



Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Haedo
Departamento de Ingeniería Electrónica

SISTEMAS DE COMUNICACIONES

Introducción

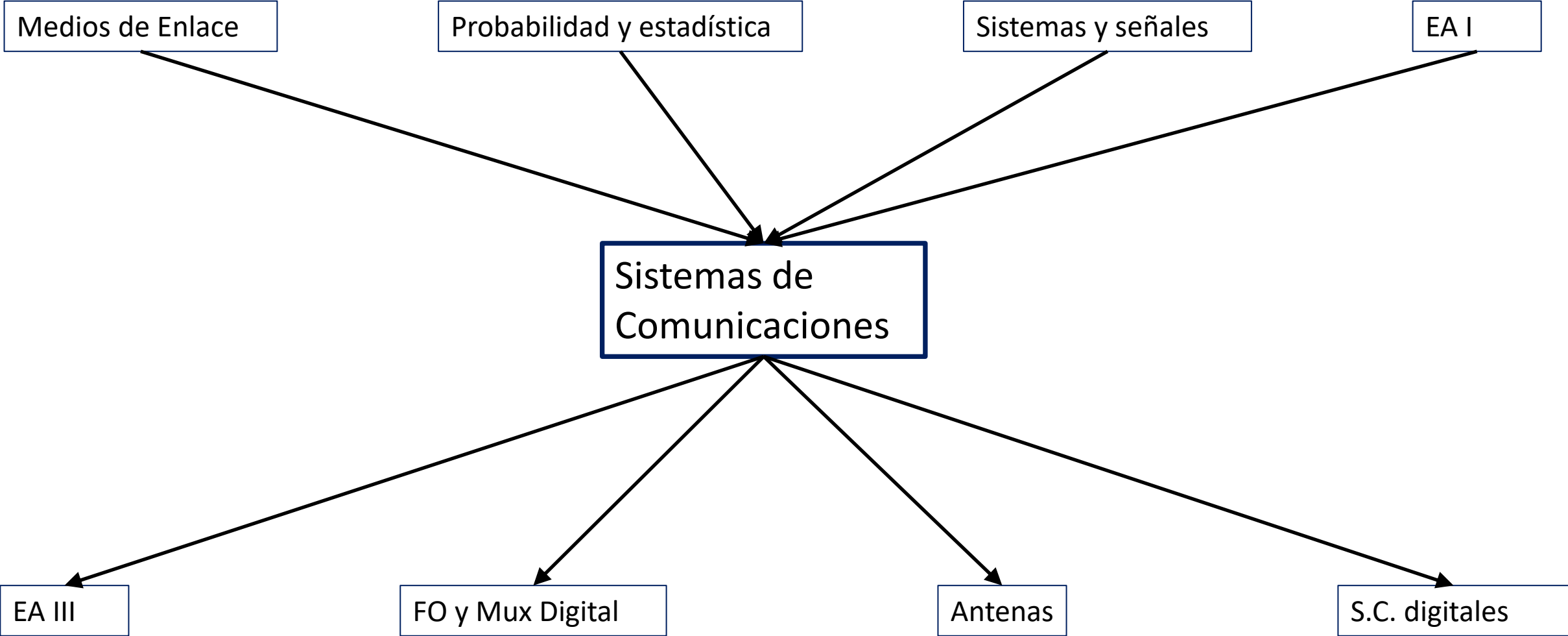
Equipo Docente

Profesor: Ariel Filice, afilice@frh.utn.edu.ar (arfilice@yahoo.com.ar)

JTP: Pablo Crudo, pcrudo@frh.utn.edu.ar

Ayudante: Fernando Funes, ffunes807@alumnos.frh.utn.edu.ar

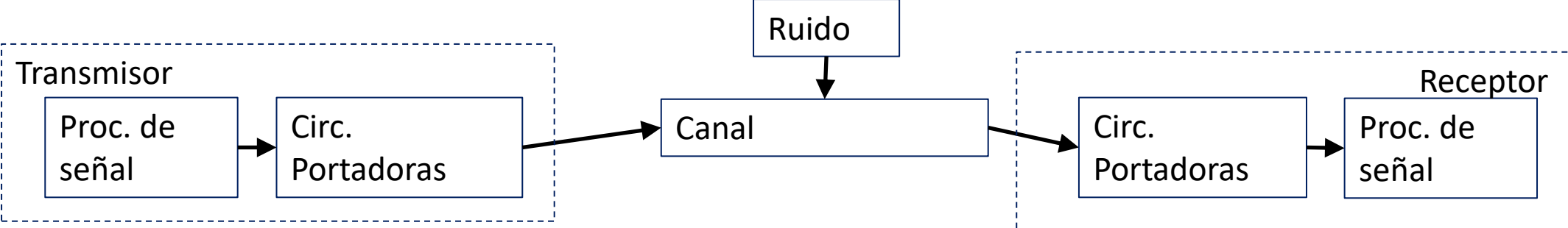
Correlación de Materias



SC: definición

Todo sistema diseñado para transmitir INFORMACION...

Componentes de un SC



SC: limitantes

BW

tecnología

regulaciones

Ruido

Señal no deseada

Capacidad de un SC

Ley de Shannon
 $C = B \cdot \log_2(1 + \text{SNR})$



The Bell System Technical Journal

Vol. XXVII

July, 1948

No. 3

A Mathematical Theory of Communication

By C. E. SHANNON

INTRODUCTION

THE recent development of various methods of modulation such as PCM and PPM which exchange bandwidth for signal-to-noise ratio has intensified the interest in a general theory of communication. A basis for such a theory is contained in the important papers of Nyquist¹ and Hartley²

A Mathematical Theory of Communication

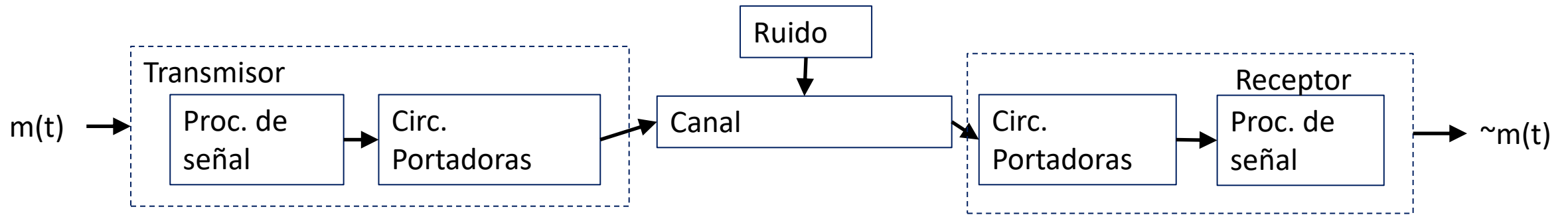
By C. E. SHANNON

(Concluded from July 1948 issue)

PART III: MATHEMATICAL PRELIMINARIES

In this final installment of the paper we consider the case where the signals or the messages or both are continuously variable, in contrast with the discrete nature assumed until now. To a considerable extent the con-

Componentes de un SC

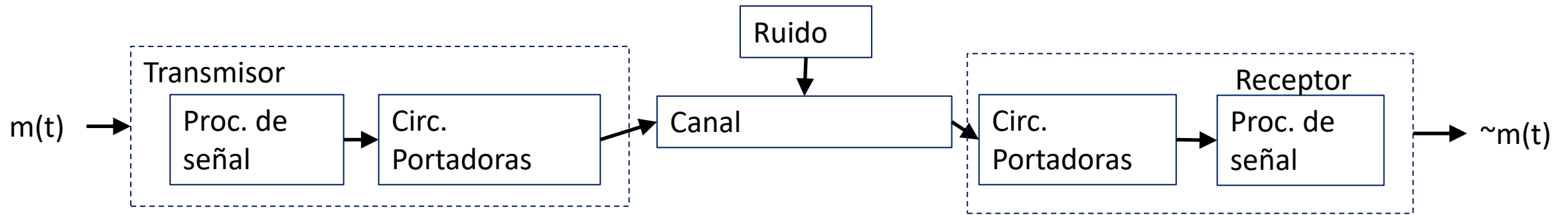


Todo sistema de comunicaciones está formado por 3 subsistemas:

El **transmisor** el **canal** y el **receptor** la información a transmitir está representada por la forma de onda $m(t)$ puede ser análoga, digital, audio, vídeo. Cualquier tipo de onda.

El mensaje estará contaminado con ruido y estará deformado por las imperfecciones del sistema: filtraciones, falta de linealidad, etc.

Componentes de un SC

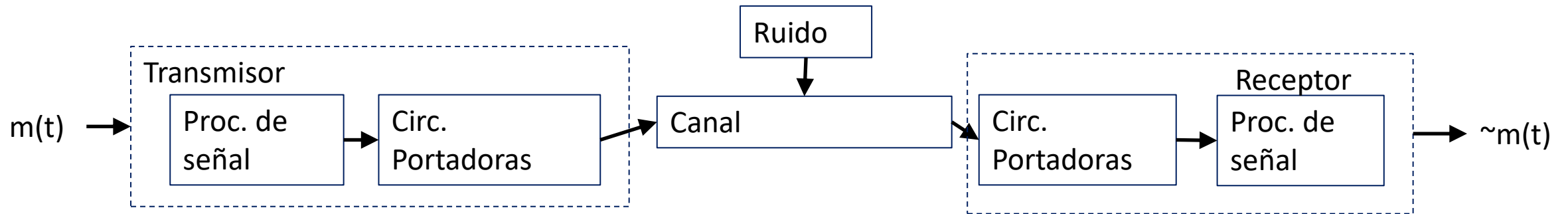


Procesamiento de Señal Recepción: acondiciona la fuente para una transmisión más eficiente. Por ejemplo: filtrado de una señal analógica para límite de ancho de banda; agregado de información de corrección de errores en el caso de una información digital

Modulación: consiste en la transformación o mapeo de la forma de onda de entrada en la señal pasa banda etc. Los principios generales de la modulación se aplican de igual forma a todos los tipos de canales, par trenzado, coaxial, fibra óptica, aire vacío.

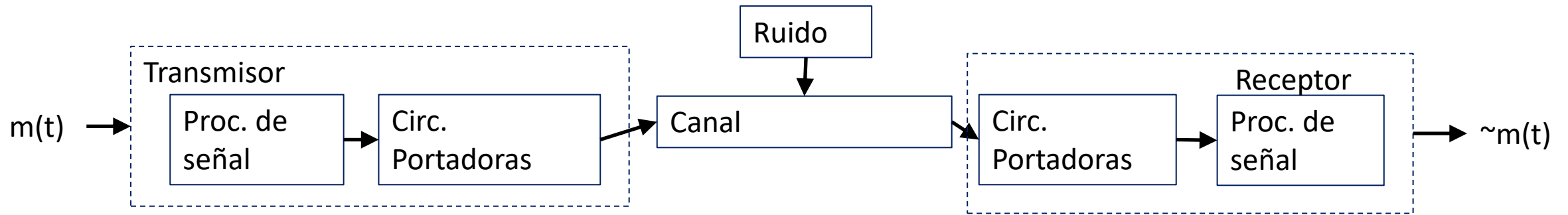
Como premisa de diseño la señal central de este proceso: $F_c > 10 F_{mm}$

Componentes de un SC



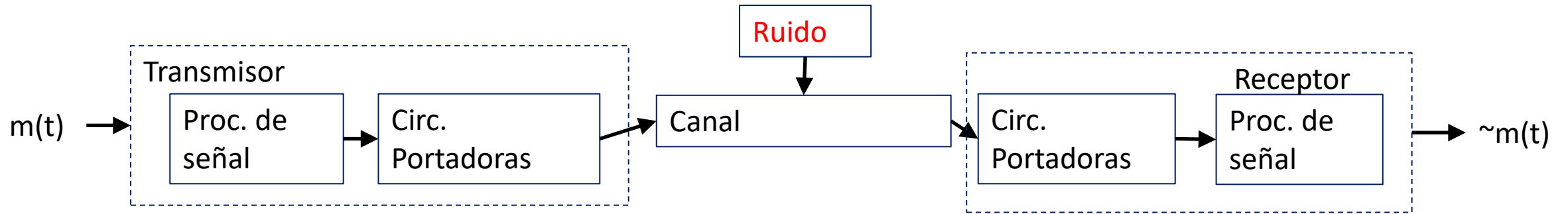
Circuitos de portadora: convierten la señal banda base procesada en una a una banda de frecuencias adecuada al medio en el que se transmite o al que se quiere transmitir. Produce una señal de salida $S(t)$ denominada pasa banda ya que las frecuencias que la componen espectro están ubicadas alrededor de una frecuencia de portadora f_c mucho mayor que cero

Componentes de un SC



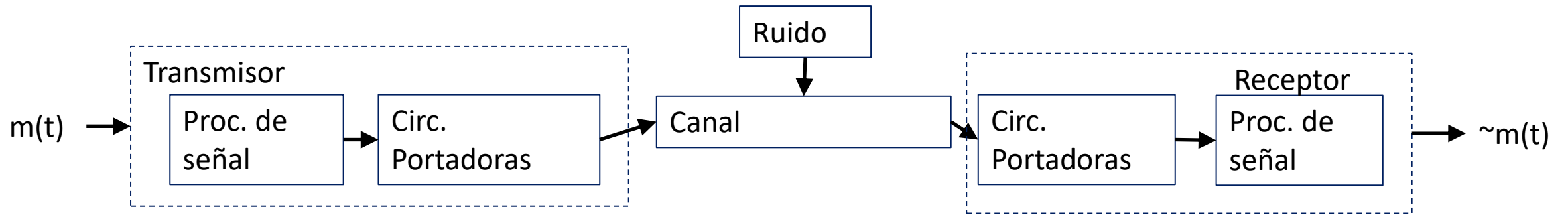
Canal: puede o no contener dispositivos activos generalmente amplificadores y repetidores transponedores etcétera. Será el que impone el ancho de banda (tecnológico o regulatorio) y puede incluir múltiples trayectorias. Estas múltiples trayectorias tendrán por ejemplo diferente delay.

Componentes de un SC



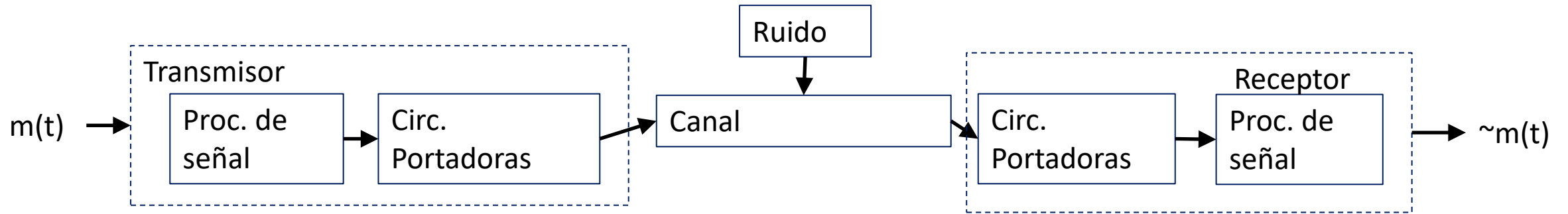
Ruido: se introduce en el canal (en realidad en todo el sistema) deforma la señal de salida y por lo tanto $\sim m(t)$ será distinto a $m(t)$

Componentes de un SC



Circuitos de portadora Receptor: toma la señal de salida del canal con ruidos y ancho de banda limitado, y la convierte en banda base

Componentes de un SC



Procesador de señales de recepción: limpia la señal y entrega una estimación($\sim m(t)$) de la información original($m(t)$).

Fuentes de información

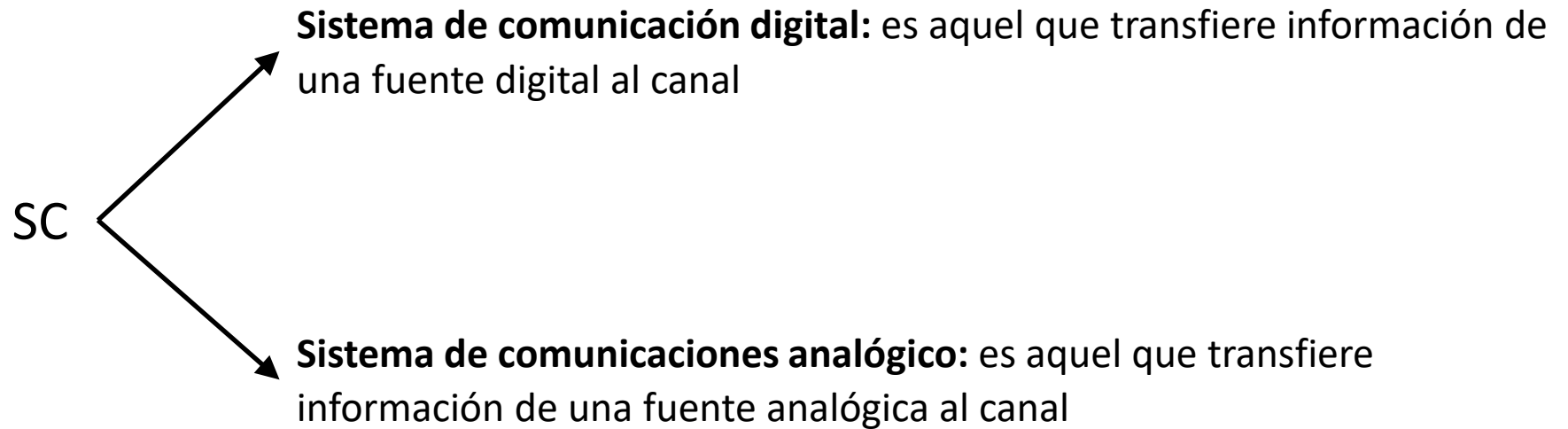
Fuentes de
información

```
graph LR; A[Fuentes de información] --> B[Fuente de información digital]; A --> C[Fuente de información analógica];
```

Fuente de información digital: es aquella que produce una serie finita de posibles mensajes (por ejemplo: la salida de un teclado) por lo tanto $m(t)$ tomará valores discretos, durante intervalos discretos en el tiempo.

Fuente de información analógica: es aquella que produce mensajes definidos en forma continua. Puede adaptar una cantidad infinita de valores intermedios (por ejemplo: la salida de un micrófono).

SC Digital/Analógico



SC Digital vs SC Analógico

Sistema de comunicación digital (vs Analógico):

+Circuitos de menor costo (on/off)

+Menor consumo/espacio

+Privacidad (cifrado)

+Múltiples fuentes por un mismo sistema (voz, imagen, txt)

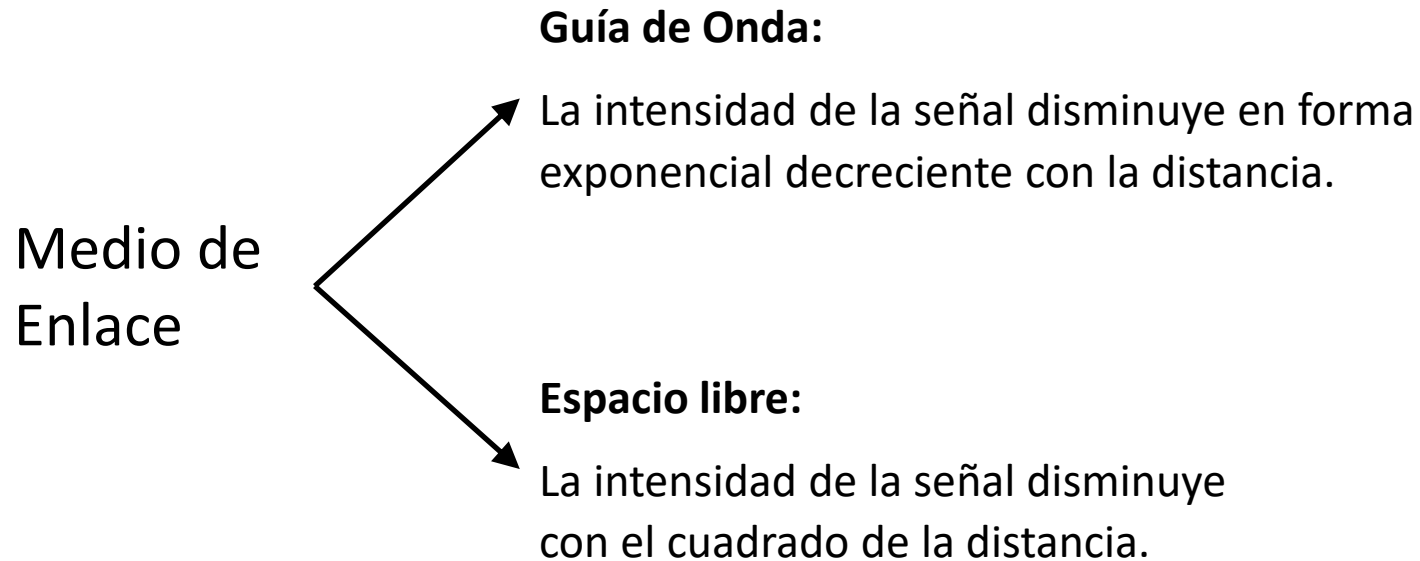
+En larga distancia no acumula ruido/ Puede corregir errores(FEC)

+Resistencia a multitrayectoria

-Requiere mas BW

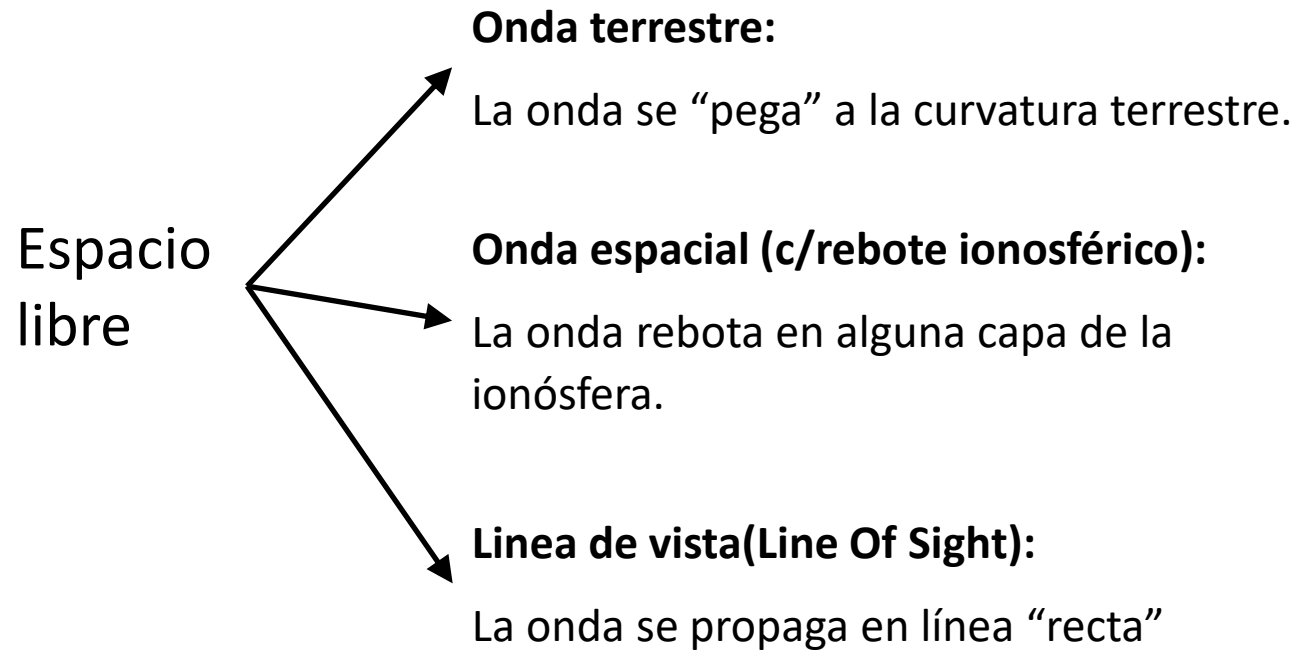
-Requiere sinc

Componentes de un SC/Canal/Medio

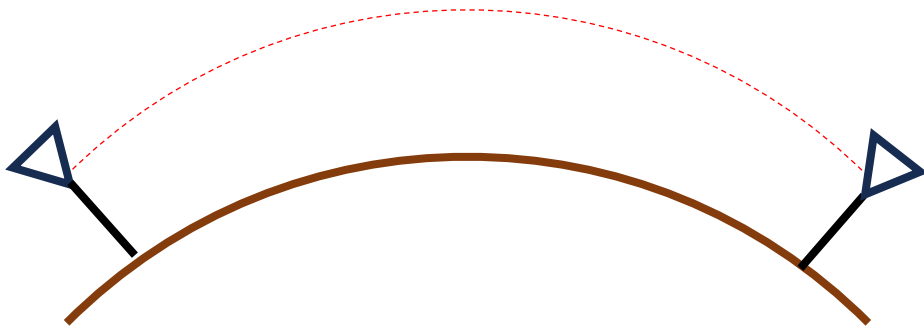


$$C = B \cdot \log_2(1 + \mathbf{S/R})$$

Espacio Libre



Onda Terrestre



Onda terrestre:

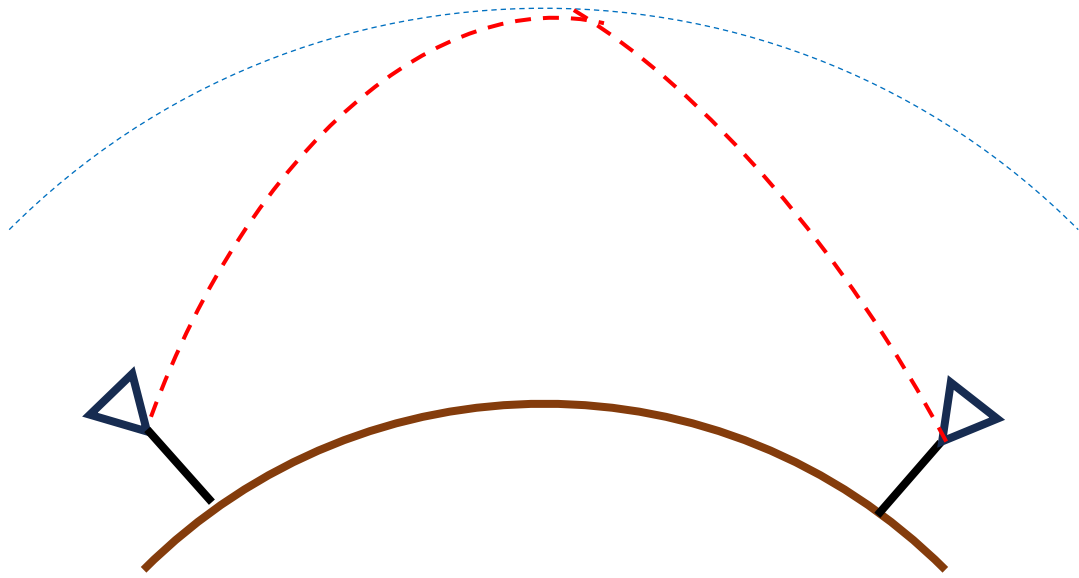
El suelo actúa como condición de contorno.

$F < 2\text{MHz}$

Frecuencias bajas => antenas grandes

El suelo es un conductor imperfecto => disipa potencia

Onda Espacial



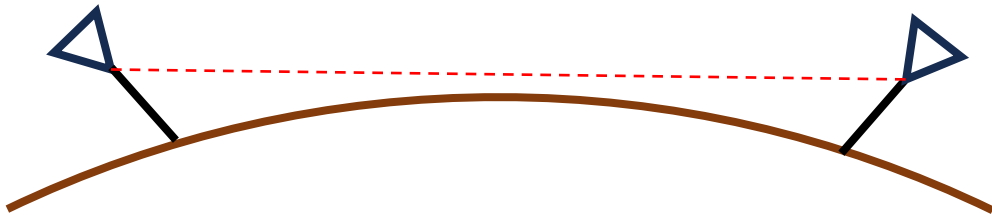
Onda Espacial (rebote ionosférico):

Las ondas se reflejan en alguna capa de la ionosfera.

$10 < f < 30 \text{ MHz}$

El índice de refracción cambia con la altura y curva las trayectorias (ley de Snell)

Linea de vista



Linea de vista(Line Of Sight):

La onda se propaga en línea “recta” (se desvía por refracción).

Las antenas deben “verse” (despejamiento)

$F > 30\text{MHz}$.

Satélites y enlaces de micro ondas

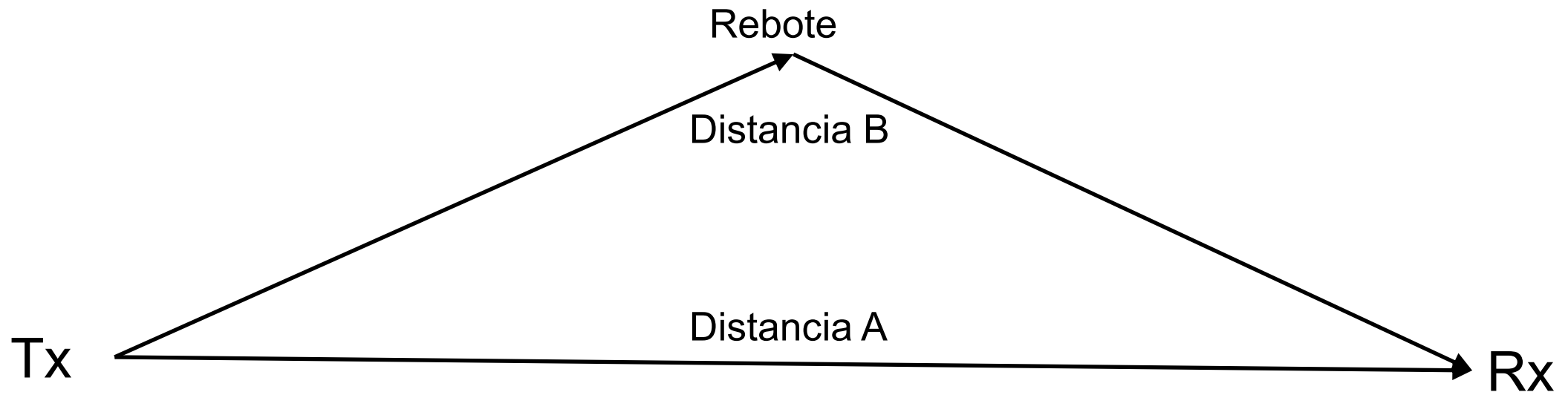
Problema con la curvatura terrestre=>

mástiles/torres=> \$\$\$\$

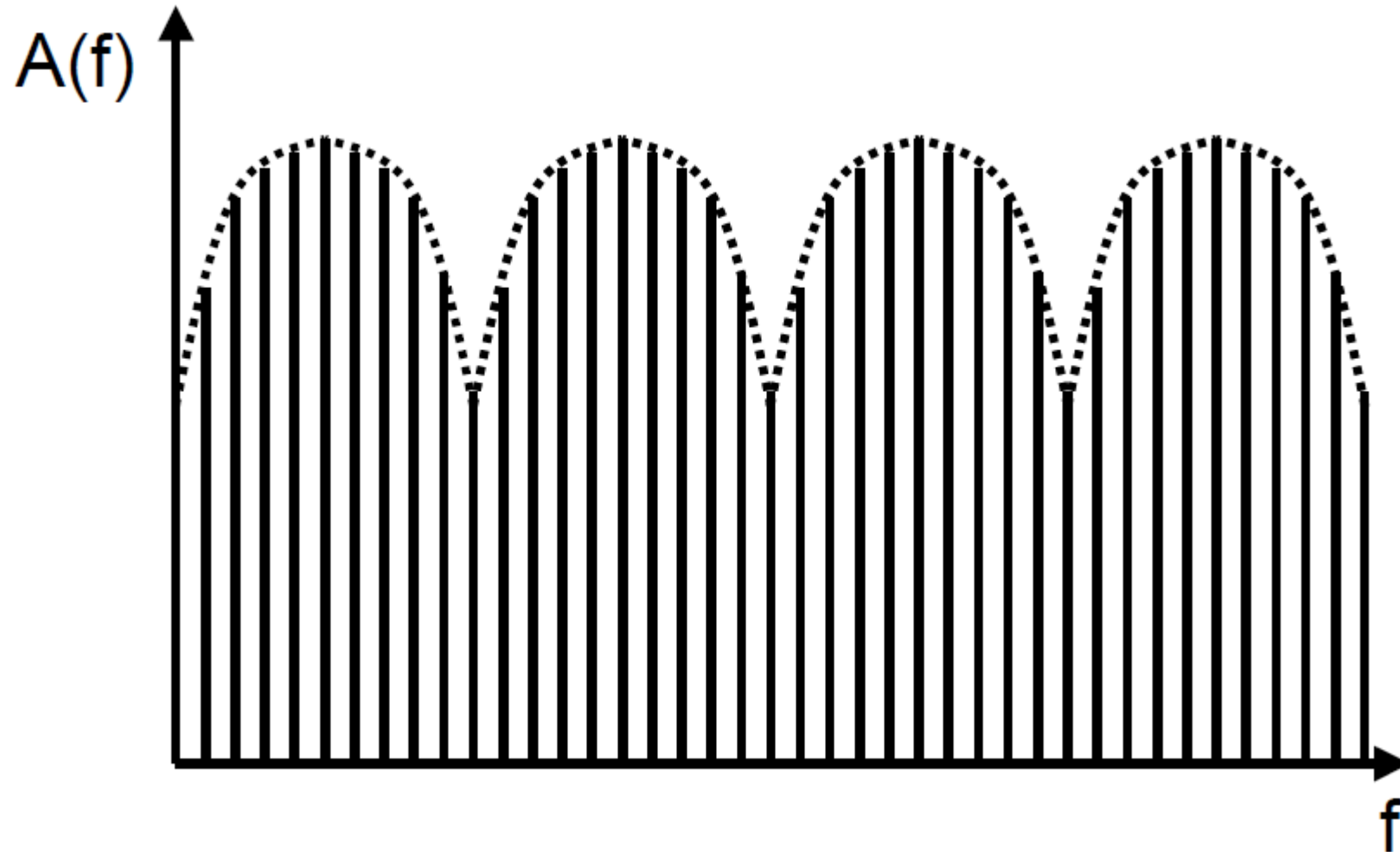
La refracción provoca desviaciones del haz=>

estratificación=> “ductos”

Multitrayecto



Fading selectivo



Se necesita redundar y distribuir la información

Señal fantasma en TV analógica



Wikipedia

Uso del Espectro (recurso escaso)

Internacional: ITU

ITU-R asigna f para uso eficiente

ITU-T Norma Telecomunicaciones en cuestiones técnicas, operativas, etc

ITU-D asesora

Nacional: ENACOM

CABFRA (Cuadro Asignación Frecuencias)

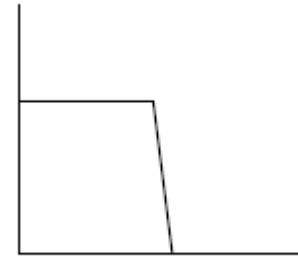
Todo equipo que pueda afectar espectro debe ser HOMOLOGADO

=> CITEI (Centro de Investigaciones en Telecomunicaciones, Electrónica e Informática)

Señales

Señales

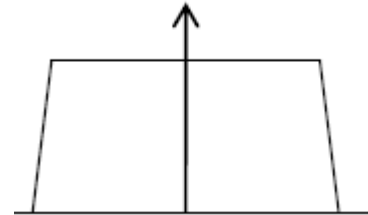
Banda Base: es aquella cuyo módulo de espectro está centrado en el origen.



Banda base

Típico señales modulantes.

Pasa banda: es aquella cuyo módulo de espectro está centrado en el Una frecuencia alta.



Típico señales luego de la modulación.

Señales

La transmisión puede hacerse en banda base o modulando una portadora, la transmisión en banda base se realiza casi siempre sobre canales formados sobre líneas de transmisión, los sistemas actuales de este tipo de transmisión son las redes de área local para sistemas informáticos. Cuando se utiliza un canal radioeléctrico es muy difícil la transmisión en banda base, primero porque el tamaño de las antenas tiene que ser al menos del orden de un cuarto de longitud onda para que su eficiencia sea alta

FC >> para adaptar al medio. Propagación, regulación, tamaño de antenas.

PARSEVAL

$$\int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |X(\omega)|^2 d\omega = \int_{-\infty}^{\infty} |X(2\pi f)|^2 df$$

Modulación

Modulamos para adaptar al medio.

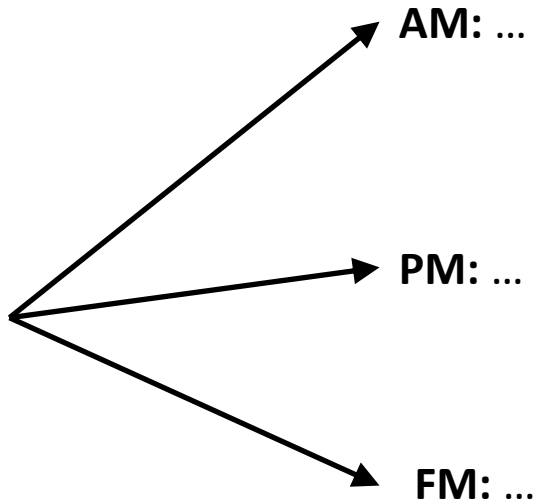
Propagación, regulación, tamaño de antenas. O transductores. Espectro disponible/asignado/optimo.

Traslada en frecuencia.

Procesamiento de señales(expande, agrega continua, código de línea para quitar continua)

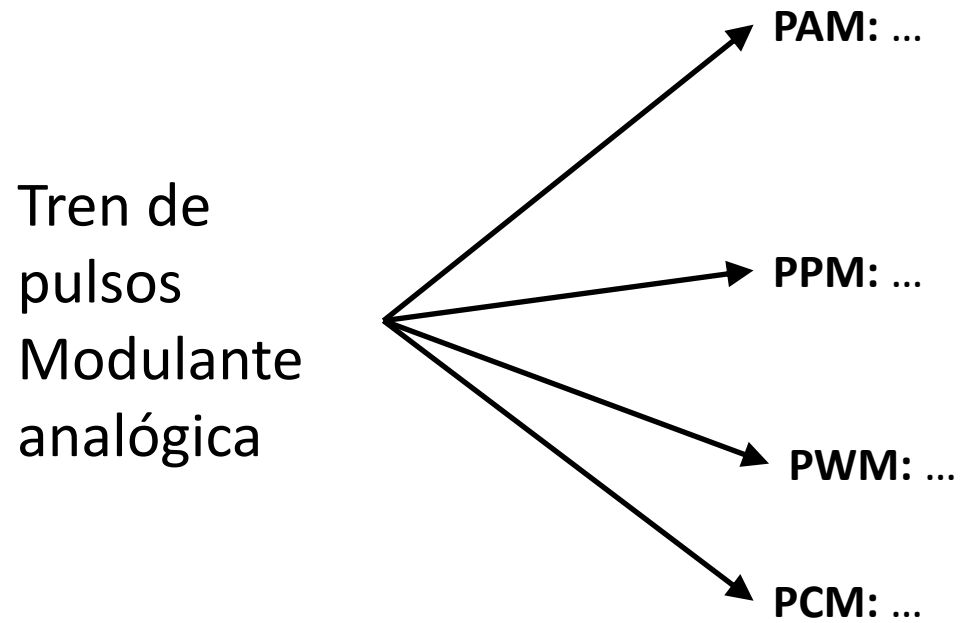
Modulación

Portadora
senoidal
Modulante
analógica



Condición $F_C > 10 \times F_{mm}$

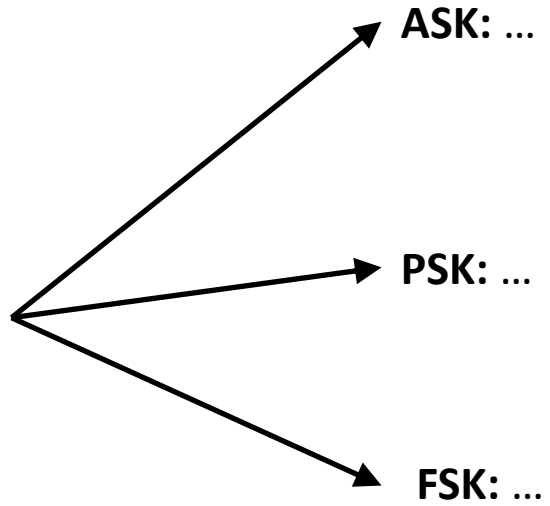
Modulación



Señal continua a discreta en el tiempo: muestreo...FS >2Fm
PCM: tren de BITS... info CODIFICADA en forma discreta

Modulación

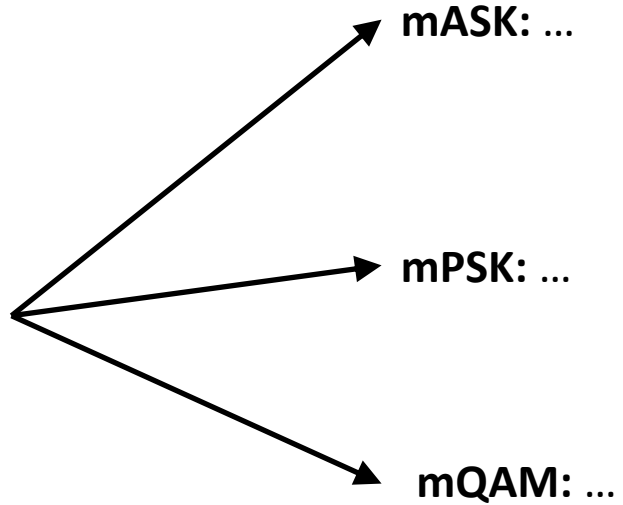
Portadora
senoidal
Modulante
Binaria



1Bit/Simbolo

Modulación

Portadora
senoidal
Modulante
m-aria



n Bit/Simbolo

OFDM

>>bits/símbolo...OFDM

Multiples subportadoras mQAM o mPSK

Pilotos.

Mitigacion multitrayectoria

Privacidad

Espectro expandido

>>> uso de espectro...SS...DSSS. FHSS. Lora

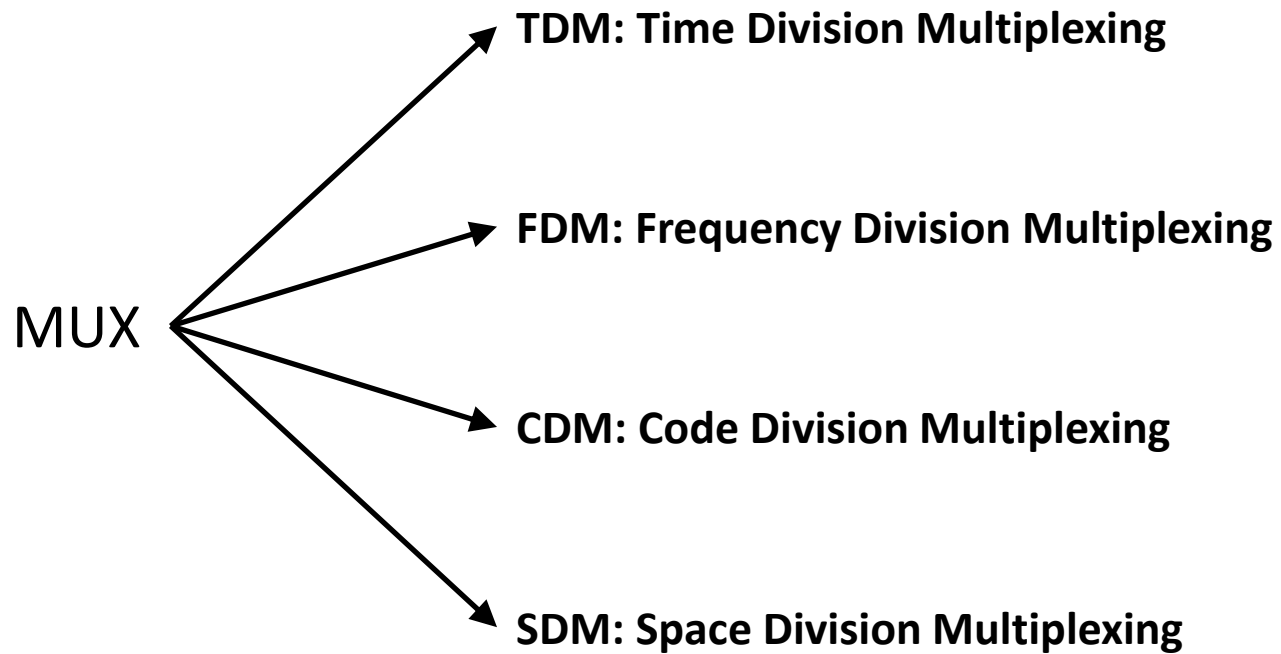
Alineación de código.

Mitigación multitrayectoria

Privacidad

Multiplexación

Formas de compartir un medio



Multiplexación

Las funciones de transformación que se aplican al mensaje deben ser ORTOGONALES

$$\int_a^b f_k(x)f_l(x)dx = 0.$$

Espectro

$$F(f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

Funcion
compleja de
variable real

Propiedades (que usaremos)

Linealidad

$$\mathbb{F} [\alpha f(t) + \beta g(t)] = \alpha F(\omega) + \beta G(\omega)$$

Traslación en el tiempo

$$\mathbb{F} [f(t - t_0)] = F(\omega) e^{-j\omega t_0}$$

$$\mathcal{F}\{f(t) \cdot g(t)\} = \frac{1}{2\pi} (F(\omega) * G(\omega))$$

$$\text{sen } x = \frac{e^{ix} - e^{-ix}}{2i}$$

$$\text{cos } x = \frac{e^{ix} + e^{-ix}}{2}$$

Espectro periodicas

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n e^{jn2\pi f_0 t}$$

$$A_n = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) e^{-jn2\pi f_0 t} dt$$

$$F(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n \delta(f - nf_0)$$

$$\text{sen } x = \frac{e^{ix} - e^{-ix}}{2i}$$

$$\bullet \delta(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{i\omega t} dt$$

Parseval

$$\int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |X(\omega)|^2 d\omega = \int_{-\infty}^{\infty} |X(2\pi f)|^2 df$$

$$\frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} |x(t)|^2 dt = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |A_n|^2$$

Periodicas

Convolución

$$(f * g)(t) \doteq \int_{-\infty}^{\infty} f(\eta)g(t - \eta)d\eta$$