

## **LABORATORIO DE TEORÍA DE COMUNICACIONES 1 – PARTE TEÓRICA**

### **TEMA: ANÁLISIS DE RUIDO**

**2024**

## LABORATORIO DE TEORÍA DE COMUNICACIONES 1 – TEL133

|                     |   |           |          |
|---------------------|---|-----------|----------|
| LABORATORIO NÚMERO: | 7 | SEMESTRE: | 2024 – 1 |
|---------------------|---|-----------|----------|

### TEMA: ANÁLISIS DE RUIDO



#### Objetivos de aprendizaje:

- Analizar el ruido en las señales moduladas AM y FM.
- Medir la relación señal a ruido de un sistema de comunicación.
- Analizar los tipos de ruido de acuerdo a su densidad espectral de potencia.

| Actividades | Descripción           | Duración | Puntaje |
|-------------|-----------------------|----------|---------|
| 1           | Prueba de entrada     | 10 min.  | 6       |
| 2           | Desarrollo de la guía | 95 min.  | 8       |
| 3           | Evaluación oral       | 15 min.  | 6       |

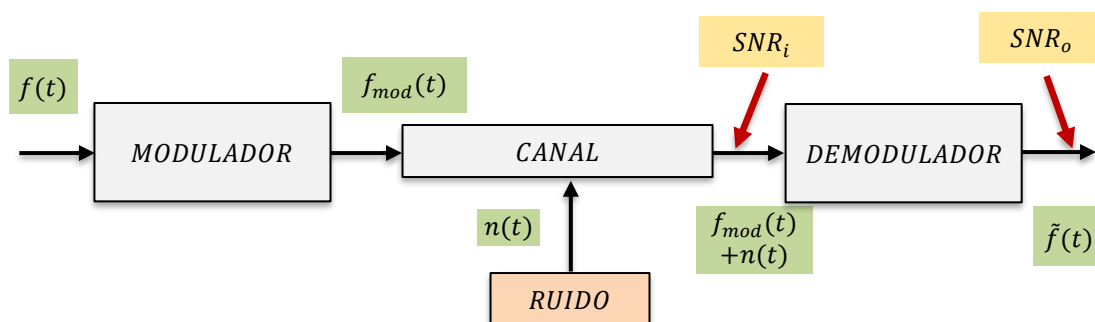


El contenido de esta guía es de carácter estrictamente personal y aplicable solo para el curso de Teoría de Comunicaciones 1 (TEL133). Cualquier tipo de plagio será sancionado de acuerdo con el reglamento disciplinario de la PUCP.

## ANÁLISIS DE RUIDO

### 1. RUIDO

Se define “**ruido**” como cualquier perturbación o señal eléctrica no deseada presente en la banda útil de un sistema de comunicación. Es el factor principal que limita el desempeño de un sistema de comunicaciones y por lo general se presenta en el canal o medio de transmisión.



El fenómeno de ruido siempre está presente en un sistema de comunicación. Por lo general es de carácter aditivo y sus efectos van desde una disminución de la calidad de la información recibida hasta la pérdida total de dicha información. Por ello, el ruido debe ser analizado para poder disminuirlo o controlarlo.

### 2. CLASIFICACIÓN DEL RUIDO

Se establecen los siguientes tipos de ruido:

#### 2.1 Ruido no correlacionado: independiente de la señal

##### a) Ruido externo:

Ocurre debido a fuentes externas. Incluye los acoplamientos electromagnéticos que aparecen en las fuentes de luz, señales de radio, radar, etc. También comprende el ruido espacial proveniente de rayos, descargas atmosféricas, ruido solar, ruido cósmico, etc.

Este ruido puede eliminarse utilizando algún tipo de apantallamiento, filtrado, cambio de localización física de los equipos, etc. En el caso del ruido espacial se puede eliminar modulando la señal en frecuencias donde haya menos ruido.

Asimismo, las fuentes de ruido externo más conocidas son:

- *Ruido atmosférico*: ruido de precipitación
- *Ruido extraterrestre o del espacio profundo*
  - Ruido Solar.
  - Ruido Cósmico o de cuerpo negro.
- *Ruido hecho por el hombre*: ruido industrial

### **b) Ruido externo:**

Ocurre debido a fuentes internas; es decir, en los mismos elementos del sistema de comunicación. Se clasifican en:

- Ruido Blanco: ruido térmico o de resistencia y ruido de disparo.
- Ruido Rosado: ruido flicker  $1/f$ , burst o de avalancha.
- Otros: ruido de tiempo de tránsito, ruido browniano.

## **2.2 Ruido no correlacionado: independiente de la señal**

- Ruido de distorsión armónica.
- Ruido de intermodulación.
- Ruido de distorsión de amplitud y fase.
- Ruido de cuantización: es inherente al proceso de conversión A/D, debido a que en este proceso la señal analógica continua se convierte en un número discreto de valores y aparece un error al aproximar la señal de esta forma. Este ruido disminuirá si aumentamos el número de niveles del cuantizador.

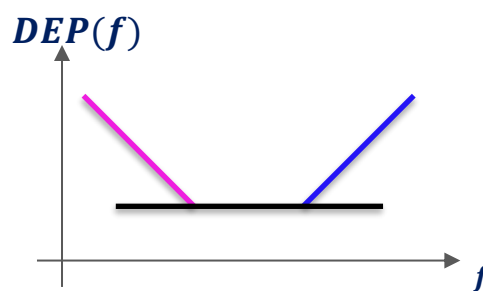
Todos estos tipos de ruido se pueden presentar combinados, es decir, es posible encontrar ruido térmico y flicker en un mismo componente.

## **3. DENSIDAD ESPECTRAL DE POTENCIA DE RUIDO**

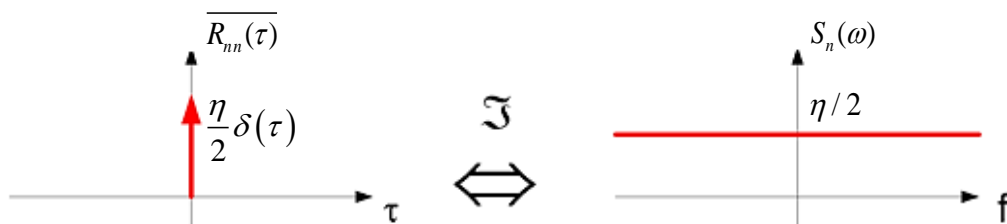
El ruido además puede ser clasificado por su densidad espectral de potencia de la siguiente forma:

- **Ruido Blanco:** con densidad espectral de potencia constante; es decir, es independiente de la frecuencia.
- **Ruido Rosado:** con densidad espectral de potencia inversamente proporcional a la frecuencia.
- **Ruido Azul:** con densidad espectral de potencia directamente proporcional a la frecuencia.

A continuación, vemos una representación de la DEP de los 3 casos mencionados anteriormente:



En el caso particular de la DEP del ruido blanco, este planteamiento nos lleva a una conclusión interesante sobre la relación que existe entre la DEP de ruido y su autocorrelación, que se puede ver en el siguiente gráfico:



Además, aquí se aprecia que el cálculo de la potencia para el ruido desde  $-\infty$  hasta  $+\infty$  es  $\infty$ , lo que nos llevará a hacer el cálculo en un intervalo de frecuencias determinado:

$$N = \eta \times B_{tx} \quad (W)$$

#### 4. RELACIÓN SEÑAL A RUIDO

Se define como la relación entre la potencia de la señal  $S$  y la potencia del ruido  $N$  de la siguiente forma:

$$SNR = \frac{\text{Potencia de la señal}}{\text{Potencia del ruido}} = \frac{S}{N}$$

$$SNR[dB] = 10 \log \left( \frac{S}{N} \right) \text{ dB}$$

En la siguiente tabla se muestran los rangos típicos de valores SNR para comunicaciones inalámbricas con su respectiva descripción cualitativa de la comunicación establecida:

Tabla 1. Diversos valores de SNR para comunicaciones inalámbricas

| SNR           | Descripción de la comunicación                                     |
|---------------|--|
| 5 dB a 10 dB  | Debajo del nivel mínimo requerido para establecer la comunicación. |
| 10 dB a 15 dB | Rango mínimo para una comunicación no confiable.                   |
| 15 dB a 25 dB | Niveles aceptables para una comunicación pobre.                    |
| 25 dB a 40 dB | Buena.   |
| > 40 dB       | Excelente.   |

##### 4.1 SNR para el sistema AM-DSB-LC

Considerando un ruido pequeño, se tendrá la relación de señal a ruido en el demodulador (detector de envolvente) AM DSB-LC.

A la **entrada** del demodulador:

$$SNR_i = \frac{A_c^2(1 + m^2P)}{2N_o}$$

A la **salida** del demodulador:

$$SNR_o = \frac{A_c^2 m^2 P}{2N_o}$$

Donde:

$A_c$ : Amplitud de la portadora

$m$ : Índice de modulación

$P$ : Potencia promedio del mensaje  $A_m^2/2Z$

$A_m$ : Amplitud del mensaje

$Z$ : Impedancia de salida del demodulador

$N_0$ : Potencia promedio del ruido

#### 4.2 SNR para la modulación FM WB (banda ancha)

La potencia a la entrada del demodulador FM depende sólo de la amplitud de la portadora. La medida de la SNR se efectúa para la FM de banda ancha.

A la **entrada** del demodulador:

$$SNR_i = \frac{A_c^2}{2N_0}$$

A la **salida** del demodulador:

$$SNR_o = \frac{3A_c^2\beta^2P}{2N_0}$$

Donde:

$A_c$ : Amplitud de la portadora

$\beta$ : Índice de modulación

$P$ : Potencia promedio del mensaje  $A_m^2/2Z$

$A_m$ : Amplitud del mensaje

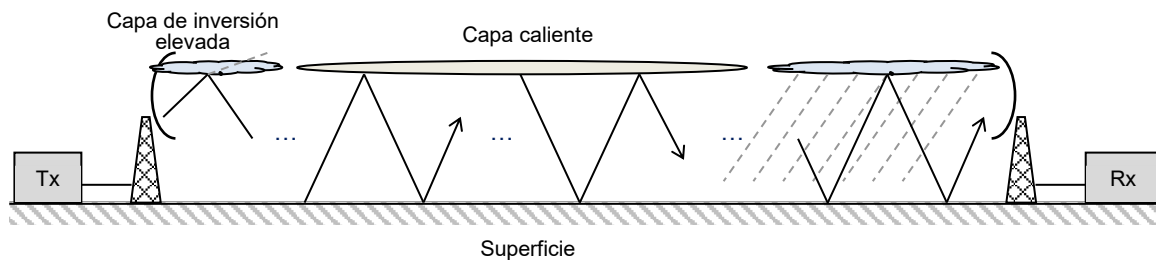
$Z$ : Impedancia de salida del demodulador

$N_0$ : Potencia promedio del ruido

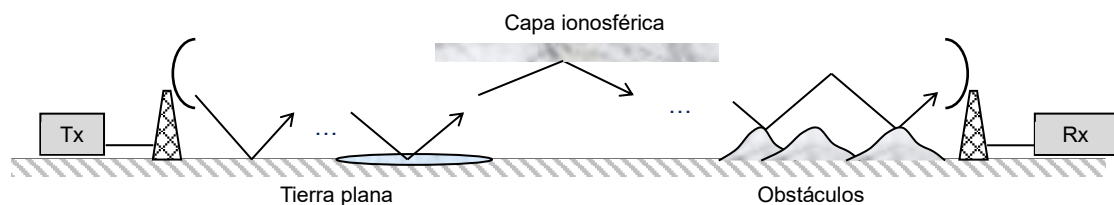
### 5. DESVANECIMIENTO POR MULTITRAYECTO O FADING

Fenómeno observado en trayectorias relativamente poco despejadas de obstáculos y condicionado a las variaciones climáticas del momento como vientos, tormentas, lluvias, etc. y que introduce pérdidas o desvanecimientos en el nivel de señal. Por sus causas el fading puede ser:

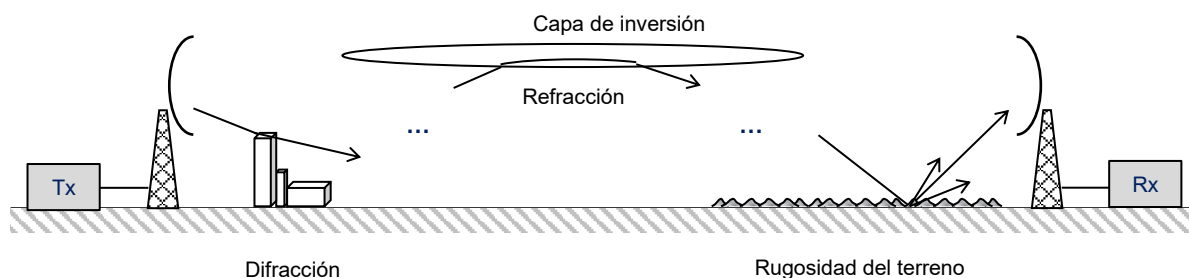
- **De 1er tipo: debido a causas atmosféricas** como el desenfoque del haz radioeléctrico (una capa de inversión elevada origina una reflexión parcial del haz), propagación de ducto (una capa de aire caliente o de menor densidad produce que el haz 'viaje' grandes distancias entre un ducto formado por la capa caliente y la superficie de la Tierra) y fenómenos de absorción (atenuación debida a la lluvia, niebla, etc.)



- **De 2do tipo: tiene como origen el fenómeno multicamino** ("multipath"), varios trayectos de propagación debido a reflexiones sobre: tierra plana (zonas llanas, desérticas y sobre todo el mar), obstáculos (cerros, quebradas), capas de inversión elevada (ionósfera, tropósfera), etc. La señal recibida es entonces la resultante de la superposición de las diferentes componentes por trayecto. La diferencia de fase es más importante cuando más pequeña es la longitud de onda.



- **De 3er tipo: de origen variado** (difracción, refracción, rugosidad, imperfecciones de las antenas). Producen componentes de amplitudes muy pequeñas y de efecto despreciable sobre el campo recibido. Es de consideración en ondas de frecuencias altas y al producirse con intensidad desvanecimientos de los tipos anteriores.



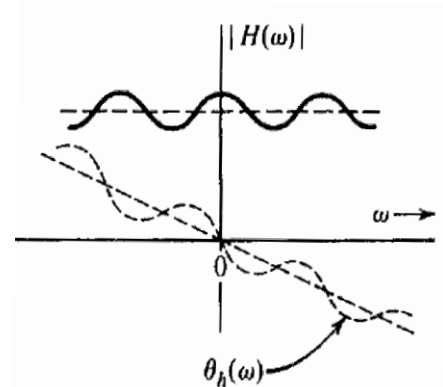


## 6. DISTORSIÓN DE CANAL

La distorsión de una señal puede producirse a través de un canal, de características no ideales ya sea de magnitud o fase o ambos. Puede ser:

### 6.1 Distorsión lineal

La distorsión lineal es aquella que no modifica las componentes espectrales de la señal sobre la que se aplica. Esto es, la banda ocupada por la señal es la misma con y sin distorsión.

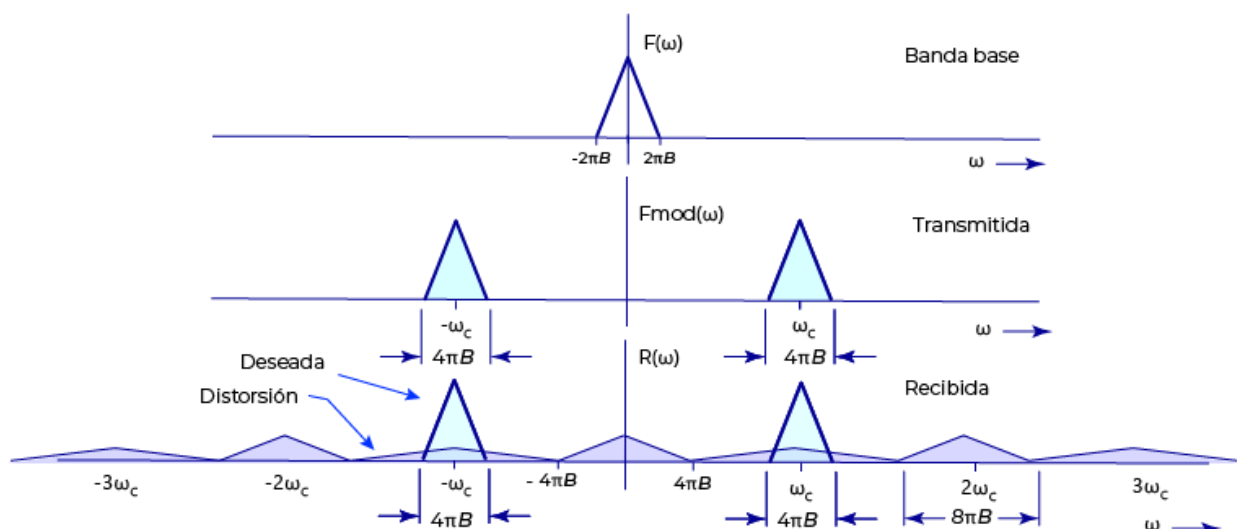


### 6.2 Distorsión no lineal

La distorsión no lineal es aquella que genera componentes de frecuencias nuevas, que no existían en la señal original. En los sistemas no lineales no es posible definir una función de transferencia en sentido clásico, y se aproximan mediante una característica de transferencia definida como una relación entrada/salida polinómica.

$$r(t) = a_0 + a_1 f(t) + a_2 f^2(t) + a_3 f^3(t) + \dots + a_k f^k(t) + \dots$$

Este tipo de distorsión ocasiona no solo distorsión en la señal sino también interferencia con los canales vecinos, debido a la dispersión del espectro como se observa en la figura siguiente:



*Efecto de un canal no lineal sobre una señal modulada*

## **7. INTERFERENCIA**

Es la contaminación de la señal durante la transmisión, debido a señales que se encuentran a frecuencias próximas a las de la señal transmitida. Por lo general, las señales interferentes son impulsos de corta duración y amplitud más grande que la señal principal.

La interferencia básicamente es producida por el hombre, pero también existen otras fuentes como las condiciones atmosféricas y el clima. Algunos ejemplos son los interruptores eléctricos, las luces de neón, el sistema de encendido del automóvil, los rayos, etc. La interferencia puede ser irradiada como interferencia electromagnética (EMI), o conducida sobre las líneas eléctricas, en el caso de los equipos con alimentación de corriente alterna (AC). Existe otro tipo de interferencia como la interferencia de canales adyacentes que es muy común en áreas metropolitanas donde las estaciones (de AM o FM por ejemplo) son asignadas en frecuencias muy cercanas una de la otra y por otro lado, las radios sin licencia (piratas).

## **8. EFECTO CAPTURA**

Un sistema FM tiene la habilidad de minimizar los efectos de señales no deseadas como el ruido, pero esto también se puede aplicar a interferencias producidas por otras señales FM con frecuencia portadora cercana a la frecuencia portadora de interés. La eliminación de la interferencia funciona siempre que esta interferencia sea más débil que la señal deseada. Cuando la interferencia es más potente, el sistema se engancha siempre a la frecuencia portadora correspondiente a la señal FM más potente y elimina a la más débil. Cuando a la entrada del receptor hay varias señales igualmente potentes y cercanas a la frecuencia portadora de interés, el receptor fluctúa entre ellas (demodulará aquella que en ese instante de tiempo sea algo más potente). Este fenómeno se conoce con el nombre de efecto captura.

A diferencia de los receptores de AM, los de FM y PM tienen la capacidad de diferenciar entre dos señales recibidas con la misma frecuencia. Así, si se reciben dos estaciones en forma simultánea, con la misma o casi la misma frecuencia,

el receptor se engancha a la estación más intensa y suprime la más débil en términos de potencia. Esta supresión se logra mediante los limitadores de amplitud en el receptor FM de tipo detector de pendiente o discriminador de frecuencia.

A menudo se define un radio de captura en las especificaciones del receptor, que permite reducir el nivel de una señal no deseada si es que se encuentra cierta cantidad de decibelios por debajo de la señal deseada. Por ejemplo, el radio de captura puede ser 2 dB para un sintonizador típico, lo que producirá una reducción de 30 dB en la señal no deseada. En otras palabras, si la señal deseada es por lo menos 2 dB más fuerte que la señal no deseada, el nivel de salida de esta última se reducirá en 30 dB.

