**Respuesta.-** Cada banda es de **25 MHz**. Si se divide 25 MHz entre 30 KHz, se obtiene 833,33. En realidad, la banda se divide en **832 canales**. De estos, 42 se utilizan para control, lo que significa que sólo **790 canales** están disponibles para los usuarios.

## Implementación

# FIN

**FDM** se implementa fácilmente. En la **radio** o la **televisión**, no hay necesidad de un MUX o DEMUX físico; siempre que las estaciones transmitan utilizando **diferentes frecuencias** portadoras.

En **telefonía móvil**, se necesita una **estación base** para asignar la frecuencia portadora al usuario. No hay suficiente BW en una celda para asignar BW a cada usuario. Cuando un usuario cuelga, su BW es **asignado** a otro. Se denomina **FDMA**.