

Instrucciones

Para conseguir el aprobado por evaluación continua:

1. Se deberán entregar los ejercicios P1-P15 **manuscritos** en pdf, indicando de forma clara la solución al mismo.

El nombre del fichero tiene que seguir el siguiente formato: Basicos_nia_del_alumno.pdf (ej. Basicos_100388958.pdf)

2. Debe adjuntarse **la hoja excel indicando los apartados realizados por el alumno en cada ejercicio**. Se recomienda hacerlos todos, pero no es estrictamente necesario para obtener el aprobado de la asignatura (las puntuaciones de los ejercicios están indicadas en el patrón excel). El apartado resuelto se marcará como “1” y el no resuelto como “0”. El nombre del fichero excel será SyCT_nia.xlsx (p.ej: SyCY_00388958.xlsx)

3. Los ejercicios extraordinarios, marcados como E1-E10 son opcionales y constituyen la parte de laboratorio de la asignatura. Es necesario resolver al menos 4 para poder optar a un notable en la misma. Podrán hacerse los códigos en Matlab, Python o R.

Los resultados de los experimentos se entregarán en un fichero con el formato: Extra_nia.pdf (p.ej: Extra_100388958.pdf) y los códigos desarrollados en ficheros de texto se enviarán comprimidos en un fichero con el nombre Ecod_nia.zip (ej. Ecod_100388958.zip)

El apartado resuelto se marcará en el fichero excel como “1” y el no resuelto como “0”.

En resumen, todo alumno tiene que subir a AG y enviar a un email (subject SyCT entrega) a cbousono@ing.uc3m.es, antes de la semana previa al examen (examen= 11 de enero, **límite de entrega= 4 de enero):**

- **Mínimo** para aprobar en Eva. Cont.: Basicos_nia.pdf + SyCT_nia.xlsx
- Extra (si se quiere optar a notable): Extra_nia.pdf + Ecod_nia.zip

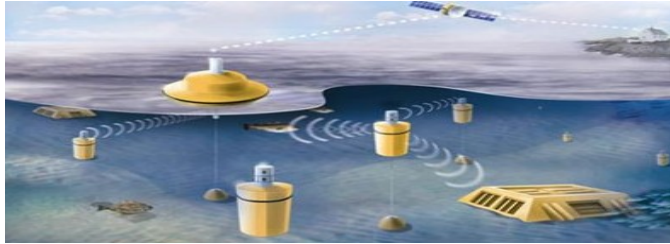
NOTA: la máxima nota que puede sacarse con los ejercicios básicos es un 6.5. La máxima nota que puede sacarse con los ejercicios básicos y extras es un 8.5

Si quiere optarse a un sobresaliente, el alumno debe comunicarlo antes de diciembre al profesor (cbousono@ing.uc3m.es) para hacer un trabajo especial.

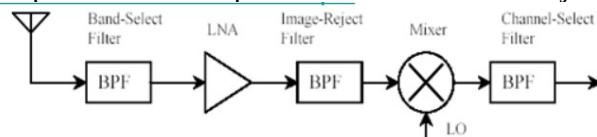
P1

Se tiene un sistema de sensores en la superficie de un lago con 250 metros de profundidad máxima. Los sensores se disponen en una malla rectangular de lado L . Bajo la superficie del lago se mueve un pequeño *drone* acuático que toma 6 imágenes por minuto con una resolución de 50×30 píxeles, que son cuantificados con 8 bits en una escala de grises. La probabilidad de error máxima tolerable para este video es de 10^{-4} . Las imágenes se transmiten a los sensores de superficie a través de una señal acústica. Esa imagen se reenvía después a un satélite de órbita baja (a 1000 Km sobre la superficie terrestre) que actúa de relé para una conexión de longitud total de 2500 Km (asuma que el satélite está en la mitad del trayecto).

Ilustración *aproximada* del escenario:
(atiéndase al texto para la resolución)



- 1) Determine la tasa de transmisión necesaria en bits por segundo. Determine la mínima frecuencia portadora acústica para que se cumpla la propiedad de que la modulación es de “ancho de banda *estrecho*”.
- 2) Discuta, usando las gráficas, ventajas e inconvenientes de la elección entre la modulación Q-PSK y la modulación 8-PSK para su uso en la comunicación *drone-sensor*.
- 3) Supongamos que se ha elegido la modulación 8-PSK y una portadora de 40 KHz. Calcule el ancho de banda necesario para transmisión acústica. Calcule la longitud de onda.
- 4) Dibuje la geometría de la propagación acústica para una celda de 4 sensores y determine la distancia máxima, en función de L , entre el *drone* y el sensor de tal forma que se reparta la cobertura de todo el volumen de manera uniforme entre los sensores.
- 5) Asumiendo que la temperatura de ruido total en el sensor acústico es de 10,000 K, que las antenas acústicas pueden considerarse isotropas y que la potencia transmitida del *drone* es de -10 dBm, calcule razonadamente la distancia máxima entre sensores, L , suponiendo que sólo existe el tramo acústico de transmisión.
- 6) Si se observa sobre el valor de la potencia recibida una variación de potencia aleatoria que puede modelarse como una *lognormal* con desviación típica de 3 dB, calcule la distancia máxima L que permitiría la comunicación al menos un 98% del tiempo.
- 7) En la comunicación del sensor a la estación central a través de un satélite LEO, se dispone de un receptor como se muestra abajo:



Calcule la temperatura del sistema receptor, considerando que el BPF (son todos equivalentes) y el *mixer* se comportan como atenuaciones pasivas de 5 dB y 10 dB, respectivamente. La información sobre el LNA se proporciona en las especificaciones.

Discuta el valor posible de la temperatura de antena e indique qué impacto tiene una variación de la misma del 50% sobre el la temperatura total del receptor.

- 8) Asumiendo que la propagación puede considerarse de espacio libre, y que el satélite actúa como un amplificador de ganancia 30dB y $T=950$ K, proponga un modelo de sistema para el ruido completo y calcule la temperatura del sistema completo.
- 9) Si la probabilidad de error del sistema de satélite es de 10^{-4} , indique razonadamente cuanta potencia adicional habría que darle al *drone* para que se cumplieran las especificaciones.
- 10) Considere ahora que las características del canal, incluyendo el ruido completo del canal, se dan en la gráfica de la Fig. 1, y que se necesita una $P_e=1e-6$. Calcule razonadamente la máxima tasa de transmisión posible para que el canal se comporte como “estrecho en banda” a una distancia máxima de 50Km, para cada una de las modulaciones que aparecen en la gráfica anterior.

Notas auxiliares.....

Canal acústico:

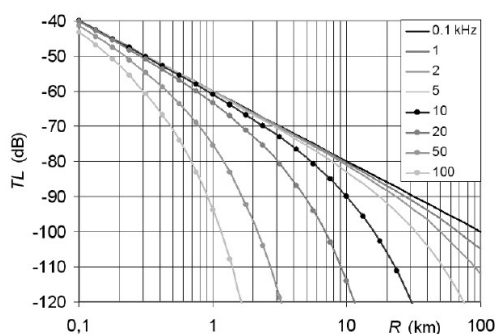
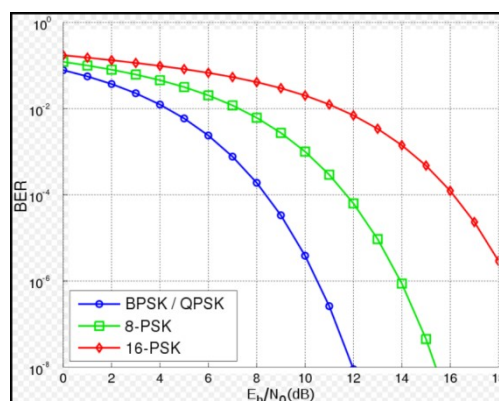
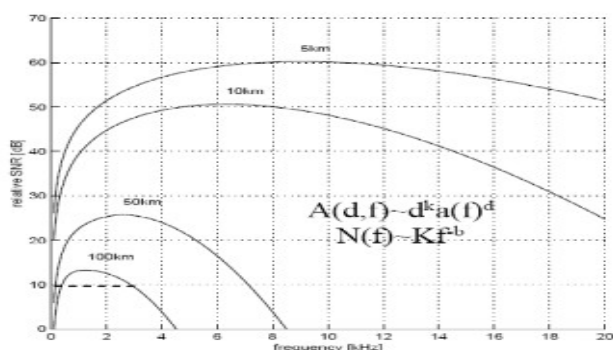


Figure 2.6 Conventional propagation loss $-TL = -20 \log R - \alpha R$, as a function of range, for frequencies of 0.1, 1, 2, 5, 10, 20, 50 and 100 kHz respectively. The absorption coefficient α is calculated for environment conditions: $T = 10^\circ\text{C}$, $S = 35$ p.s.u., $z = 10$ m.

Por las características del agua del mar la velocidad de propagación del sonido cambia de acuerdo con las variaciones de temperatura, salinidad y presión. Cuanto más altas sean estas características del agua, tanto mayor será su velocidad. Por ejemplo, en agua dulce, a una temperatura de 30°C , es de 1 509.6 metros por segundo, mientras que en el agua del mar, con la misma temperatura, pero con una concentración de sales de 35%, será de 1 546.2 metros por segundo.

Datos del amplificador de bajo nivel de ruido (LNA) en el enlace satélite:



Parameter	RX	TX
Frequency	1920~1980 MHz	2110~2170 MHz
Gain (typ.)	16,5± 1.0	
Gain Flatness (max.)	±0.5	
Noise Figure	0.9 (typ.)	
IP3 (min.)	6 m	
P1 (min)	-8,5 m	
Impedance	50Ω	
IN / OUT VSWR (max.)	1.3:1	
DC Input Voltage	3~6V	
DC Current (max.)	20mA (max.)	

Fig. 1. Características del canal, incluyendo el ruido completo del canal, para la pregunta P1.10

P2. Se dispone de un receptor radio que consta de los siguientes elementos en serie:

- una antena con $G=0$ dB y $T_{ant}=300$ K
- un cable con 2dB de pérdidas
- un amplificador con $G=10$ dB y $F=3$ dB
- un filtro, con ancho de banda ajustable, con 1dB de pérdidas
- un demodulador QPSK.

1. Calcule la temperatura del sistema, T_{sis} (incluya el ruido de la antena)
2. Si fuera posible permutar el cable y el amplificador, ¿qué configuración sería preferible?
3. Discuta si es posible calcular la potencia de ruido a la salida de la antena y a la entrada del demodulador.
4. Calcule la SNR necesaria para obtener una $P_e=10^{-6}$.
- 5 ¿Es posible definir la *sensibilidad de este receptor*?

El receptor definido en los apartados anteriores se quiere utilizar para recibir una señal de audio de 25KHz y dos de voz, de 4 KHz en una misma portadora.

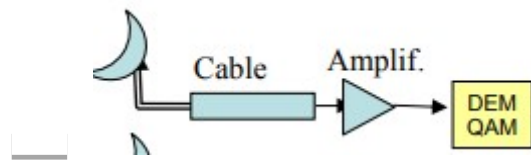
6. Determine la mínima potencia necesaria (en dBm) para cubrir un radio de 10 Km. Si es posible, utilice el concepto de *sensibilidad del receptor* para resolver este ejercicio. Justifique su análisis.

Datos:

- Pérdidas de propagación $= \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^{2.5}$, donde d es la distancia del enlace
- Ganancia de la antena transmisora= 0 dB
- Considere que las señales se muestrean según Nyquist-Shannon y se cuantifican con 8 bits. La señal de transmisión se crea multiplexando las señales de audio y voz en frecuencia. El overhead de trama es despreciable. **Si no sabe calcular la tasa de transmisión, considere $R_b=600$ Kbps.**
- frecuencia portadora= 300MHz

7. Repita el apartado anterior si se usa un codificador de audio con una tasa de compresión de 11:1
8. Si en el enlace aparecen unas pérdidas aleatorias log-normales de media nula y desviación típica 4.5 dB, determine qué incremento de potencia transmitida sería necesaria para asegurar la cobertura de 10Km con un 90%.
9. Si en con los datos del apdo. 8 la potencia transmitida no se pudiera modificar, determine qué radio de cobertura tendría al menos una disponibilidad del 90%.

P3. Se dispone de un receptor radio como se muestra en la figura:



La antena tiene una temperatura de ruido $T_a=290K$, y una ganancia $G_a= 60dB$

El cable tiene una longitud de 500 metros y un coeficiente de atenuación $\alpha_c=1.8dB/Km$.

El amplificador tiene las características que se muestran en la tabla (al final).

1. Calcule la atenuación desde la antena hasta la entrada del demodulador.
2. Calcule la potencia de ruido a la entrada del demodulador.
3. Calcule la sensibilidad del receptor para una P_e objetivo de 10^{-5}
4. Discuta el ejercicio permutando el orden del amplificador y del cable. Discuta qué configuración de las dos es preferible.

P4. Se quiere estudiar un servicio de comunicaciones con una tasa de transmisión de $R_b=10\text{Kbps}$. Se dispone para el mismo de un receptor con una sensibilidad $S=-110\text{ dBm}$ para una modulación 4 QAM. La potencia del emisor es $P_T=0\text{ dBW}$. Todas las antenas se consideran isótropas ($G=0\text{dB}$). La altura de la antena transmisora es de 5 metros y la de la receptora de 1.5 metros. La frecuencia de trabajo es de 900 MHz.

1. Calcule la distancia máxima a la que puede funcionar el sistema bajo las siguientes modelos (apartados independientes, salvo referencias explícitas):

- (1 pto) Una propagación de espacio libre (Friis).
- Una propagación con unas pérdidas de $\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^n$ ($n=4$ y 7)
- Un modelo de pérdidas de Okumura_Hata:

$$\overline{PL}_{\text{Okumura}}[\text{dB}] = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(H_1) + [44.9 - 6.55 \log(H_1)] \log(d) - a(H_2)$$

donde:

- f : frecuencia (MHz)
 H_1 : Altura efectiva de la antena transmisora (m) [30 a 200 m]
 H_2 : Altura efectiva de la antena receptora (m) [1 a 10 m]
 d : distancia (km)
 $a(H_2) = (1.1 \log(f) - 0.7) H_2 - (1.56 \log(f) - 0.8)$

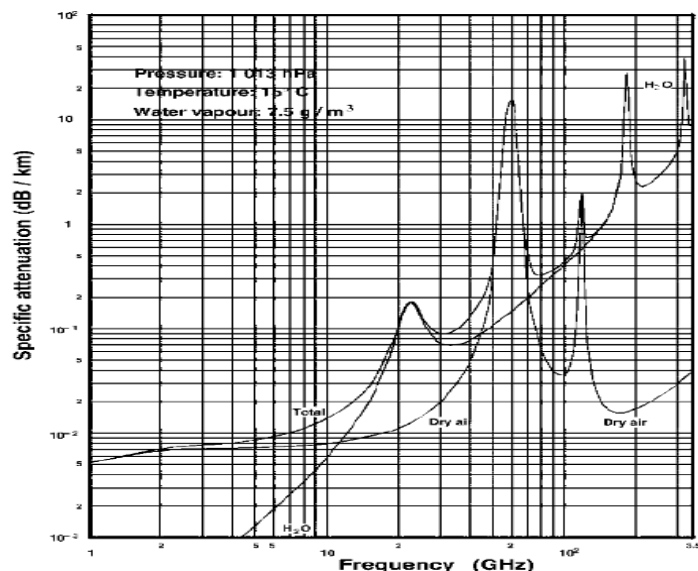
- El modelo del apartado b) con $n=4$ y una atenuación atmosférica indicada por la gráfica de abajo.

2. Si la variación por posicionamiento del receptor sigue una log-normal con una desviación típica de 3 dB, indique qué margen de potencia sería necesario considerar para tener una disponibilidad del 95%.

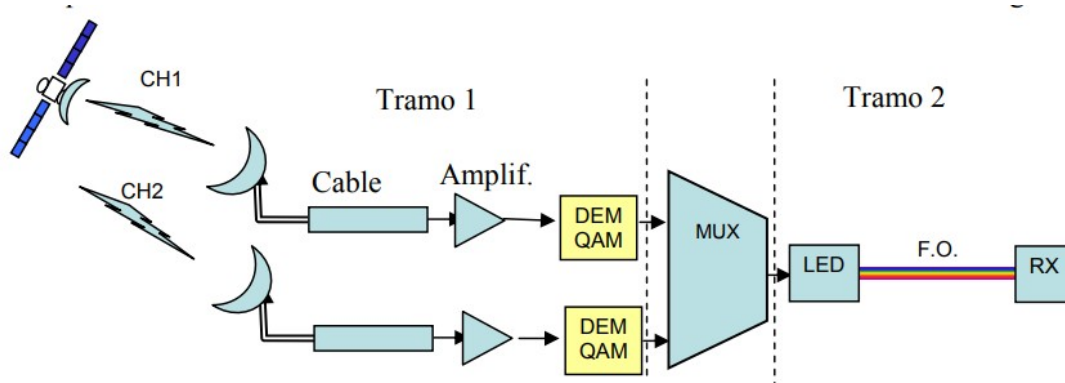
3. Indique cómo variaría la distancia máxima del apdo.c) para acomodar el margen del apdo. anterior sin modificar la potencia transmitida.

4. Indique cómo variaría la sensibilidad si se cambia la modulación a una 16-QAM.

5. Indique cómo variaría la sensibilidad para $R_b = 20\text{Kbps}$.



P5. Se dispone de un sistema de transmisión como se muestra en la figura:



El satélite está en órbita geoestacionaria (distancia a la superficie terrestre de 35.786 km)

El canal 1 funciona en la banda de 8GHz, con un ancho de banda de 1MHz y el canal 2 en la de 26GHz, con un ancho de banda de 10MHz.

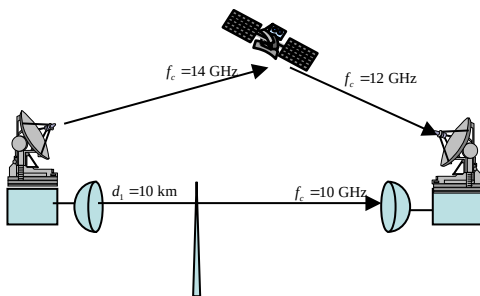
Los receptores y las antenas son idénticos. Para el canal1, la antena tiene una ganancia de 60dB y temperatura de 50 K. Los cables tienen 10 mts, con 10dB/Km de atenuación. La ganancia de los amplificadores es de 40 dB y su figura de ruido de 20 dB.

1. Si la ganancia de la antena del satélite para el **canal 1** (CH1) es de 10 dB, calcule detalladamente cuánto debe ser la potencia transmitida en ese canal para que la P_e de ese tramo sea de 10^{-6} . Nota: $k=1.38 \times 10^{-23}$ J/K
2. La absorción atmosférica oscila sobre el valor medio, dado en la gráfica de la página anterior, como una distribución log-normal de desviación típica $\sigma=3.5$ dB. Calcule el margen de enlace para asegurar la comunicación el 98% del tiempo en el **canal 1**.
3. Indique cómo variarían las características del amplificador para conseguir el margen necesario en el **canal 1**.
4. Si, en el **canal 1**, se quisiera conseguir el margen utilizando un *codificador de fuente* en lugar de cambiar el amplificador, ¿cuál sería el factor de compresión necesario?
5. Calcule la sensibilidad del receptor para **canal 2** (CH2) e indique la ganancia de las antenas, terrestre y satelital, para este canal.

Asuma que el multiplexor ('Mux') solamente aúna los dos flujos de bits, y que la distancia de la fibra es de 10Km, con una atenuación de 0.1 dB/Km. La sensibilidad del receptor es de $S = -40$ dBW para la modulación empleada y una tasa de referencia de $R_{ref} = 2$ Gbps con una $P_e = 10^{-7}$. El ancho espectral del diodo es de $\sigma_\lambda = 2$ nm.

6. Calcule la potencia (en mW) necesaria en el diodo transmisor para que la comunicación sea válida (desprecie la ISI).
7. Discuta el valor de la P_e del enlace completo.

P6. Una unidad móvil de TV desea transmitir una señal MPEG-2 (estándar para transmisión de video) desde el lugar en el que se produce una noticia hasta el estudio central. La unidad móvil puede establecer la conexión mediante un enlace punto-a-punto de microondas o mediante un enlace por satélite.



Las características del enlace de microondas son las siguientes:

Modulador digital

64-QAM de 15 Msímbolos/s (estándar DVB-C)

Transmisor RF

Frecuencia de operación: 14 GHz

Potencia de salida del transmisor: 0.5 W

Ganancia antena transmisora: 28 dB

Vano (véase nota al final):

Separación entre transmisor y receptor: 50 km.

Obstáculo en filo de cuchillo a 10 km del transmisor. El borde del obstáculo está 10 metros por encima de la trayectoria que une el transmisor y el receptor.

Para cubrir pérdidas no controladas, el margen de enlace es de 6 dB.

Receptor RF:

Antena+LNA: La antena receptora es una parábola con un amplificador de bajo nivel de ruido (LNA) directamente acoplado al alimentador.

Antena

Ganancia de la antena receptora: 28 dB

LNA:

Ganancia del LNA: 25 dB

Figura de ruido: 2 dB

Línea de transmisión: 2 dB de pérdidas

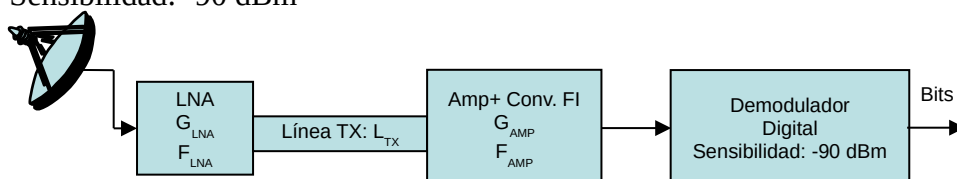
Amplificador y convertor a Frecuencia Intermedia

Ganancia: 30 dB

Figura de ruido: 15 dB

Demodulador 64-QAM (estándar DVB-C)

Sensibilidad: -90 dBm



Las características del enlace por satélite son las siguientes:

Modulador digital:
QPSK a 15 Msímbolos/s (estándar DVB-S)
Transmisor RF (estación terrena)
Potencia de salida del Transmisor: 100 W
Ganancia antena transmisora: 40 dB

Enlace ascendente (estación terrena – satélite):

Frecuencia de operación: 14 GHz
Distancia al satélite: 36.000 km.
Pérdidas (por fallos en el apuntamiento, despolarización,...): 6 dB.
Margen de enlace: 4 dB
Ganancia antena satélite: 40 dB
Figura de ruido del receptor: 4 dB
Sensibilidad del transpondedor satélite: -90 dBm.

Enlace descendente (satélite - estación terrena):

Frecuencia de operación: 12 GHz
Potencia del transmisor: 30 W.
Ganancia antena satélite: 45 dB
Pérdidas (por fallos en el apuntamiento, lluvia,...): 4 dB.
Margen de enlace: 6 dB

Receptor RF:

Antena+LNA: La antena receptora es una parábola con un amplificador de bajo nivel de ruido (LNA) directamente acoplado al alimentador de la antena.

Antena

Ganancia de la antena receptora: 45 dB
Temperatura de antena: 200 K

LNA:

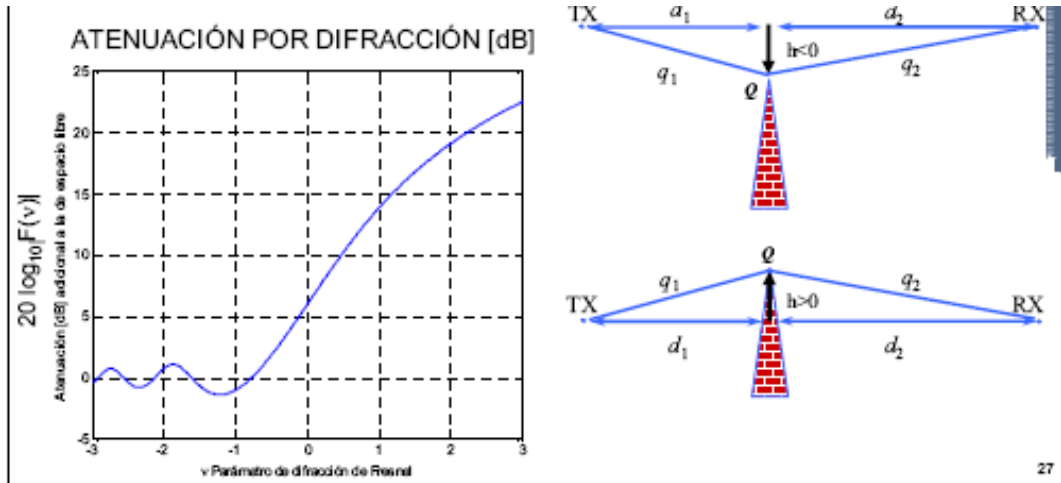
Ganancia del LNA: 30 dB
Figura de ruido: 3 dB
Línea de transmisión: 2 dB de pérdidas
Amplificador y convertidor a Frecuencia Intermedia
Ganancia: 20 dB
Figura de ruido: 20 dB

Demodulador QPSK (estándar DVB-S)
Sensibilidad: -90 dBm

Cuestiones:

1. Calcule la probabilidad de error de bit media para el enlace terrestre por microondas. Explique detallada y claramente todos los cálculos realizados.
2. Repita los cálculos anteriores para el enlace satelital.
3. Teniendo en cuenta los datos numéricos anteriores y las características de ambos enlaces, explique detallada y claramente por cuál de los dos enlaces se decantaría.

Nota. Para calcular la atenuación por difracción:

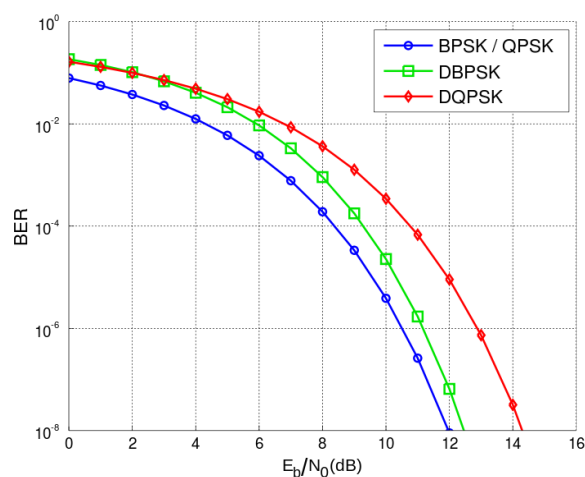


P7. Se quiere transmitir una tasa de 5 Mbps a través de un sistema de transmisión que consiste en 4 secciones de repetición que constan de un cable de $\alpha = 1.5$ dB/km de atenuación y un amplificador, con una ganancia de $G_{\text{amp}} = 15$ dB y una figura de ruido de $F_{\text{amp}} = 2.5$ dB. La longitud de cada sección es tal que la ganancia total de la sección es nula.

Calcule la longitud total de este sistema y la potencia necesaria en transmisión, P_{TX} , para conseguir una BER de 10^{-5} . La modulación empleada es Q-PSK.

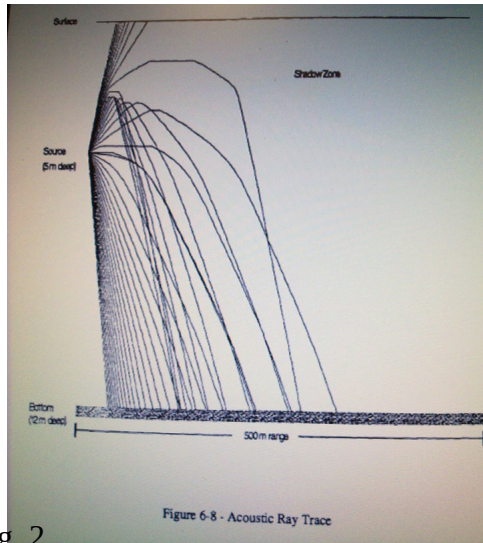
Tómese la temperatura de referencia

$$T_0 = 290 \text{ K.}$$



P8.

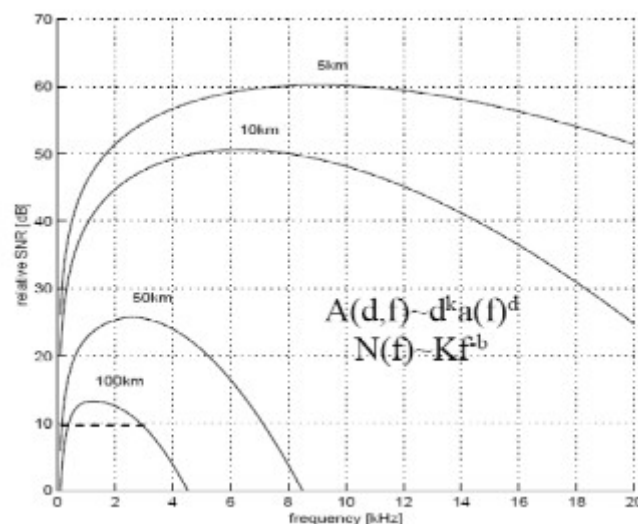
1. Para las Fig. 1 y 2, que muestran los rayos acústicos emitidos por un transductor en el agua, conteste a las siguientes preguntas:

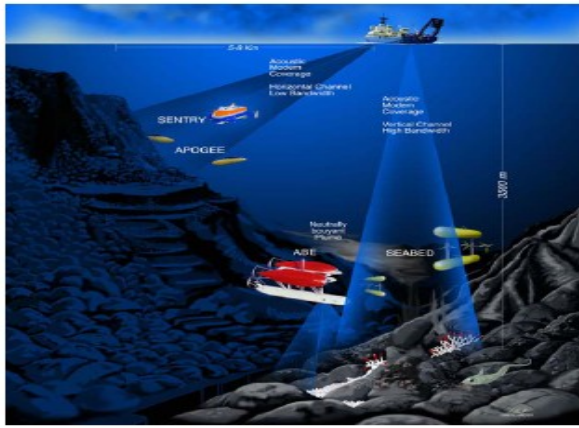


- 1) ¿Qué tipo de modelo se está empleando:
 - a) físico,
 - b) de señal
 - c) o digital?
- 2) Identifique al menos dos propiedades de la propagación que sean evidentes.
- 3) ¿Qué se puede deducir sobre la respuesta al impulso de ese canal a una distancia fija?
- 4) Del hecho de que la velocidad de propagación del sonido en el agua es de unos 1500 m/s, ¿qué puede decirse, en primera instancia, del ancho de banda máximo de las señales de transmisión?

2. Dada la gráfica que sigue sobre el canal acústico acuático, responda a las siguientes preguntas:

- 1) ¿Qué tipo de modelo se está empleando:
 - a) físico,
 - b) de señal
 - c) o digital?
- 2) Exponga las tres conclusiones más importantes sobre ese canal que se puedan extraer de la gráfica.





3. Para la comunicación acústica entre vehículos sumergibles, con velocidades máximas de 10 Km/h, estime el rango de anchos de banda en los que el canal no es selectivo en tiempo.

4. Estime los anchos de banda de coherencia e indique el rango de la tasa de transmisión en el que el canal acústico no da problemas graves de ISI para distancias de 50m y de 100m, respectivamente.

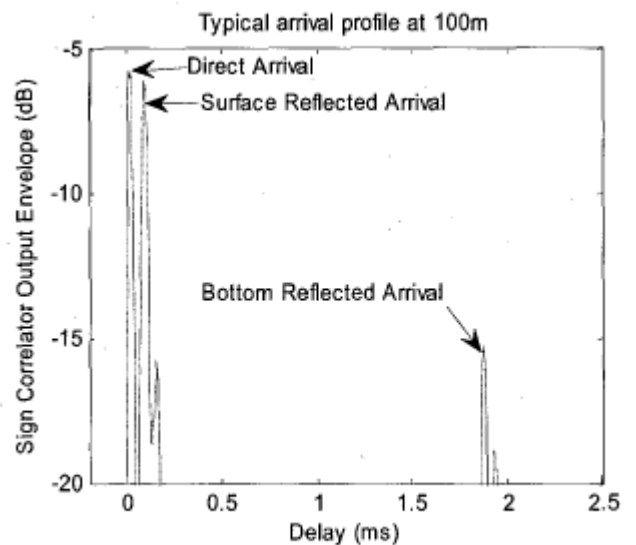
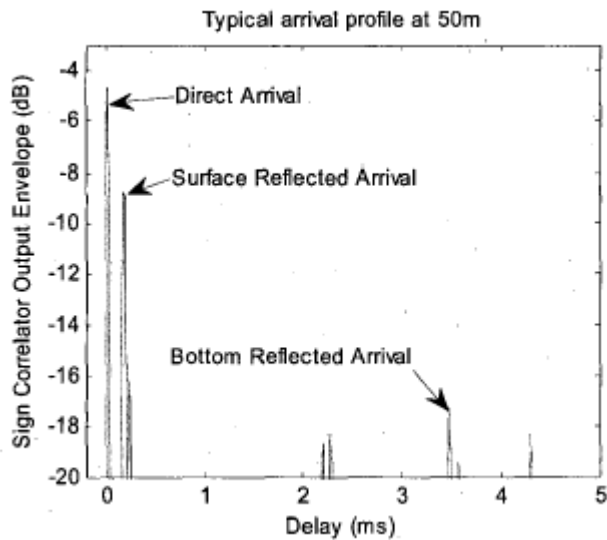


Fig. 5. Multipath arrival structure at 50 m and 100 m range

P9 Se dispone de un canal de comunicaciones móviles en el que se emplea una portadora a 1900 MHz con una modulación BPSK para transmitir a una tasa de 250 Kbps. Se sabe que la velocidad máxima de los receptores móviles es de 100 Km/h y la SNR media recibida es de 20dB.

El canal descrito presenta desvanecimiento plano y lento. Para estudiar las prestaciones de este canal, se desarrolla un modelo de Markov con **tres** estados.

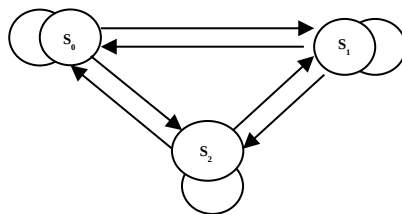
1)

1a.- Para el modelo de Markov propuesto, calcule los umbrales de SNR para que las probabilidades estacionarias de los tres estados sean iguales.

1b.- Tome como umbrales los valores $u_1 = \text{SNR}_{\text{media}} - 3\text{dB}$; y $u_2 = \text{SNR}_{\text{media}} + 3\text{dB}$ y calcule las probabilidades estacionarias de los estados.

Para el resto de los apartados, utilice los valores del apdo. 1b.

2.- Calcule la matriz de probabilidades de transición entre estados sobre el diagrama dado. **Nota importante:** recuerde que el desvanecimiento se considera *lento*.



(El estado S_0 es el de menor SNR, y el estado S_2 el de mayor SNR.)

3.- Calcule las probabilidades de error de los BSC asociados a cada estado y la probabilidad de error media comparando este último valor con el de la probabilidad de error que tendría un canal gaussiano de igual SNR media.

4.- Calcule la longitud media de una ráfaga (en bits) en el estado S_1 .

5.- Calcule la probabilidad de que en una ráfaga de cuatro bits aparezcan dos (y sólo dos) bits erróneos, indicando claramente el valor de las matrices de probabilidad necesarias. A modo de comparación, calcule el valor que tendría esta probabilidad si el canal no tuviera desvanecimiento pero tuviera la misma probabilidad de error media.

6.- Proporcione un algoritmo recursivo para calcular la matriz de probabilidad de que existan t errores en una ráfaga de n bits.

7.- Si partimos del modelo digital calculado en los apdos. 2 y 3 (es decir, se conocen la matriz de transición T y las probabilidades de error Pe_0 , Pe_1 y Pe_2), indique cómo estimaría los valores del modelo de señal (SNR media, valores de los umbrales y frecuencia Doppler).

8.- A partir del modelo desarrollado en los apartados 2 y 3, proponga un modelo de sólo dos estados (conservando el de menor P_e y fusionando los otros dos). ¿Qué valores tendrían los parámetros del modelo resultante?

Nota: Para la modulación B-PSK, $P_e = Q\left(\sqrt{2\frac{\mathcal{E}_b}{N_0}}\right)$

P10. Clasifique los sistemas correspondientes a los siguientes canales con desvanecimiento por multitrayecto (cada subapartado es independiente) y responda a las preguntas adicionales:

1. Sistemas de comunicaciones electromagnéticas terrestres móviles:

Canal 1: Ancho de banda de coherencia de 1 MHz. La señal que se transmite tiene 5 MHz de ancho de banda. ¿Cuál es el tiempo de coherencia?

Canal 2: Banda de trabajo: 1600 MHz. Velocidad del móvil: 60 Km/h. Ancho de banda de coherencia de 1 MHz.

2. Canal acústico con un ancho de banda de coherencia de 5KHz=5000 Hz y frecuencia portadora de 20KHz; ¿qué velocidades (en bps) de los terminales serían aceptables para la máxima tasa posible de transmisión con Q-PSK? Nota: la velocidad de propagación del sonido en el agua para este canal es de 1500m/s.

P11. Considere un canal de radio móvil a 1.4 GHz, con las siguientes datos: $P_e=1e-2$, modulación BPSK, $R_b=10\text{Kbps}$. El receptor se desplaza respecto al emisor a 100Km/h.

Para estudiarlo, se consideran dos modelos:

Modelo1. El canal se considera **sin** memoria.

Modelo 2. El canal se considera **con** memoria.

1. Para el Modelo 2, indique los parámetros de señal de interés y calcule sus valores.
2. Para el Modelo 2, ajuste un modelo de Markov con dos estados (fije el umbral 10dB por debajo de la SNR media)
3. Usando el modelo de Markov de 1.2, rellene la tabla de abajo y explique los resultados obtenidos.

Probabilidad de	Modelo 1	Modelo 2
1 error en ráfaga de 3 bits		
2 errores en ráfaga de 3 bits		

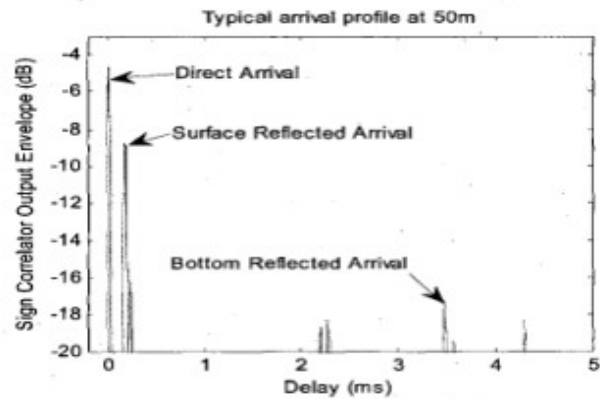
4. Reconsidere este canal, pero cambiando la tasa de transmisión. Indique el valor mínimo de R_b para que el modelo de Markov desarrollado en el apdo. 1.2 **no** sea aplicable (i.e. la matriz de transmisión resultante sea absurda) y explique cualitativamente el porqué.

P12. Invéntese una nueva red de acceso móvil:

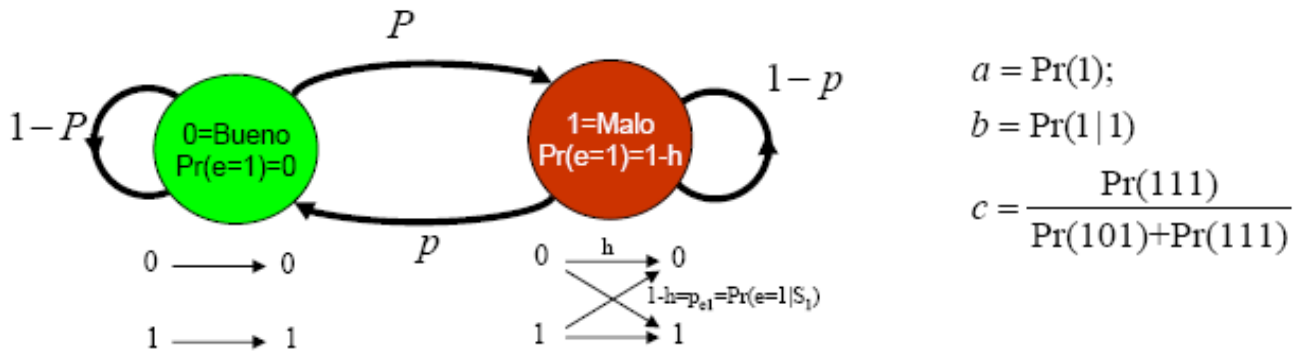
1. Indique el contexto físico de despliegue de la red y **estime**, en órdenes de magnitud, los parámetros de movilidad y *radiación* para poder clasificar el tipo de canal con desvanecimiento.
- 2 Elija justificadamente la tasa de transmisión para que el canal resultante sea lento y plano.
3. Indique, en función de la tasa del apdo. anterior, posibles servicios de comunicación que se pueden ofrecer con ella.
4. Discuta su novedad e importancia práctica.

P13 Clasifique los siguientes canales indicando el rango de valores posibles de tasas de transmisión (considerando el uso de modulaciones 4-QAM, 256-QAM y 1024-QAM)

- Canal 1: Desde la Tierra se envían datos vía radio ($f_c=10$ GHz) a una nave que se dirige a Marte a 11500 Km/h (suponga velocidad uniforme).
- Canal 2: Se toman medidas del perfil de retardo (véase la figura de abajo) para un canal radio a 600 MHz, y se consideran velocidades típicas de un peatón.
- Canal 3: Se considera un canal acústico subacuático. Los puntos de comunicación permanecen fijos, pero el canal cambia con un tiempo de coherencia de 1 ms. Puede escoger frecuencias acústicas en el rango de 1-10 KHz.



P14 En este problema se pretende estudiar el método de estimación de los parámetros del modelo de Gilbert proporcionado en esta asignatura:



$$1-p = \frac{ac - b^2}{2ac - b(a+c)}; \quad h = 1 - \frac{b}{1-p}; \quad P = \frac{ap}{(1-h) - a}$$

Para hacer una discusión razonable en este contexto, empezamos proponiendo unos parámetros del orden de las decenas de unidad para evitar que la estimación con pocos datos sea, *a priori*, muy mala: $p=0.1$, $P=0.7$ y una probabilidad de error en el estado malo de 0.3.

Con estos parámetros, se simula el canal para 50 datos, con la secuencia de errores resultante, E , que se muestra a continuación:

$E=[$

0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0
0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0
1	1	0	1	0	0	0	0	1	0			

$0].$

- Estime, a partir de la secuencia de errores E , los parámetros del modelo de Gilbert. Indique con claridad, los valores de los conteos de patrones, y los valores de los parámetros intermedios a_{est} , b_{est} y c_{est} .
- Calcule los valores teóricos de las probabilidades de error de los patrones necesarios para la estimación del canal, y los valores de a , b y c teóricos que aquéllos implican. Indique con claridad los cálculos intermedios necesarios.
- Compare los resultados de los dos apartados anteriores y determine el parámetro o valor intermedio en el que existen los mayores errores. Denomine “ x ” a este parámetro “problemático”.
- Centrando la discusión en x , y utilizando los órdenes de magnitud de todos los parámetros de este problema concreto, considere que existe un error aditivo para cada parámetro del 10% del valor del mismo. Determine el orden de magnitud de los errores totales del numerador y del denominador de la expresión que proporciona el valor de x .

Compare los órdenes de magnitud de los resultados algebraicos de los parámetros y de los errores en numerador y denominador y exprese las conclusiones de este estudio.

- Generalizando el estudio concreto de los apartados anteriores, discuta en qué circunstancias (i.e., qué restricciones en los parámetros del modelo y qué restricciones en los datos medidos) la estimación proporcionada en esta asignatura arroja resultados razonables.

P15. Se considera en este problema la evaluación de estrategias de transmisión para un canal acústico acuático con las siguientes características:

1. Velocidad del sonido, $v=1500$ m/s
2. Distancia máxima entre vehículos: 50 m (considérese también como distancia típica).
3. Tasa de transmisión binaria, $R = 2400$ símbolos por segundo¹ (modulación B-PSK)
4. Transmisión por paquetes de longitud $n=31$ símbolos.
5. Modelo de canal: Gilbert con parámetros:
 - a. $P_{e_malo}=0.30$.
 - b. Probabilidad de transición del estado bueno al estado bueno: 0.99
 - c. Probabilidad de transición del estado malo al estado malo: 0.88.
6. Dado que los transceptores acústicos funcionan en half-duplex, sólo vamos a considerar posibles las siguientes estrategias de corrección de errores:

a. Stop-and-wait ARQ (sw-ARQ)

Funcionamiento: El Tx envía un paquete al Rx. Se emplea un CRC² para detectar si ha habido error o no. Si el Rx NO ha detectado error (o sea, si no hay error o no es capaz de detectarlo) da el paquete por bueno, envía un ACK al Tx que pasa a transmitir el paquete siguiente. Si el Rx detecta error, envía al Tx un NACK y el Tx vuelve a retransmitir el paquete anterior. Hasta que el Tx no recibe un ACK o un NACK, no hace nada. Se considera que tanto el ACK como el NACK son paquetes de tamaño 1 símbolo y el canal de *feedback* NO tiene error de transmisión.

Prestaciones:

- *Fiabilidad, F*: probabilidad de que una trama aceptada no tenga errores.
- *Throughput*: $\eta = \frac{k R P}{n + D R}$, donde D es el tiempo que transcurre desde que se envía el último símbolo de una trama y se empieza a transmitir el primer símbolo de la siguiente trama (o a re-transmitir la misma si se ha detectado error); y P es la probabilidad de que se acepte la trama. Su unidad es de bps.

b. FEC

Funcionamiento: El Tx envía tramas de forma continua al Rx que las procesa independientemente aplicando el código CRC como corrector. Todas las tramas se aceptan, hayan podido ser corregidas o no.

Prestaciones:

- *Fiabilidad, F*: probabilidad de que una trama no tenga errores.
- *Throughput*: $\eta = \frac{k}{n} R$ [en bps].

c. Híbridas FEC-sw-ARQ

Funcionamiento: El protocolo es como el **sw-ARQ**. La diferencia está en que el Rx, al recibir una trama, detecta el número de errores y **si lo puede corregir lo hace** y envía un ACK. Si detecta errores pero no puede corregirlos, descarta la trama y envía un NACK para su repetición.

Prestaciones: Igual que en el **sw-ARQ**, teniendo en cuenta la capacidad correctora para aceptar la trama.

1 Se hablará de *símbolo* para los *bits de transmisión* y de *bits* para los *bits de información*.

2 CRC: Se emplean códigos BCH caracterizados por 3 parámetros (n,k,t) :

- n es el tamaño de símbolos por paquete, $n=31$.
- k es el número de símbolos de información, $n-k$ son los símbolos de paridad
- t es el número de símbolos que el código es capaz de **corregir**; $2*t$ es el número de símbolos que el código es capaz de **detectar**. El tiempo de procesado del Rx tanto para corregir como para detectar se tomará como un milisegundo.

Se pide:

1. Calcular los parámetros básicos del modelo:
 - a. la matriz de transición de estados: T
 - b. el vector de las probabilidades estacionarias de los estados: p
 - c. las matrices de probabilidad de error: P_0 y P_1
2. Calcular los parámetros básicos del sistema:
 - a. Probabilidad de error media: P_e
 - b. Capacidad del canal en bits/seg.
 - c. Número medio de símbolos consecutivos transmitidos en el canal bueno
 - d. Número medio de símbolos consecutivos transmitidos en el canal malo
3. Las expresiones **completas** para calcular las prestaciones (F y η) de los tres esquemas descritos.
4. Un pseudo-código para calcular las prestaciones de los tres esquemas de corrección. Se sugiere que sea de tipo MATLAB para el manejo de matrices³.
5. Elaborar una tabla comparando los resultados numéricos de las prestaciones para:
 - a. sw-ARQ con (31,26,1)
 - b. FEC-sw-ARQ con (31,26,1)

FEC con (31,16,3)

3 Se recomienda también, en terminología de MATLAB, el uso de una función matricial $Pnt(n,t,P_0,P_1)$ que calcule la matriz de probabilidad de que en una trama de longitud n haya t errores. Dicha función debe desarrollarse explícitamente para su validez en este ejercicio.

P16 Para las medidas de la tabla, ajuste los parámetros de un modelo de propagación polinómico (valor del exponente y varianza del error log-normal).

Distancia desde el transmisor	Potencia Recibida
100 m	0 dBm
200 m	-20 dBm
1000 m	-35 dBm
3000 m	-70 dBm