

```

compat=1.7
bipoles/thickness=1 bipoles/length=0.8cm bipoles/diode/height=.375 bipoles/-
diode/width=.3 tripoles/thyristor/height=.8 tripoles/thyristor/width=1 bipoles/v-
sourceam/height/.initial=.7 bipoles/vsourceam/width/.initial=.7
lx/.code args=1 and 2 bipole/label/unit 2    lx/.styleargs = 1and2lx = 2and1,/bipole/label/posi

```



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE INGENIERÍA

2° CUATRIMESTRE DE 2017

Trabajo Práctico n°1
Detección de latidos cardíacos

Integrantes:

Sanchez, Marcelo <marce_chez@msn.com>

Zec, Jeremias <jeremiaszec@gmail.com>

Russo, Nicolas <nicolasrusso291@gmail.com>

Garcias, Ezequiel <garciaezequiel91@gmail.com>

Padrón:

87685

92444

93211

93191

November 20, 2017

Contents

1 Objetivos

El objetivo del presente trabajo es, en primer lugar, realizar un análisis en tiempo y frecuencia de la señal FPG obtenida a partir de la grabación de video de un smartphone. Posteriormente, se implementará una serie de filtros para obtener la componente "AC" de la señal, la cual se utilizará finalmente durante la implementación del detector de latidos. En lugar de utilizar el video directamente como señal, lo cual resulta demandante con la memoria, se trabajará con las intensidades de color para cada frame del video en cuestión.

2 Enunciado

Detección de latidos cardíacos. 1. Cargar el archivo `intensidad_RGB.mat` y visualizar la señal `RGB`.
 2. Del gráfico del punto anterior, estimar aproximadamente los latidos por minuto (LPM). Identifique el modo.
 3. Rehacer el punto anterior, pero utilizando DFT. Puede en este caso identificar algunos de los cambios de LPM.
 4. Diseñar un filtro pasa-banda tipo Butterworth con banda de paso entre 0.5 Hz y 10 Hz. Graficar respuesta e usar las funciones `butter` y `filter` de Matlab).

¿Qué papel juega el orden del filtro seleccionado en su diseño?

5. Filtrar la señal FPG utilizando el filtro diseñado en el punto anterior mediante la función `filter`. Grafique en.

a. Remoción de derivas

b. Cambios en la forma de la señal

c. Retardo de la señal filtrada respecto de la original

6. A partir de la respuesta en fase del filtro, calcule su retardo temporal y compare con lo observado en el punto 5.

7. Implementar un filtro de II Rida y vuelta para anular la fase del filtro (puede utilizar la función `filtfilt` de Matlab).

8. Realizar un espectrograma de la señal antes y después de filtrar, mediante la función `spectrogram` de Matlab (utilice la función `caxis` para saturar los colores del espectrograma y lograr una mejor visualización). Justifique.

9. Identificar en el espectrograma la zona donde el pulso se acelera. Observar con detenimiento los componentes.

10. Realizar un detector automático de latidos. El mismo debe tomar como entrada la señal FPG y producir como

a. Filtro de pasa-banda de la señal, utilizando el filtro de ejercicio 7.

b. Filtro de derivada, implementado con un filtro FIR $h(n) = [-2 \text{ } -1012]$.

c. Normalización en energía instantánea: primero calcular la energía instantánea de la señal mediante un filtro.

d. Sobre-muestreo en un factor 4 para obtener mayor resolución temporal: implemente el sobre-muestreo utilizando la función `upsample` y diseñe un filtro interpolador FIR utilizando la herramienta `fdatool` para la respuesta en frecuencia del filtro en modo de fase, y la señal original sobre-muestreada en superposición.

e. Detector de picos mediante umbral (puede definir como umbral un valor arbitrario).

f. Gráfico en superposición de la señal con las marcas de los picos detectados. Sugiera para el punto e: en general, un pico en la señal produce latidos de múltiples muestras por encima del umbral. Para reducir las falsas alarmas, establezca un umbral mínimo de latidos (al menos 1.5 veces el tiempo de latido).

11. En base a los resultados del punto anterior, calcule y grafique el intervalo temporal instantáneo entre latidos ($\text{inter-beat interval}$) y los LPM instantáneos.

12. Opcional. Mejore el detector de latidos aplicando las reglas de [5]:

a. Establecer como regla que, si dos latidos se detectaron con una separación temporal menor a 200 ms, sobreviva el más reciente.

b. Establecer como regla que si el IBI instantáneo aumenta repentinamente en al menos 1.5 veces entre muestras, se trata de un latido falso.

13. Opcional. Obtener su propia señal FPG mediante la cámara de su celular y aplicar los análisis y algoritmos de latidos para un mejor resultado en la señal registrada, utilizando el `detectLatidos` que se encuentra en el código de ejemplo, y evaluar su desempeño.

3 Desarrollo

3.1 Ejercicios

Ejercicio 1.

Del diagrama de la figura ??:

$$X_i = Y_{i-1} \cdot G_i Y_{i-1} = h \cdot X_{i-1} + W_{i-1} \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} [Y_{i-1}] &= VAR[h \cdot X_{i-1} + W_{i-1}] \\ &= h^2 \cdot VAR[X_{i-1}] + 2COV[X_{i-1}, W_{i-1}] + VAR[W_{i-1}] \end{aligned} \quad (3.2)$$

Por ser X y W independientes $COV[X_{i-1}, W_{i-1}] = 0$. Queda entonces:

$$VAR[Y_{i-1}] = h^2 \cdot A^2 + \sigma_w^2 \quad (3.3)$$

$$VAR[X_i] = VAR[G_i \cdot Y_{i-1}] = G_i^2 \cdot (h^2 \cdot A^2 + \sigma_w^2) \quad (3.4)$$

Se pide que $VAR[X_i] = \epsilon$. Por lo tanto:

$$G_i = \sqrt{\frac{\epsilon}{(h^2 \cdot \epsilon + \sigma_w^2)}} \quad \text{con } i = 3, 4, \dots, n \quad (3.5)$$

Luego para el repetidor G_2 :

$$G_2 = \sqrt{\frac{\epsilon}{(h^2 \cdot A^2 + \sigma_w^2)}} \quad (3.6)$$

Eligiendo $G_2 = G_3 = G_4 = \dots = G_n$, resulta $A^2 = \epsilon \implies \boxed{A = \sqrt{\epsilon}}$

Para expresar las ganancias en función a la relación señal a ruido (SNR). Se parte de la ecuación ??:

$$G_i = \sqrt{\frac{\epsilon}{(h^2 \cdot \epsilon + \sigma_w^2)}} = \sqrt{\frac{\epsilon}{\sigma_w^2 \cdot (\frac{h^2 \cdot \epsilon}{\sigma_w^2} + 1)}} \quad (3.7)$$

Reemplazando por la definición SNR (ecuación ??).

$$G_i = \sqrt{\frac{SNR}{h^2 \cdot (SNR + 1)}} \quad (3.8)$$

Ejercicio 2.

2.1. Escribimos las señales Y_n en función de los bloques anteriores:

$$\begin{aligned} Y_1 &= X_1 h + W_1; \quad X_2 = Y_1 G_2 \\ Y_2 &= X_2 \cdot h + W_2 = (X_1 \cdot h + W_1) \cdot G_2 \cdot h + W_2 \\ Y_2 &= X_1 \cdot G_2 \cdot h^2 + W_1 \cdot G_2 \cdot h + W_2 \\ Y_3 &= (X_1 \cdot G_2 \cdot h^2 + W_1 \cdot G_2 \cdot h + W_2) \cdot G_3 \cdot h + W_3 \end{aligned}$$

$$Y_3 = X_1 \cdot G_2 \cdot G_3 \cdot h^3 + W_1 \cdot G_2 \cdot G_3 \cdot h^2 + W_2 \cdot G_3 \cdot h + W_3$$

$$Y_n = X_1 \cdot (\prod_{k=2}^n G_k) \cdot h^n + \sum_{i=1}^{n-1} [(W_i \cdot \prod_{j=i+1}^n G_j) \cdot h^{n-i}] + W_n$$

Como W_i Son iid y definimos $G_2 = G_3 = \dots = G_n = G$, resulta:

$$Y_n = X_1 \cdot (Gh)^{n-1} \cdot h^n + \sum_{i=1}^{n-1} (Gh)^{n-i} \cdot W + W$$

$$Y_n = X_1 \cdot (Gh)^{n-1} \cdot h^n + \sum_{i=1}^n (Gh)^{n-i} \cdot W$$

$$Y_n = X_1 \cdot (Gh)^{n-1} \cdot h^n + \sum_{i=0}^{n-1} (Gh)^i \cdot W$$

Denotando N_i al término dentro de la sumatoria, es la variable aleatoria W escalada por una constante, y se distribuye como:

$$N_i \sim \mathcal{N}(0, (Gh)^{2i} \cdot \sigma_W^2)$$

Por lo tanto el término asociado al ruido se distribuye como:

$$N_n \sim \mathcal{N}(0, \sum_{i=0}^{n-1} (Gh)^{2i} \cdot \sigma_W^2)$$

2.2. Calculamos la Varianza de la señal:

$$VAR[X_1 \cdot (Gh)^{n-1} \cdot h^n] = ((Gh)^{n-1} \cdot h^n)^2 \cdot VAR[X_1] = ((Gh)^{n-1} \cdot h^n)^2 \cdot A^2$$

$$\epsilon_{senial} = (Gh)^{2(n-1)} \cdot h^{2n} \cdot A^2$$

Por definición: $SNR = \frac{\epsilon_{senial}}{\epsilon_{ruido}}$

$$SNR_{Y_n} = \frac{(Gh)^{2(n-1)} \cdot h^{2n} \cdot A^2}{\sigma_W^2 \cdot \sum_{i=0}^{n-1} (Gh)^{2i}} \quad (3.9)$$

2.3. Suponemos $X = A$. Reescribimos Y_n :

$$Y_n = N_n + A \cdot (Gh)^{n-1} \cdot h^n$$

Por lo tanto $Y_n \sim \mathcal{N}(\mu = A \cdot (Gh)^{n-1} \cdot h^n, \sigma^2 = \sigma_W^2 \cdot \sum_{i=0}^{n-1} (Gh)^{2i})$

La probabilidad de error se calcula como:

$$P_{e|X_1=A} = P(Y_n < 0 | X_1 = A) = P(N_n + A \cdot (Gh)^{n-1} \cdot h^n < 0)$$

$$P_{e|X_1=A} = P\left(\frac{-N_n}{\sqrt{VAR[N_n]}} > \frac{A \cdot (Gh)^{n-1} \cdot h^n}{\sqrt{VAR[N_n]}}\right) = Q\left(\frac{A \cdot (Gh)^{n-1} \cdot h^n}{\sqrt{VAR[N_n]}}\right) \quad (3.10)$$

Reemplazando la ecuación ?? en ??, la probabilidad de error se puede calcular:

$$P_{e|X_1=A} = Q(\sqrt{SNR_{Y_n}}) \quad (3.11)$$

Por simetría, probabilidad total (Ecuación ??) y dado que $P(X_1 = A) = P(X_1 = -A) = 1/2$

$$P_{e,n}^a = Q(\sqrt{SNR_{Y_n}}) \quad (3.12)$$

Ejercicio 3.

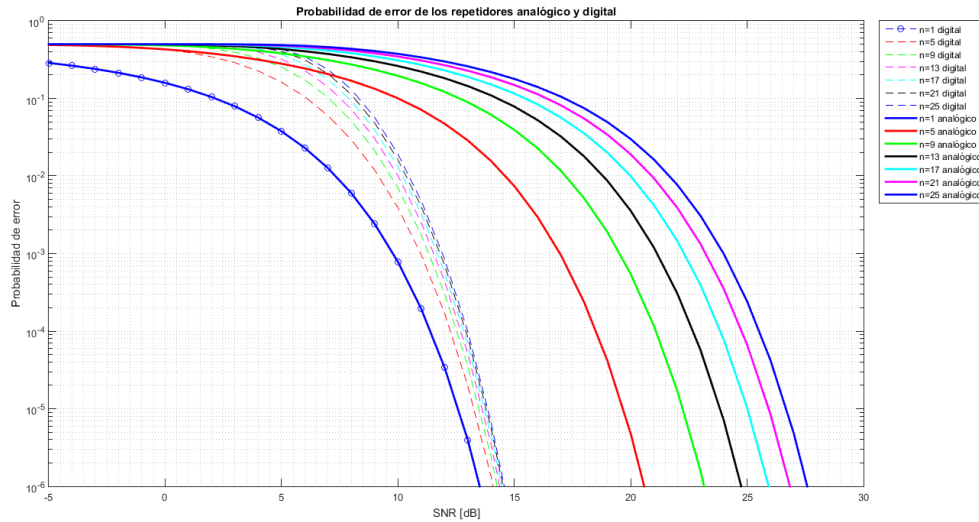


Figure 3.1 – Probabilidad de error de ambos sistemas con diferentes parámetros de SNR y número de etapas (n).

De la figura ?? vemos que para cada n ambos sistemas coinciden en un valor de SNR, los valores son los siguientes:

- 5 a -0.4 dB.
- 9 a 0.4 dB.
- 13 a 0.6 dB.
- 17 a 1 dB.
- 21 a 1.1 dB.
- 25 a 1.2 dB.

Para cualquier número n de etapas se repite el mismo comportamiento. Hasta la igualdad, ambos sistemas tienen una relación $SNR - P_e$ similar (casi idénticas). Luego de la misma, el sistema digital tiene una disminución significativamente más rápida con el aumento de la SNR.

Por lo tanto, conociendo el rango de SNR con el que se va a trabajar, la mejor opción es el sistema digital respecto de la Probabilidad de error en un amplio rango de

valores.

Si el dato con el que se cuenta es la cantidad de etapas n , nuevamente el sistema digital es el más eficiente. En ambos casos cuando se supere ese “umbral” en el que ambos sistemas se comportan de manera similar.

Ejercicio 4.

4.1. Simulación de Montecarlo.

Realizamos una simulación sobre los valores de SNR dentro del intervalo $[5, 25]$ en dB.

Por cada valor del SNR se simularon $N = 20000$ veces para obtener un resultado “óptimo”, o sea, que los resultados concuerden con los cálculos teóricos. Los que se pueden ver claramente en las figuras ?? y ??

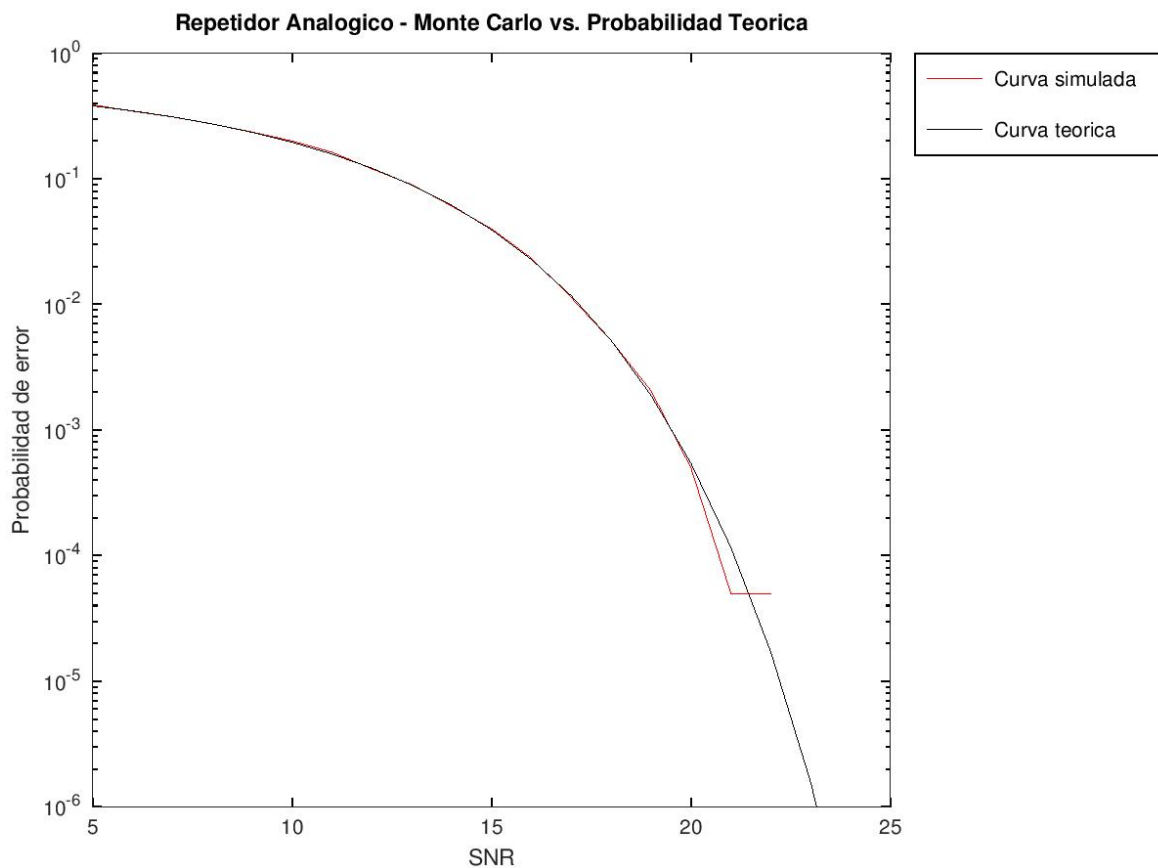


Figure 3.2 – Simulación de MonteCarlo para etapa analógica.

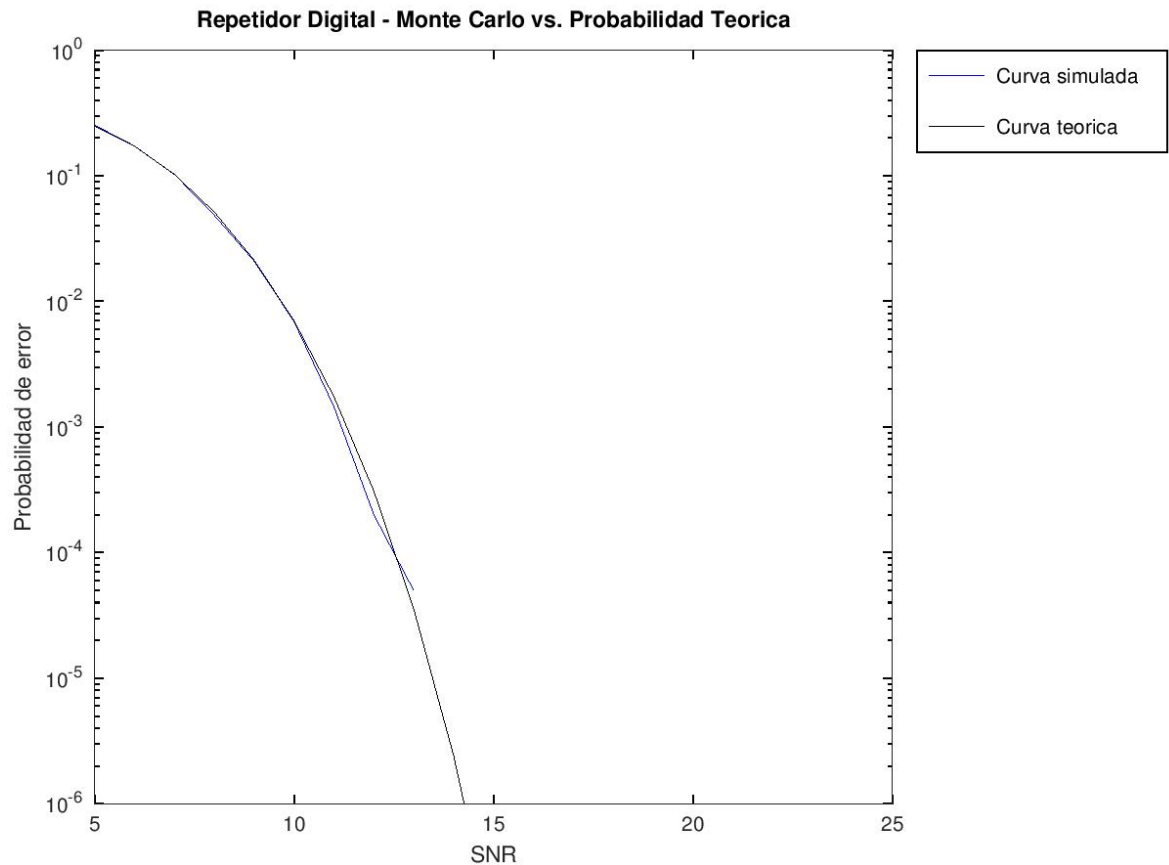


Figure 3.3 – Simulación de MonteCarlo para etapa digital.

4.2. Curvas de probabilidad.

Por un lado se simuló el circuito y por otro lado se propuso un modelo probabilístico a priori que suponemos va a ajustar a nuestro circuito. Por medio del resultado se verifica, al ver que las curvas son tan próximas, que el modelo propuesto es válido para representar el modelo real. Se ve claramente que las curvas que se obtuvieron en la simulación se aproximan a las teóricas calculadas anteriormente. Esto se debe a que se hicieron las simulaciones “correctamente”. Las realizaciones son efectivamente independientes.

4.3 Densidades de probabilidad de Y_n (justo antes del detector) en el sistema analógico.

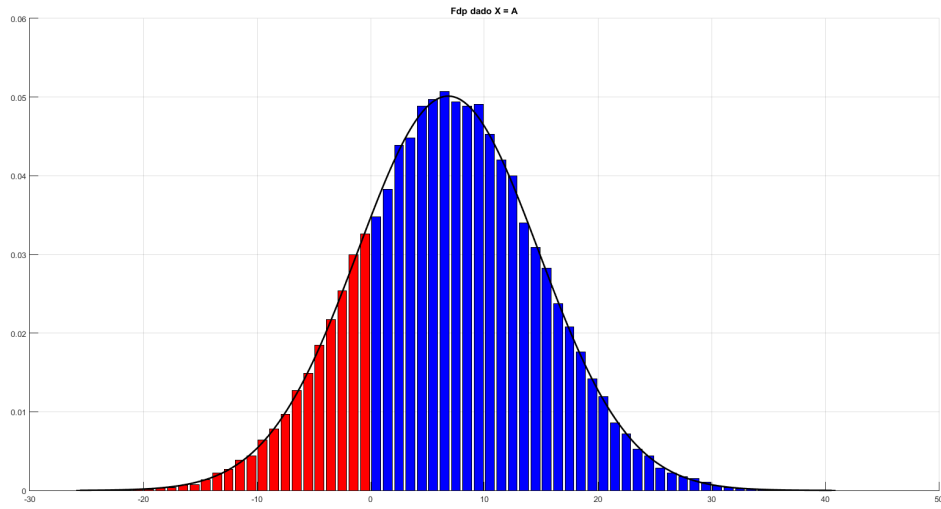


Figure 3.4 – Función de densidad de probabilidad $f_{Y_n|X=A}$. En rojo los eventos de Error.

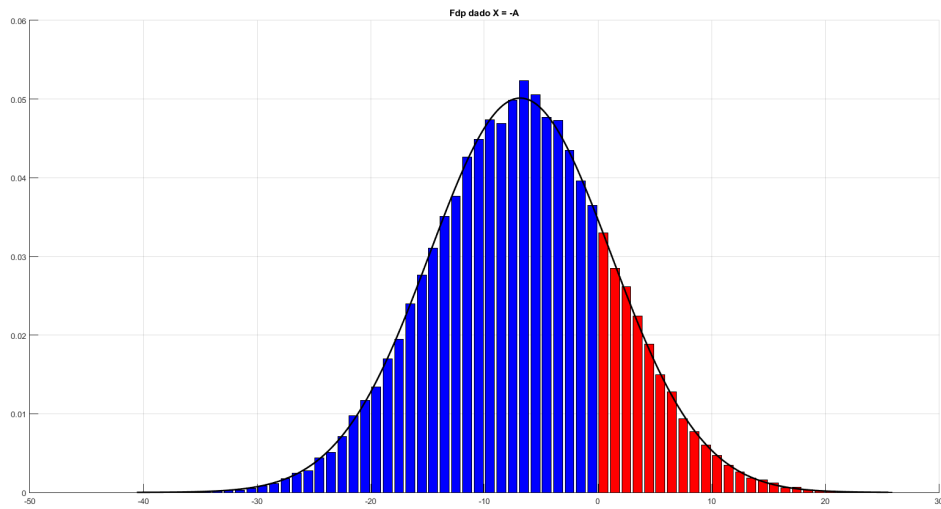


Figure 3.5 – Función de densidad de probabilidad $f_{Y_n|X=-A}$. En rojo los eventos de Error.

4 Conclusiones

Como conclusión podemos decir que es muy sencillo diseñar un sistema de repetidores tanto digital como analógico utilizando la herramienta de calculo correspondiente para poder conocer sus alcances y falencias.

Más importante aún por medio de las simulaciones tenemos información más certera sobre las hipótesis teóricas calculadas previamente.

En particular notamos que a medida que aumenta la relación de señal ruido SNR, mejora más rápido el sistema digital comparado al analógico.

Sin embargo la señal analógica con ruido puede ser interpretada por un ser humano, de modo que la información transmitida puede llegar al receptor aún con ruido. En cambio la señal digital no posee ninguna distorsión sino que su funcionamiento es binario, se interpreta la información transmitida o no.