

# Señales Aleatorias y Modulación

## Examen - Parte 1

Instituto de Ingeniería Eléctrica

24 de Febrero de 2021

### Problema 1

Se desea analizar el sistema de comunicación de la Figura 1a. Este sistema consiste de una estación base transmisora (*base Tx*), conectada por un cable de 10 m con la torre de transmisión (*torre Tx*), luego un enlace inalámbrico de 20 km con la torre de recepción (*torre Rx*) y finalmente otro cable de 10 m a la estación base de recepción (*base Rx*).

El mensaje a transmitir, en este caso una señal de voz, tiene potencia  $S_x = \frac{1}{2}$  y se modela con la densidad espectral de potencia  $G_x(f)$  de la Figura 1b. La *base Tx* enmascara la señal usando el sistema de la Figura 1c y la transmite en bandabase a la *torre Tx*. La *torre Tx* modula la señal en DSB con amplitud  $A_c = 100$  y frecuencia  $f_c = 50$  MHz, y la transmite a la *torre Rx*. La *torre Rx* demodula la señal en DSB y la envía en bandabase a la *base Rx*, donde finalmente es desenmascarada para su detección.

La atenuación en los cables es de 0.1 dB/m y se desprecia el ruido introducido, mientras que en el aire se considera la pérdida de Friis<sup>1</sup>. Cada etapa de recepción (*torre Tx*, *torre Rx* y *base Rx*) tiene como primer bloque un filtro cuyo soporte corresponde al de la señal que espera recibir y cuya ganancia compensa la atenuación del tramo previo. Se asume que cada receptor introduce un ruido AWGN con densidad espectral de potencia  $G_n(f) = \eta/2$ , con  $\eta = 10^{-13}$  W/Hz. También se asume que tanto el bloque enmascarador como el desenmascarador mantienen a la salida la potencia de la entrada.

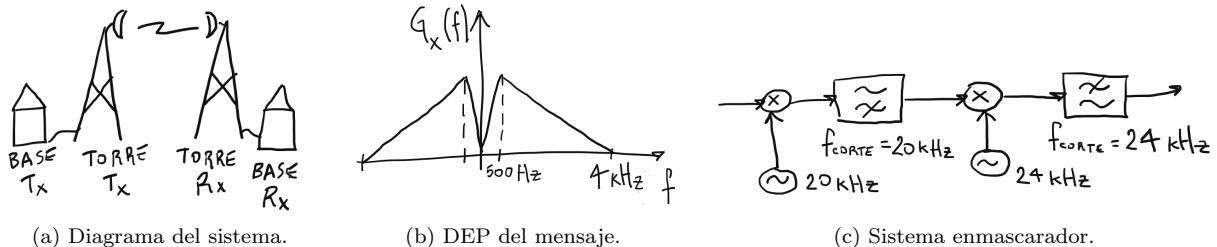


Figura 1

- (a) Realizar un diagrama de bloques del sistema, indicando las distintas señales de ruido a considerar.
- (b) Graficar a la salida de cada bloque correspondiente a *base Tx*, *torre Tx* y *torre Rx* la densidad espectral de la componente del mensaje.
- (c) Hallar la potencia de señal ( $P_D$ ) que se obtiene en detección en *base Rx*.

Para calcular las componentes de ruido en detección en *base Rx* debido al ruido introducido en la recepción de los distintos tramos, es necesario saber cómo se implementa el desenmascarador.

- (d) Diseñar el sistema a implementar en *torre Rx* para desenmascarar de forma correcta la señal.

Considerar para lo que resta, la implementación del desenmascarador propuesta en la parte anterior.

<sup>1</sup>Pérdida en espacio libre de Friis:  $L(d) = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4\pi f d}{c}\right)^2$  con  $c = 3 \times 10^8$  m/s.

- (e) Hallar las potencia de ruido  $N_D^1$ ,  $N_D^2$  y  $N_D^3$  que se obtiene en detección en *base Rx*, debido los ruidos introducidos en recepción en *torre Tx*, *torre Rx* y *base Rx* respectivamente.
- (f) Hallar la potencia de ruido total en detección ( $N_D$ ) en *base Rx* y la relación señal a ruido ( $SNR_D$ ).

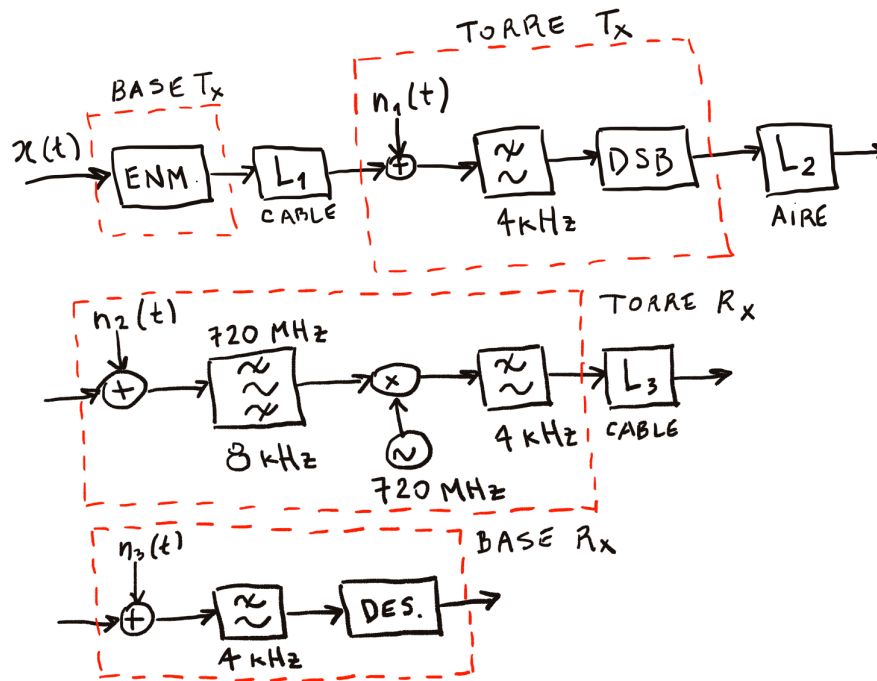
## Pregunta 1

Modulación FM.

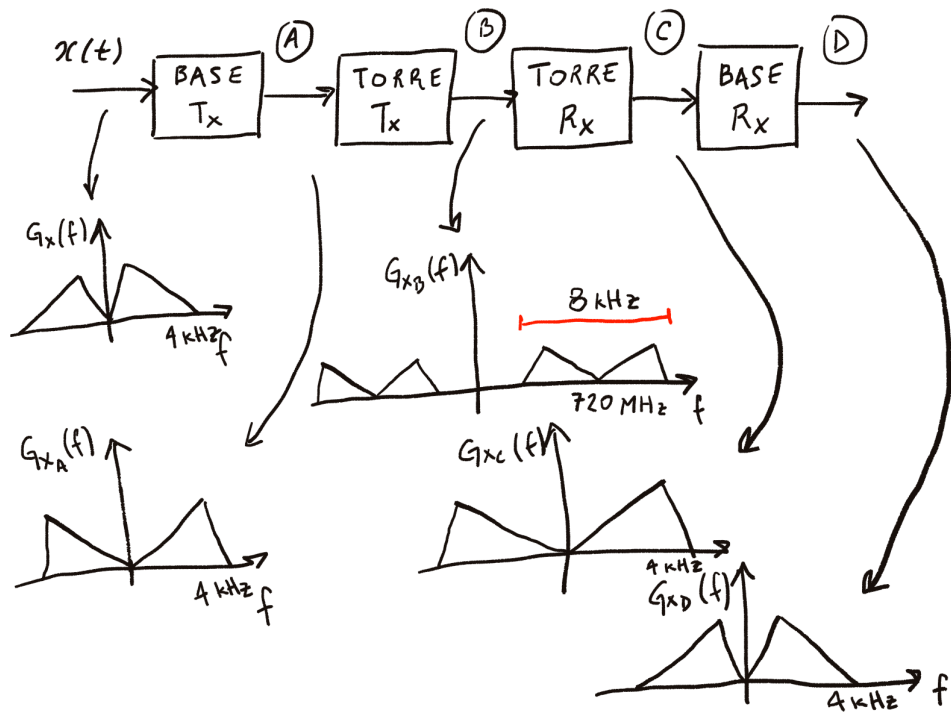
1. Dar la expresión temporal de una señal genérica  $x(t)$  modulada en FM e indicar su potencia.
2. Dar la expresión de la regla de Carson para la estimación del ancho de banda y explicar en qué se basa dicho cálculo.
3. Esbozar la señal temporal y el espectro de un tono modulado en FM (es decir,  $x(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$ ). Indicar la condición que se debe cumplir para considerar que se trata de FM de banda angosta.

# Solución

## Problema 0



(a)



(b)

(c) La potencia de señal detectada en base Rx es:

$$P_D = A_c^2 S_x / 4 = 61 \text{ dBm}$$

(d) Para desenmascarar la señal se puede usar el mismo bloque que para enmascarar.

(e) Para hallar las distintas potencias de ruido, se debe analizar en cada caso el camino que sigue cada componente de ruido, desde que se introduce al sistema hasta la salida. De esta forma, podemos ver que en cada caso queda lo siguiente:

$$N_D^1 = \eta W G_1 / 4 = \eta W L_1 / 4 = -69 \text{ dBm}$$

$$N_D^2 = \eta 2W G_2 / 4 = \eta 2W L_2 / 4 = 20 \text{ dBm}$$

$$N_D^3 = \eta W G_3 / 4 = \eta W L_3 / 4 = -69 \text{ dBm}$$

Notar que:

- $\eta = 10^{-13} \text{ W/Hz}$ .
- $W = 4000 \text{ Hz}$  y  $2W = 8000 \text{ Hz}$ .
- $G_1 = L_1 = G_3 = L_3 = 1 \text{ dB}$ , dado por los 10 m de cable con atenuación 0.1 dB/m.
- $G_2 = L_2 = \left(\frac{4\pi f d}{c}\right)^2$  con  $f = 50 \text{ MHz}$ ,  $d = 15 \text{ Km}$  y  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ , resultando en  $L_2 \approx 90 \text{ dB}$ .

(f) La potencia de ruido total en detección corresponde a la suma de las potencias de todas las componentes de ruido, ya que son independientes. Por lo tanto:

$$N_D = N_D^1 + N_D^2 + N_D^3 \approx N_D^2 = 20 \text{ dBm}$$

Finalmente la relación señal a ruido en detección queda:

$$SNR_D = P_D - N_D = 41 \text{ dB}$$

## Pregunta

Ver teórico.