



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE UN SISTEMA DE
COMUNICACIÓN INALÁMBRICA DE TRANSMISIÓN DE TEXTO
CON UNA SOLA PORTADORA UTILIZANDO ECUALIZACIÓN
DE WINER, DIRECTO Y ZERO-FORCING SOBRE UN CANAL
MULTIPASO.**

**EXAMEN COMPLEXIVO, COMPONENTE PRÁCTICO
INFORME DE PROYECTO**

Previa a la obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

Edison Javier Samaniego Paucar

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO 2016

AGRADECIMIENTOS

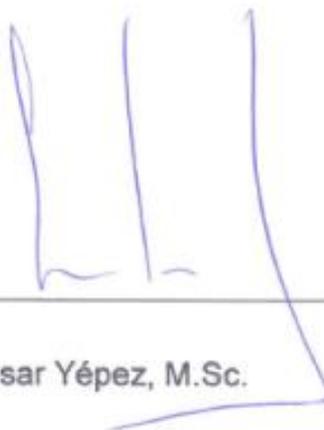
A todas y cada una de las personas que de una u otra manera contribuyeron para que este trabajo concluyera de manera exitosa.

DEDICATORIA

A Gladys Ortiz por su amor y paciencia.

A Mía Isabel por ser la mayor inspiración de mi vida.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

A handwritten signature in blue ink, consisting of three vertical strokes and a horizontal base, positioned above a horizontal line.

Cesar Yépez, M.Sc.

EVALUADOR

A handwritten signature in blue ink, featuring a large, stylized initial 'E' and a cursive name, positioned above a horizontal line.

Edison del Rosario, M.Sc.

EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Informe de Proyecto, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

Art. 12 del Reglamento de Graduación.



Edison Javier Samaniego Paucar

C.I.: 0603317462

RESUMEN

El presente proyecto radica en el diseño, implementación y comparación de un sistema inalámbrico de transmisión de texto, utilizando ecualización de canal y varias secuencias de entrenamiento, se trabajó para ello el entorno de desarrollo LabView y módulos adicionales que comprenden hardware – software, que ayudo en la obtención de texto para su transmisión, también se agregó una etapa adicional para representar un canal tipo Multi-Paso con cuatro perfiles diferentes (In door – Out door).

Se utilizaron tres modulaciones 8PSK, 16QAM, 64QAM, tres tipos de ecualización lineal como es la de Wiener, Directa y la denominada Zero-Forcing, y tres secuencias de entrenamiento; Gold, Frank y Willard.

Se analizó el comportamiento de las gráficas BER VS SNR de los diferentes ecualizadores simulando diversos niveles de ruido, modelamiento de canales multipasos, modulaciones y secuencias de entrenamiento. Con la finalidad de estudiar como determinados factores afectan la comunicación de texto y establecer mejores criterios al momento de elegir un sistema más óptimo para la transmisión de texto.

INDICE

| | |
|---|-----|
| AGRADECIMIENTOS | I |
| DEDICATORIA | II |
| TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN | III |
| DECLARACIÓN EXPRESA | IV |
| RESUMEN | V |
| INDICE | vi |
| LISTA DE FIGURAS | ix |
| LISTA DE TABLAS | xi |
| 1. CANAL INALÁMBRICO | 13 |
| 1.1. Modelos de Canal Inalámbrico | 13 |
| 1.2. Canal Multipaso..... | 13 |
| 2. ECUALIZADORES | 17 |
| 2.1 Ecualizador Zero-Forcing..... | 17 |
| 2.3 Ecualizador de Mínimos Cuadrados..... | 20 |
| 2.4 Ecualizador de Wiener | 21 |
| 3. MODULACIÓN | 24 |
| 3.1 8 PSK 24 | |
| 3.2 16 QAM 25 | |
| 3.3 64 QAM 25 | |
| 4. Secuencias de Entrenamiento | 27 |
| 4.1 Secuencia de Entrenamiento Gold..... | 27 |
| 4.2 Secuencia de Entrenamiento Willard..... | 29 |
| 4.3 Secuencia de Entrenamiento Frank | 29 |
| 5. TEXTO | 30 |
| 5. RESULTADOS | 31 |

| | |
|--|----|
| A. Respuestas de los ecualizadores a distintos tipos de canales..... | 31 |
| B. Respuesta de los ecualizadores a diferentes tipos de modulaciones..... | 35 |
| C. Respuestas de los ecualizadores a diferentes secuencias de entrenamiento..... | 37 |
| D. Tolerancia al ruido del sistema..... | 39 |
| CONCLUSIONES | 41 |
| REFERENCIAS | 43 |
| ANEXOS | 46 |

ABREVIATURAS

| | |
|-------------|-------------------------------|
| SNR | Signal to Noise Ratio |
| BER | Bit Error Rate |
| QPSK | Quadrature Phase-Shift Keying |
| PSK | Phase-Shift Keying |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ejemplo de comunicación Multi-trayectoria Canal Multipaso | 14 |
| Figura 2. Perfil de Potencia para escenario Interior de Oficina Tabla 1, canal 2A. | 15 |
| Figura 3. Perfil de Potencia para escenario Interior de Oficina Tabla 1, canal 2B. | 16 |
| Figura 4. Perfil de Potencia para escenario Exterior Áreas Rurales Tabla 1, canal 4A. | 16 |
| Figura 5. Perfil de Potencia para escenario Exterior Áreas Rurales Tabla 1 canal 4B. | 16 |
| Figura 6. Sistema de Comunicación Inalámbrica con Ecuación 17 | 17 |
| Figura 7. Diagrama de Bloques de Ecuación Zero-Forcing | 19 |
| Figura 8 Diagrama de Bloques de Ecuación Mínimo Cuadrado Directo | 21 |
| Figura 9. Diagrama de Bloques de Ecuación Wiener. | 23 |
| Figura 10. Ejemplo de Constelación 8PSK. | 24 |
| Figura 11. Constelación de la Modulación 16-QAM. | 25 |
| Figura 12. Constelación de la Modulación 64-QAM. | 26 |
| Figura 13. Generador de secuencias Gold. [13] | 28 |
| Figura 14. Frecuencia de Entrenamiento Willard. | 29 |
| Figura 15. Etapas de Procesamiento de Texto. | 30 |
| Figura 16. BER vs SNR del ecualizador Directo en canales indoor y outdoor, modulación 8PSK. | 32 |
| Figura 17. BER vs SNR del ecualizador Zero-Forcing en canales indoor y outdoor, modulación 8PSK. | 32 |
| Figura 18. BER vs SNR del ecualizador Wiener en canales indoor y outdoor, modulación 8PSK. | 33 |
| Figura 19. BER vs SNR de los ecualizadores Directo, Wiener y Zero-Forcing en diferentes canales indoor y outdoor, modulación 8PSK | 34 |
| Figura 20 BER vs SNR de los ecualizadores Directo, Wiener y Zero-Forcing en diferentes canales indoor y outdoor, modulación 16QAM | 34 |
| Figura 21. BER vs SNR de los ecualizadores Directo, Wiener y Zero-Forcing en diferentes canales indoor y outdoor, modulación 64QAM | 34 |

| | |
|--|----|
| Figura 22. BER vs SNR de ecualizador directo y modulación 8PSK, 16 QAM y 64 QAM | 35 |
| Figura 23. BER vs SNR de ecualizador directo en modulación 8PSK, 16 QAM, 64 QAM | 36 |
| Figura 24. BER vs SNR de ecualizador Zero-Forcing en modulación 8PSK, 16 QAM, 64 QAM | 36 |
| Figura 25. BER vs SNR de ecualizador Wiener en modulación 8PSK, 16 QAM, 64 QAM | 37 |
| Figura 26. BER vs SNR de los ecualizadores con secuencia de entrenamiento Frank-25, Willard-13, Gold-31, en modulación 8PSK | 38 |
| Figura 27. BER vs SNR de los ecualizadores con secuencia de entrenamiento Frank-25, Willard-13, Gold-31, en modulación 16QAM. | 38 |
| Figura 28. BER vs SNR de los ecualizadores con secuencia de entrenamiento Frank-25, Willard-13, Gold-31, en modulación 64QAM. | 38 |
| Figura 29. Rb vs SNR del ecualizador Directo en modulación 8PSK | 39 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Perfiles de Retardo de Potencia para Interior de Oficina, y Exterior en Áreas Rurales..... | 14 |
| Tabla 2 Secuencias Gold Obtenidas. [13]. | 28 |
| Tabla 3. Secuencia de Entrenamiento Willard. | 29 |

INTRODUCCIÓN

Basados en la imperiosa necesidad del hombre por comunicarse, la transmisión de datos mediante el medio inalámbrico ha otorgado a la humanidad innumerables beneficios, entre los cuales tenemos el uso de varias tecnologías como son Bluetooth, Wimax, Wi-Fi, entre otras, lamentablemente este tipo de transmisión es susceptible a diversos tipos de problemas entre los que se predomina ruidos, interferencia inter-simbólica, interferencia co- canal, que dificultan sustancialmente el uso de este tipo de comunicación.

En busca de neutralizar los efectos ocasionados por los inconvenientes anteriormente mencionados se ofrecen varias herramientas, entre las que se enfatizan la ecualización de canal, diversos tipos de modulación, y finalmente el uso de varios tipos de códigos que permiten optimizar la comunicación al mejorar la sincronización, obteniendo resultados aceptables.

El software LabView conjuntamente con equipos especializados USRP2910 (Universal Software Radio Peripheral), se procedió a configurar las distintas etapas de comunicación y realizar un modelo avanzado con los requerimientos propuestos para este trabajo.

Para realizar este proyecto se basó en las prácticas del manual Digital Wireless Communication Physical Layer Exploration Lab Using the NI USRP y EE49 Laboratory 1 Source Coding [1].

1. CANAL INALÁMBRICO

1.1. Modelos de Canal Inalámbrico

El sistema de comunicaciones básico está formado por un transmisor Tx, un Canal y un receptor RX. El transmisor inyecta una señal en el canal que la entrega al receptor, el cual debe recuperar la información contenida en la señal recibida a pesar de las limitaciones introducidas por el canal.

El canal puede ser física, como un cable de cobre o una fibra óptica, o simplemente aire, e inclusive el vacío que transmite las ondas electromagnéticas. Todo canal es sometido a algún tipo de ruido eléctrico y a interferencia, atenuará la señal, la retardará y le cambiará en alguna medida su forma (distorsión) [2].

El medio por el cual se transmiten las ondas electromagnéticas poseen diferentes propiedades que inciden de varias formas en la propagación de una señal, así también el tipo de comunicación a utilizar, como por ejemplo banda ancha, banda angosta, la frecuencia y otras propiedades, hacen que un mismo entorno físico se comporte de forma diferente. De acuerdo al tipo de comunicación y medio surge la necesidad de modelar el canal por el cual se transmitirán las señales. Para este trabajo se utiliza el Canal denominado Multipaso que se lo obtiene a partir de un modelo computacional [3].

1.2. Canal Multipaso

Este es uno de los modelos más comunes utilizados en sistemas de comunicaciones, su principal uso en telefonía móvil, en la cual la multi-trayectoria permite que se puedan realizar enlaces entre un emisor y un receptor, aunque

estos no tengan línea de vista, esto es lo que sucede cuando utilizamos un celular al interior de un edificio o sin línea directa hacia las antenas de transmisión como se aprecia en la figura 1. Cuando se suman las diferentes contribuciones de las trayectorias que toma una señal en un punto específico [3].

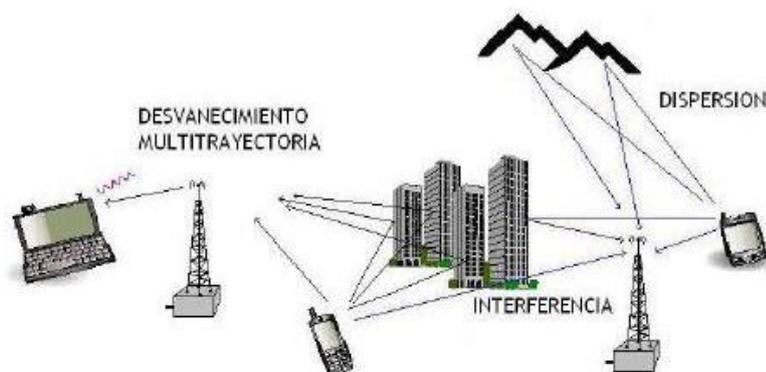


Figura 1. Ejemplo de comunicación Multi-trayectoria Canal Multipaso

Para obtener la señal resultante, se requiere simular este tipo de canal utilizando varias trayectorias las cuales se representan mediante un perfil de retardo de potencia o power delay profile. Para esta investigación, se utilizaron cuatro perfiles diferentes que se los pueden apreciar en la Tabla 1.

Tabla 1. Perfiles de Retardo de Potencia para Interior de Oficina, y Exterior en Áreas Rurales.

| Perfiles Interior de Oficina | | | | |
|------------------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|
| Tabla Canal 2 ^a | | | Tabla Canal 2B | |
| No. | Retardo (nSec) | Prom. Potencia (dB) | Retardo (nSec) | Prom. Potencia (dB) |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 100 | -8,5 | 100 | -3,6 |
| 3 | | | 200 | -7,2 |
| 4 | | | 300 | -10,8 |
| 5 | | | 500 | -18 |
| 6 | | | 700 | -25,2 |

| Perfiles Interior de Oficina | | | | |
|---------------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------|---------------------------|
| Tabla Canal 2 ^a | | Tabla Canal 2B | | |
| Perfiles Exterior Áreas Rurales | | | | |
| No. | Tabla Canal 4 ^a | | Tabla Canal 4B | |
| | Retardo (uSec) | Prom. Potencia (dB) | Retardo (uSec) | Prom. Potencia (dB) |
| 1 | 0 | 0 | 0.0 | 0 |
| 2 | 0.2 | -2 | 0.1 | -4 |
| 3 | 0.4 | -10 | 0.2 | -8 |
| 4 | 0.6 | -20 | 0.3 | -12 |
| 5 | | | 0.4 | -16 |
| 6 | | | 0.5 | -20 |

Los perfiles de Retardo de Potencia que se obtuvo en la transmisión real se muestran en las Figuras 2, 3, 4 y 5.

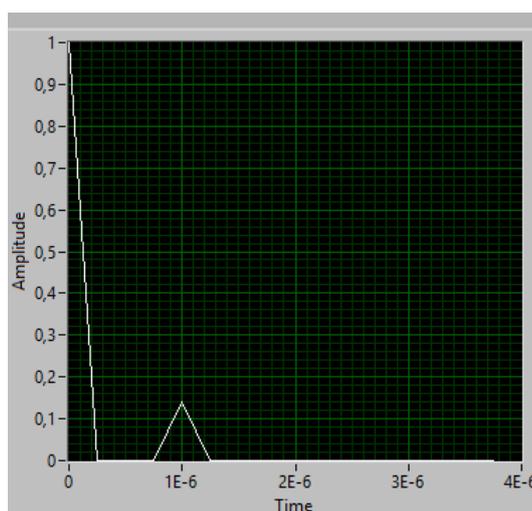


Figura 2. Perfil de Potencia para escenario Interior de Oficina Tabla 1, canal 2A.

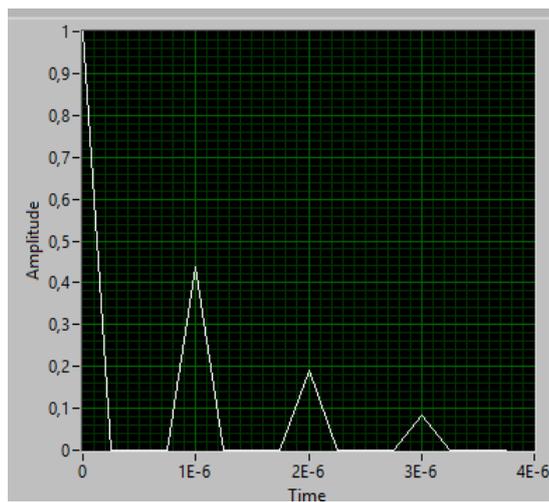


Figura 3. Perfil de Potencia para escenario Interior de Oficina Tabla 1, canal 2B.

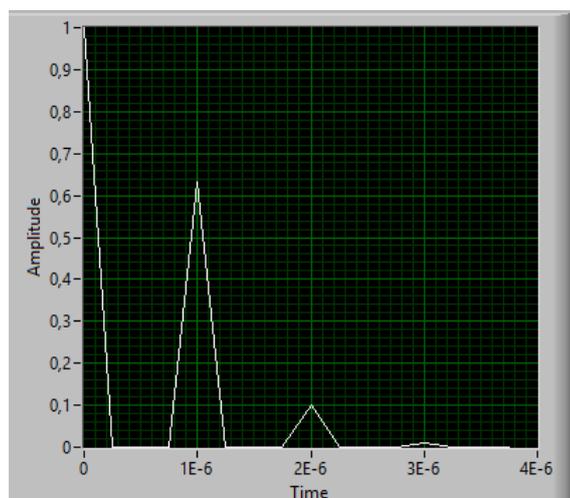


Figura 4. Perfil de Potencia para escenario Exterior Áreas Rurales Tabla 1, canal 4A.

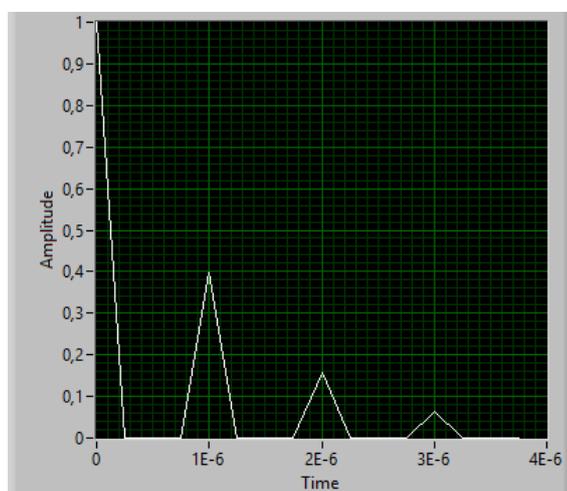


Figura 5. Perfil de Potencia para escenario Exterior Áreas Rurales Tabla1 canal 4B.

2. ECUALIZADORES

Los ecualizadores, son los que permiten en gran medida mitigar los efectos del medio por el cual se desenvuelve el proceso de comunicación inalámbrica o de otros medios.

Un sistema de comunicación inalámbrica está representado por la Figura 6.

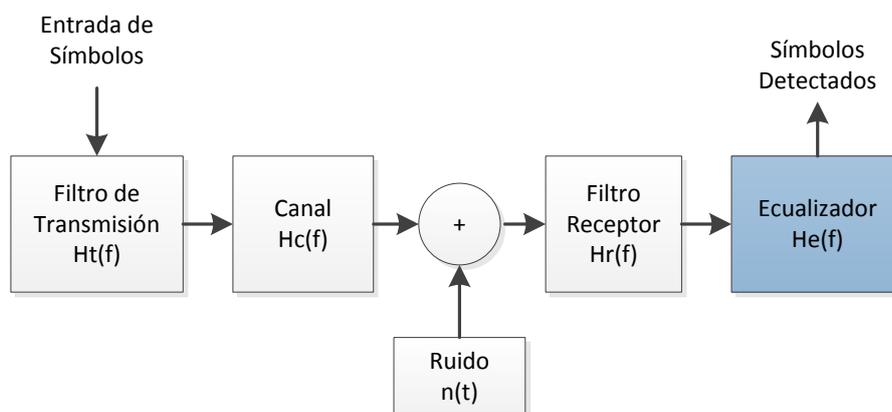


Figura 6. Sistema de Comunicación Inalámbrica con Ecualización

Para lograr una comunicación sobre canales inalámbricos se presentan muchos factores que alteran las diversas propiedades de las ondas, como es la atenuación, multi-trayectoria, efecto doppler, entre otros, los cuales inciden en la elección correcta del tipo de ecualización a utilizar.

Existen tres tipos de ecualizadores, adaptativos, que utilizaremos para este trabajo, los que se describen a continuación.

2.1 Ecuador Zero-Forcing

Ecuador del tipo lineal, el cual utiliza el criterio de distorsión de pico [4], este ecualizador trabaja en el dominio de la frecuencia.

De la Figura 2 tenemos que para eliminar la interferencia intersimbólica producida por el canal $H_c(f)$ la función del ecualizador sería la de cancelar de alguna forma a $H_c(f)$ para lo cual $H_e(f)$ tomaría el siguiente valor [5]:

$$H_e(f) = \frac{1}{H_c(f)} \quad (1)$$

$H_c(f)$ que para el presente proyecto es una estimación del canal, se lo obtiene haciendo uso de secuencias de entrenamiento que son códigos que poseen propiedades especiales de autocorrelación, correlación cruzada especial [6], y los cuales son conocidas tanto por el transmisor, como por el receptor, y haciendo uso de la herramienta matemática conocida como Mínimos Cuadrados que permite estimar el canal.

Si tenemos una ecuación dada por:

$$Ax = B \quad (2)$$

Mediante la solución de Mínimos Cuadrados [7], se puede demostrar que el valor de la función x se aproxima a lo siguiente:

$$x_{LS} = (A^*A)^{-1}A^*B \quad (3)$$

Reescribiendo las ecuaciones para encontrar la estimación de canal tenemos que:

$$T.H_c(t) = Y(t) \quad (4)$$

Donde T es una matriz cuadrada invertible tipo toeplitz de la secuencia de entrenamiento conocida, $Y(t)$ los simbolos obtenidos luego de pasar por el canal y H_c es la estimación de canal por lo tanto:

$$H_c(t) = (T^*T)^{-1}T^*Y(t) \quad (5)$$

Para obtener el ecualizador Zero-Forcing, al canal estimado H_c pasa al dominio de la frecuencia en el cual se obtiene su inversa, a la cual nuevamente se la transforma al dominio del tiempo con lo cual obtenemos el ecualizador.

$$\mathbb{F}[H_c(t)] = H_c(f) \quad (6)$$

$$H_e(f) = H_c(f)^{-1} \quad (7)$$

$$H_e(t) = \mathbb{F}^{-1}[H_e(f)] \quad (8)$$

El principal objetivo de este tipo de ecualizador es el de eliminar la interferencia intersimbólica, mientras que el mayor inconveniente que posee el ecualizador es el que no mitiga los efectos de ruido, en algunas situaciones mas bien los amplifica.

En la Figura 7 se presenta el diagrama de Bloques que permite el calculo del ecualizador Zero-Forcing en el programa LabView.

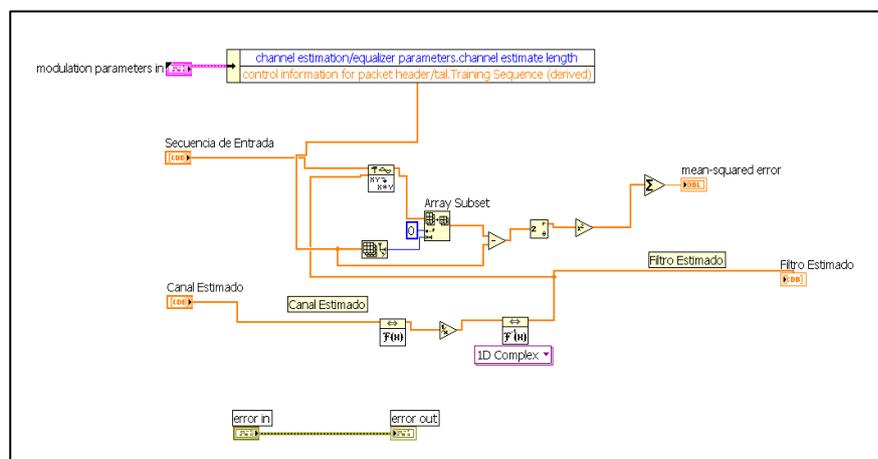


Figura 7. Diagrama de Bloques de Ecualizador Zero-Forcing

2.3 Ecuador de Míminos Cuadrados

El ecualizador de Míminos Cuadrados Directo tiene por objetivo el optimizar el uso de procesamiento digital, para el cálculo de este ecualizador no se hace uso de estimación de canal, solo requiere calcular directamente el ecualizador a partir de la secuencia de entrenamiento utilizada haciendo uso de la técnica de Míminos Cuadrados mencionada anteriormente.

Tenemos una señal S obtenida luego de pasar por el ecualizador con un retraso n_d que se representa con la siguiente ecuación

$$S[n - n_d] = \sum_{l=0}^{L_f} f_{nd}[l]y[n - l] \quad (9)$$

Donde $S[n-n_d]$ es la señal recibida después de la ecualización, $y[n-l]$ es la señal recibida antes de la ecualización y $f_{nd}[l]$ es el ecualizador.

Tenemos que $S[n-n_d]$ es una secuencia de entrenamiento conocida por lo tanto $S[n-n_d] = S_e[n-n_d]$ para $n = n_d, n_d+1, \dots, n_d+N_t$ entonces tenemos que:

$$S_e[n] = \sum_{l=0}^{L_f} f_{nd}[l]y[n + n_d - l] \quad (10)$$

Nos encontramos con un problema que se puede resolver mediante el método de mínimos cuadrados donde:

$$f_{nd} = (Y_{nd}^* Y_{nd})^{-1} Y_{nd}^* S_e \quad (11)$$

Y el error cuadrático medio está dado por:

$$J_f[n_d] = \|S_e - \hat{Y}_{nd} \hat{f}_{nd}\|^2 \quad (12)$$

En la Figura 8 se muestra el diagrama de bloques utilizado para implementar este ecualizador en el programa LabView.

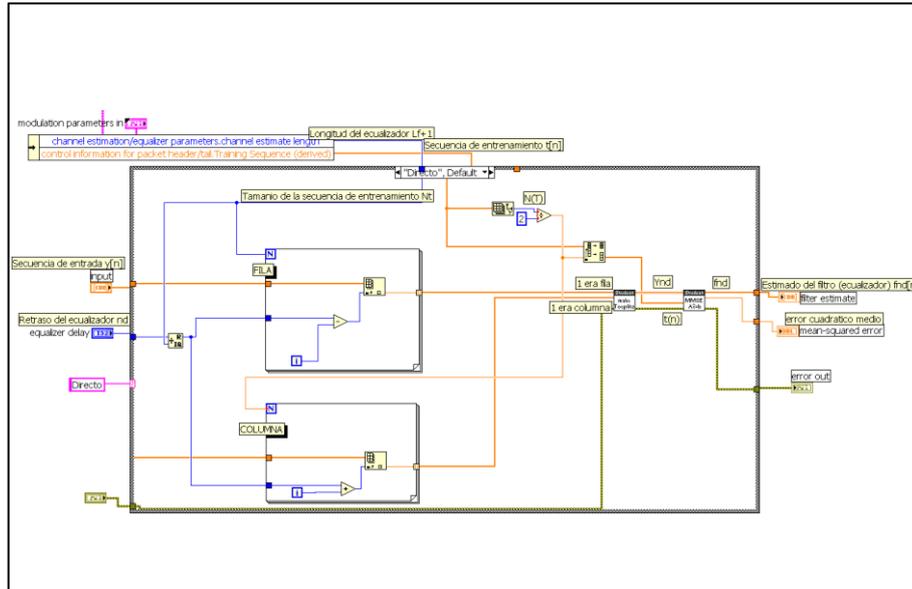


Figura 8 Diagrama de Bloques de Ecuadorador Mínimo Cuadrado Directo

2.4 Ecuadorador de Wiener

Es un ecualizador lineal preestablecido. El filtro Wiener soluciona el problema de estimación de señal a través de un proceso aleatorio de filtrado de una señal observada para señales estacionarias. Para la estimación de la señal se basa de un modelo estadístico llamado inferencia bayesiana. El filtro Wiener es óptimo para el Mínimo Error Cuadrático Medio (MMSE) ya que ajusta la señal estimada a la señal desea [8].

Al analizar el filtro Wiener en un tiempo discreto consideramos las dos señales estacionaras en sentido amplio, S_k la señal que se desea estimar y Y_k la señal observada, con sus funciones de covarianzas conocidas $R_s(k)$, $R_y(k)$ y $R_{sy}(k)$. Para estimar S_k en función de Y_k debemos encontrar el MMSE lineal [9].

Considerando un filtro Wiener de longitud $N+1$:

$$\hat{S}_k = \sum_{m=k-N}^k h_k - m Y_n = \sum_{i=0}^N h_i Y_{k-i} \quad (13)$$

Nosotros necesitamos encontrar los coeficientes h_i que minimicen el error cuadrático (MSE), para hacer esto se debe aplicar el principio de ortogonalidad [4], [9].

$$E[(S_k - \hat{S}_k)Y_{k-j}] = 0 ; j = 0,1, \dots, N \quad (14)$$

Dando como resultado:

$$\sum_{i=0}^N h_i E[Y_{k-i}Y_{k-j}] = E(S_k Y_{k-j}) \quad (15)$$

$$\sum_{i=0}^N h_i R_y(i-j) = R_{sy}(j) \quad (16)$$

Construyendo las ecuaciones lineales nos queda una matriz de tipo Toeplitz.

$$\underbrace{\begin{bmatrix} R_y(0) & R_y(1) & \dots & R_y(N) \\ R_y(1) & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & R_y(1) \\ R_y(N) & \ddots & R_y(1) & R_y(0) \end{bmatrix}}_{R_y} \underbrace{\begin{bmatrix} h_0 \\ \vdots \\ \vdots \\ h_N \end{bmatrix}}_h = \begin{bmatrix} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$R_y h = r_{sy} \rightarrow h = R_y^{-1} r_{sy} \quad (18)$$

El sistema de ecuaciones son tipo Yule-Walker, donde $R_y \geq 0$. Ahora el MMSE puede ser más fácil calcular. [4] [9]

$$E[(S_k - \hat{S}_k)^2] = E[(S_k - \hat{S}_k)(-S_k)] \quad (19)$$

$$E[(S_k - \hat{S}_k)^2] = R_y(0) - E[(S_k \hat{S}_k)] \quad (20)$$

$$E[(S_k - \hat{S}_k)^2] = R_y(0) - h^T R_{Sy} \quad (21)$$

En la figura 9. Se muestra el diagrama de bloques utilizado, para implementar este ecualizador en el programa LabView.

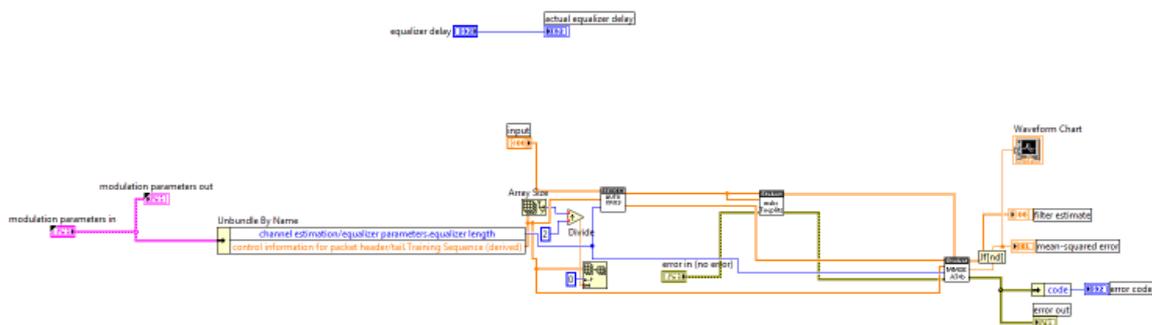


Figura 9. Diagrama de Bloques de Ecualizador Wiener.

3. MODULACIÓN

Para el desarrollo de este proyecto se utilizaron tres tipos de modulaciones basadas en desplazamiento de fase (8PSK, 16QAM, 64QAM).

3.1 8 PSK

En todas las modulaciones PSK la forma de onda se puede representar de la siguiente manera:

$$S(t) = \text{Re} \left[g(t) e^{j2\pi \frac{m-1}{M}} e^{-j\omega_c t} \right] \quad (22)$$

Donde m que representa las diversas fases puede tomar los valores $0, 1, 2, \dots, M$ donde M es el número de fases, el tiempo está dado por $0 \leq t \leq T$, T es el periodo y $g(t)$ es la expresión real en el dominio temporal del impulso conformador, [10].

La energía de cada símbolo es igual, sin embargo la capacidad para enviar información se duplica con lo que se puede enviar 8 símbolos, así mismo aumenta la tasa de error.

La Figura 10 muestra un ejemplo de una constelación real obtenida utilizando este tipo de modulación.

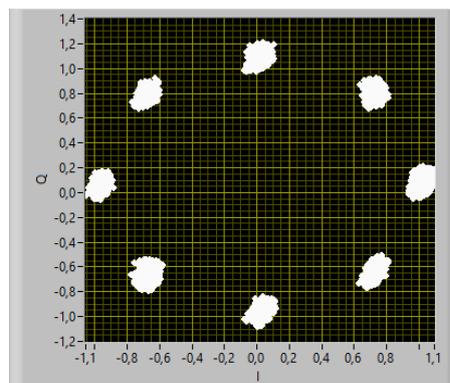


Figura 10. Ejemplo de Constelación 8PSK.

3.2 16 QAM

Es una modulación digital M-QAM, siendo $M=16$ y $N_b = \log_2(M) = 4$, donde N_b corresponde al número de bits por símbolo, de esta forma el modulador de 16 QAM trata los datos de entrada en grupos de 4 bits llamados quadbits. Esta técnica modula la señal de la portadora tanto en la amplitud como en su fase conjuntamente [11].

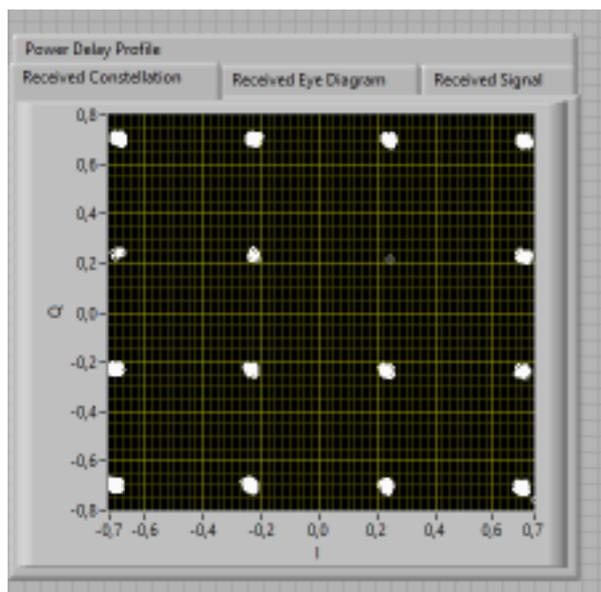


Figura 11. Constelación de la Modulación 16-QAM.

3.3 64 QAM

La técnica de modulación digital de amplitud en cuadratura (QAM), es una técnica en la cual el mensaje no está contenido únicamente en la variación de fase, como en la modulación PSK, sino que además está en la amplitud.

Además, la modulación QAM se basa en la transmisión de dos mensajes independientes, canales I-Q, por un único camino. Esto se consigue modulando una misma portadora, desfasada 90° entre uno y otro mensaje.

La representación de los distintos símbolos que se pueden representar en QAM suelen mostrarse en un diagrama de constelaciones.

En la figura 12, se puede observar el diagrama de constelaciones correspondiente a 64-QAM, para una señal binaria que puede generar todos los estados, [12].

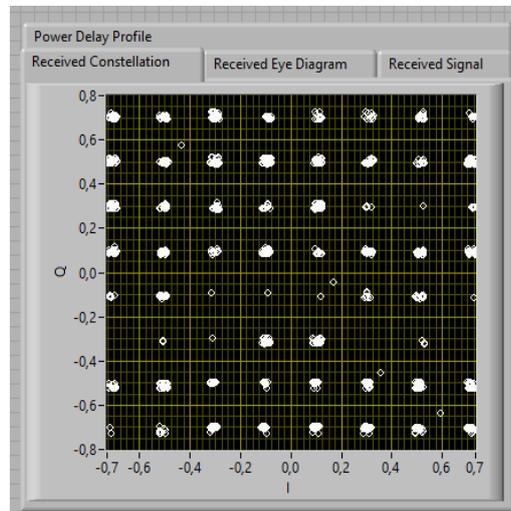


Figura 12. Constelación de la Modulación 64-QAM.

4. Secuencias de Entrenamiento

Las secuencias de bits, también conocidos como símbolos de entrenamiento (training sequence), son utilizados por el transmisor y el receptor. Esta secuencia de bits es sólo conocida por el transmisor y el receptor y es enviada en el burst de la señal. El propósito de la secuencia de entrenamiento es de servir de información para poder ayudar al estimador de canal encontrar el CIR. Esta secuencia es enviada previamente a la información y es enviada en todas las señales para poder hacer los ajustes necesarios, según el análisis del estimador de canal, y lograr la obtención de una señal sin efectos del canal de transmisión.

4.1 Secuencia de Entrenamiento Gold

Un conjunto de secuencias de Gold son generadas mediante la suma módulo-2 de dos M-Secuencias (pareja preferente) de igual longitud y longitud máxima ($2^m - 1$), tal que el valor absoluto de la correlación cruzada sea menor o igual que R.

$$R = \begin{cases} 2^{(m+1)/2} + 1; & m \text{ impar} \\ 2^{(m+1)/2} + 1; & m \text{ par } \wedge m \neq \text{mod } 4 \end{cases} \quad (23)$$

Las dos M-Secuencias partiendo de distintos estados iniciales son capaces de generar un conjunto de $2^m + 1$ secuencias Gold distintas, [13].

Ejemplo de secuencias Gold:

Dos registros de $m=3$, $N=7$ y $R=5$

Los polinomios que generan las secuencias:

$$G_1(z) = 1 + x + x^3$$

$$G_2(z) = 1 + x^2 + x^3$$

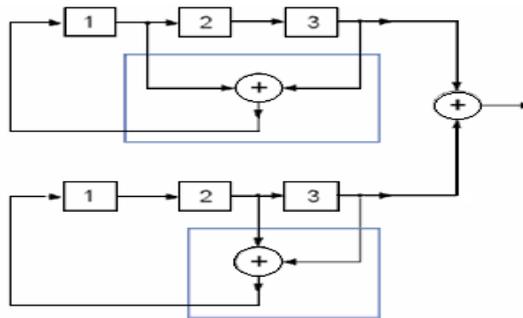


Figura 13. Generador de secuencias Gold. [13]

En la Tabla 2 se observa las diferentes secuencias obtenidas a través del generador de secuencias Gold con los polinomios anteriormente mencionados.

Tabla 2 Secuencias Gold Obtenidas. [13].

| Estado Inicial reg. 1 | Estado Inicial reg. 2 | Secuencia Gold |
|--------------------------|--------------------------|-------------------|
| 111 | 111 | 0000110 |
| 111 | 110 | 1001101 |
| 111 | 101 | 0101000 |
| 111 | 010 | 1011010 |
| 111 | 100 | 1100011 |
| 111 | 001 | 0111111 |
| 111 | 011 | 0010001 |
| 111 | 000 | 1110100 |
| 000 | 111 | 1110010 |

4.2 Secuencia de Entrenamiento Willard.

| N | BARKER SEQUENCES | WILLARD SEQUENCES |
|----|------------------|-------------------|
| 3 | 110 | 110 |
| 4 | 1110 or 1101 | 1100 |
| 5 | 11101 | 11010 |
| 7 | 1110010 | 1110100 |
| 11 | 11100010010 | 11101101000 |
| 13 | 1111100110101 | 1111100101000 |

Tabla 3. Secuencia de Entrenamiento Willard.

4.3 Secuencia de Entrenamiento Frank

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 2 & \dots & (N-1) \\ 0 & 2 & 4 & \dots & 2(N-1) \\ 0 & 3 & 6 & \dots & 3(N-1) \\ \cdot & & & & \\ \cdot & & & & \\ 0 & (N-1) & 2(N-1) & \dots & (N-1)^2 \end{bmatrix}$$

The phase of the i th code element in the j th row of code group is computed as

$$\Phi_{i,j} = \left(\frac{2\pi}{N}\right) (i-1)(j-1)$$

Figura 14. Frecuencia de Entrenamiento Willard.

5. TEXTO.

Para la transmisión y recepción, el procesamiento de Texto se realizó en etapas como se muestra en la Figura 15, para reducir el número de datos enviados se agrega una etapa de Del VI de Labview, con el que se obtiene un arreglo de caracteres que se necesita convertir a datos.

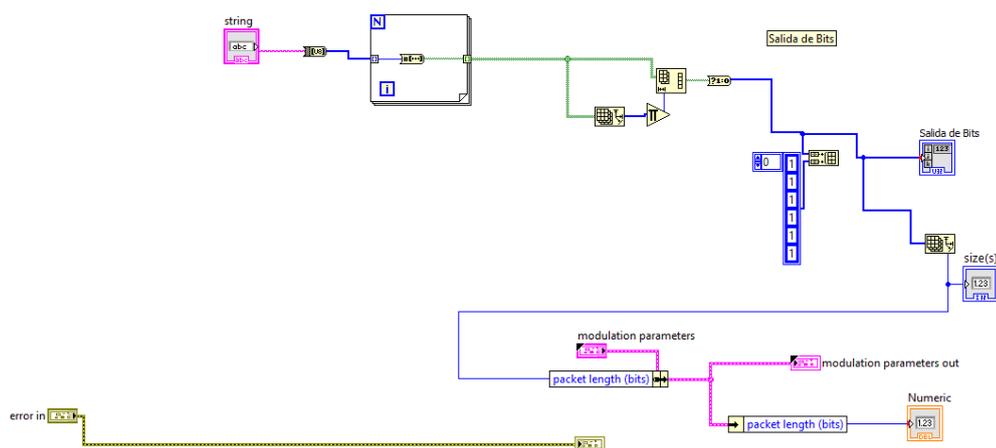


Figura 15. Etapas de Procesamiento de Texto.

5. RESULTADOS

Se utilizó las siguientes variables en diversos escenarios; se tiene tres tipos de modulaciones: 8PSK , 16QAM, y 64QAM; tres secuencias de entrenamiento: Gold, Willard y Frank; tres tipos de ecualizaciones: Mínimos cuadrados directa, Zero-Forcing y Wiener; velocidad de transmisión 20 MBPS y con un factor de sobre muestreo de 2 y 4.

Con el sistema de comunicación inalámbrico implementado, se procedió a realizar las diferentes pruebas transmitiendo texto, y tomando muestras de los diferentes escenarios objeto de estudio para este proyecto. Las siguientes gráficas BER vs SNR, miden el desempeño de los ecualizadores.

Para entender la visualización de las gráficas, los nombres, escenarios, ecualizadores, canales y secuencias de entrenamiento están representadas por su primera letra ejemplo: ecualizador Directo: D, ecualizador Wiener: W, ecualizador Zero Forcing ZF, canal Indoor A: I A, canal Outdoor B: O B, Simulación: S, Real: R, etc.

A. Respuestas de los ecualizadores a distintos tipos de canales

En la simulación de los diferentes canales multipasos indoor y outdoor los cuales se encuentran detallados en la tabla 1, se utilizó un modelamiento de canal ISI.

Se analiza cómo cada ecualizador responde a determinado canal, con modulación 8PSK, 16QAM, 64QAM, teniendo en consideración que los tres ecualizadores presentan el mismo escenario, es decir, secuencia de entrenamiento Willard, la misma tasa de transmisión y recepción, longitud del texto, etc.

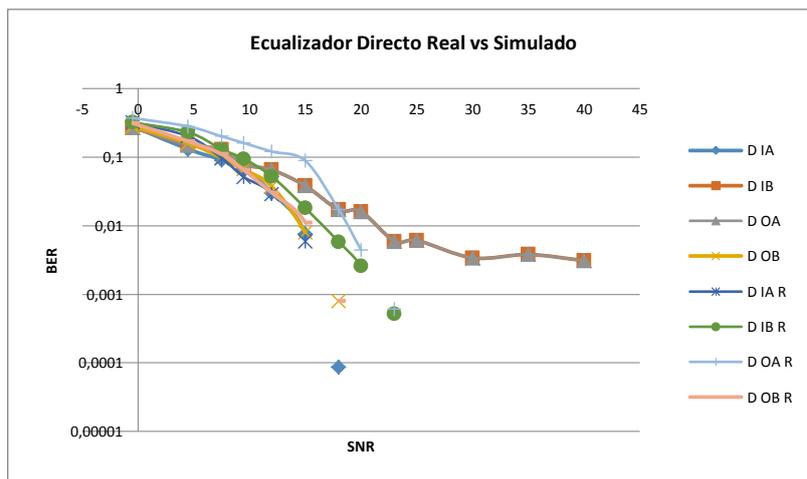


Figura 16. BER vs SNR del ecualizador Directo en canales indoor y outdoor, modulación 8PSK

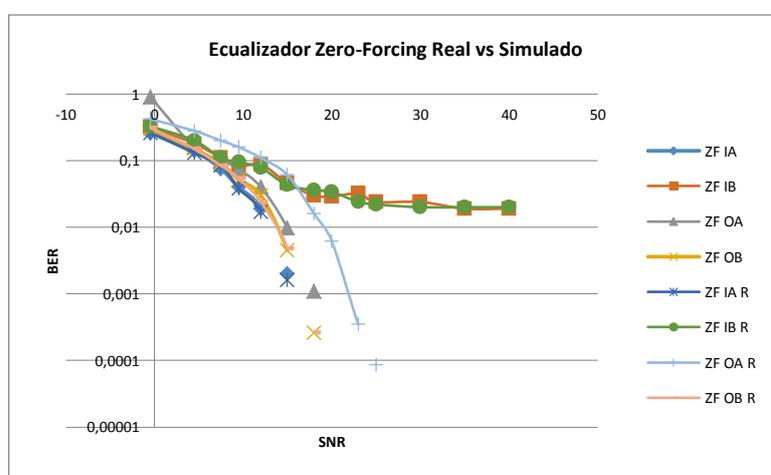


Figura 17. BER vs SNR del ecualizador Zero-Forcing en canales indoor y outdoor, modulación 8PSK

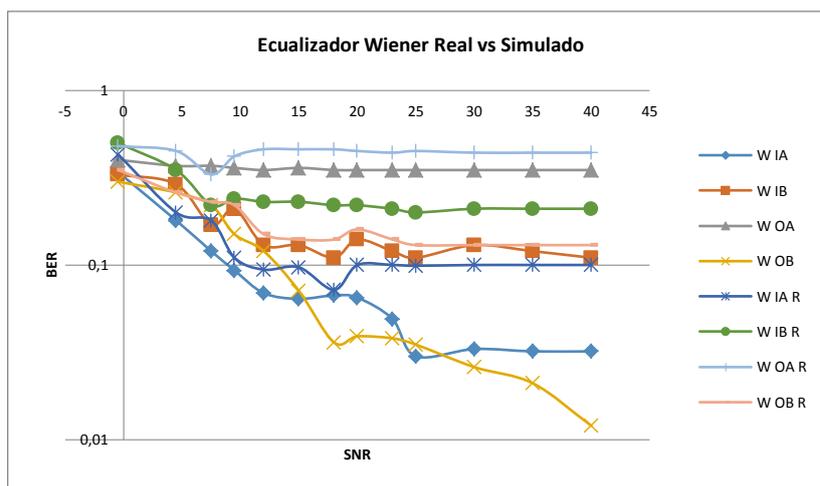


Figura 18. BER vs SNR del ecualizador Wiener en canales indoor y outdoor, modulación 8PSK

Como se puede apreciar en las Figuras 16,17 y 18 los tres ecualizadores tienen un mejor rendimiento ante el BER en los canales indoor A, que en los canales indoor (B), outdoor(A,B), como se muestran en las Tablas 2 y 4, los canales outdoor están conformados por un mayor número y tiempos de retardo de propagación y una potencia del pulso del retardo más elevada dando lugar a que la señal se disperse y se corrompa con como mayor facilidad en presencia del ruido y la interferencia intersimbólica (ISI) y entorpeciendo la tarea de estimación de los ecualizadores lineales.

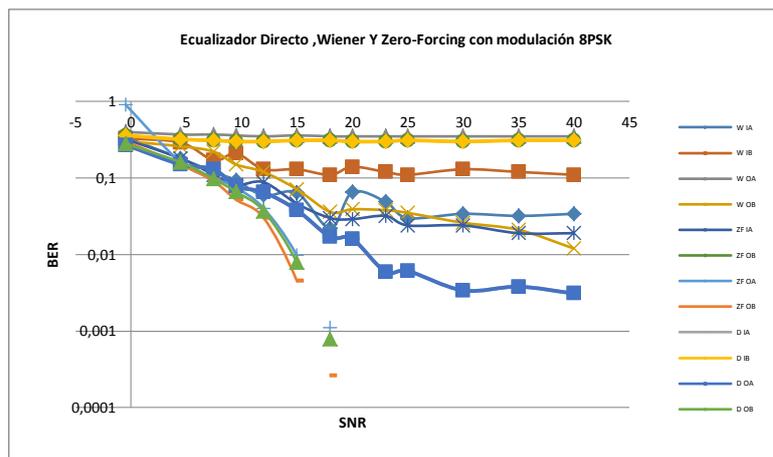


Figura 19. BER vs SNR de los ecualizadores Directo, Wiener y Zero-Forcing en diferentes canales indoor y outdoor, modulación 8PSK

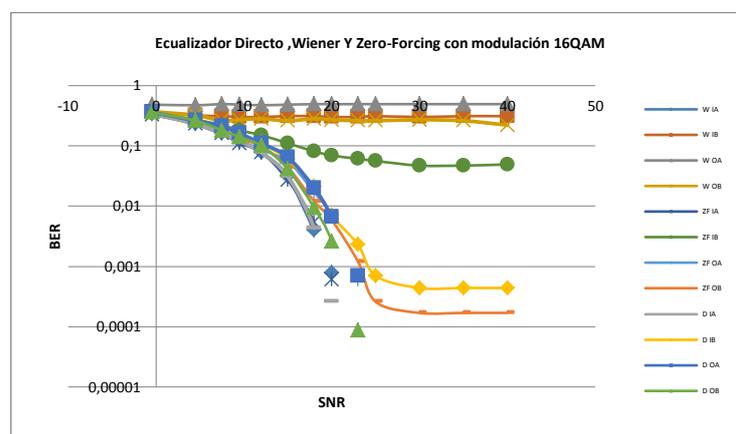


Figura 20. BER vs SNR de los ecualizadores Directo, Wiener y Zero-Forcing en diferentes canales indoor y outdoor, modulación 16QAM

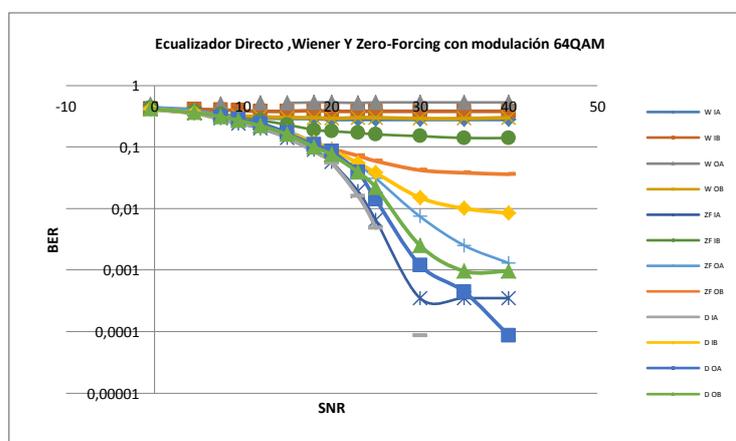


Figura 21. BER vs SNR de los ecualizadores Directo, Wiener y Zero-Forcing en diferentes canales indoor y outdoor, modulación 64QAM

En un análisis visual, las primeras curvas en decrecer se puede apreciar en las Figuras 19, 20 y 21, que el ecualizador Directo (D) presenta un mejor rendimiento en todos los canales Indoor (I) y Outdoor (O), en todas las modulaciones.

B. Respuesta de los ecualizadores a diferentes tipos de modulaciones

Se plantea que las pruebas de modulación con los ecualizadores serán sometidos a los diferentes canales indoor y outdoor, con una secuencia de entrenamiento Willard de 13 y las modulaciones 8PSK , 16-QAM, y 64-QAM..

Se conoce previamente que la modulación de 64-QAM posee mayor probabilidad de bit error que una modulación 8PSK, debido al número y separación de sus símbolos, siendo más susceptible a ISI la modulación 64-QAM. A continuación se puede apreciar en las Figuras 22 y 23, donde las primeras curvas en descender son las que corresponde a 8PSK.

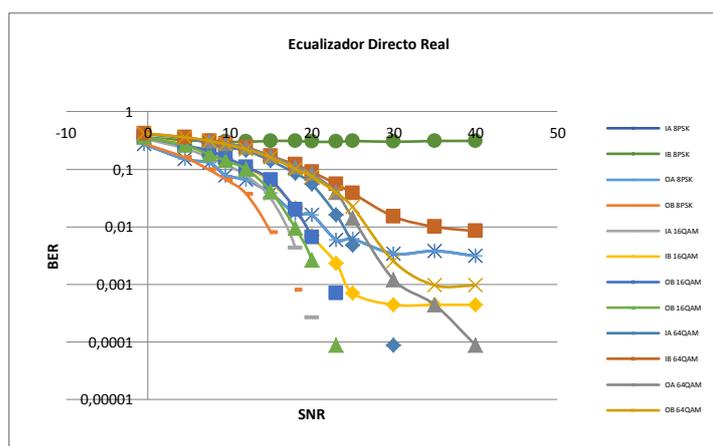


Figura 22. BER vs SNR de ecualizador directo y modulación 8PSK, 16 QAM y 64 QAM

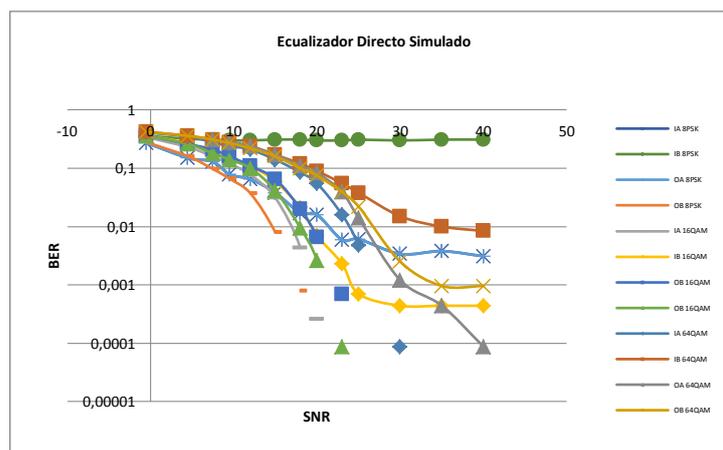


Figura 23. BER vs SNR de ecualizador directo en modulación 8PSK, 16 QAM, 64 QAM

Se observa en las Figuras 22 y 23, que el ecualizador directo tiene un mejor desempeño en la modulación 8PSK y especialmente para los canales indoor, tanto en los datos simulados como en los reales, mientras que los canales outdoor donde existe un ISI más severo, con una modulación de 64-QAM, el ecualizador no posee un buen desempeño.

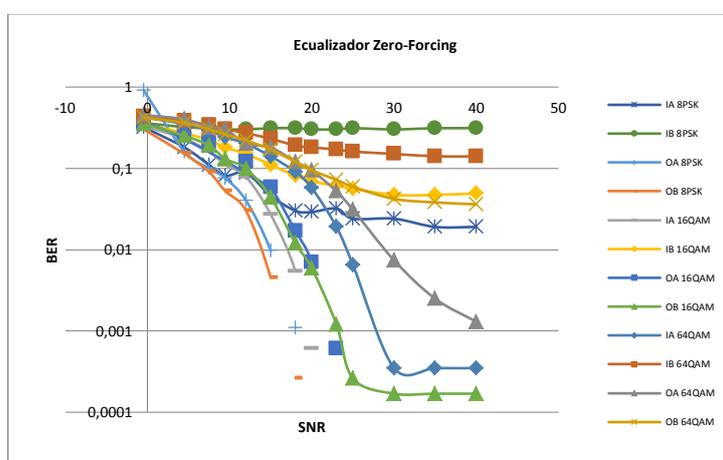


Figura 24. BER vs SNR de ecualizador Zero-Forcing en modulación 8PSK, 16 QAM, 64 QAM

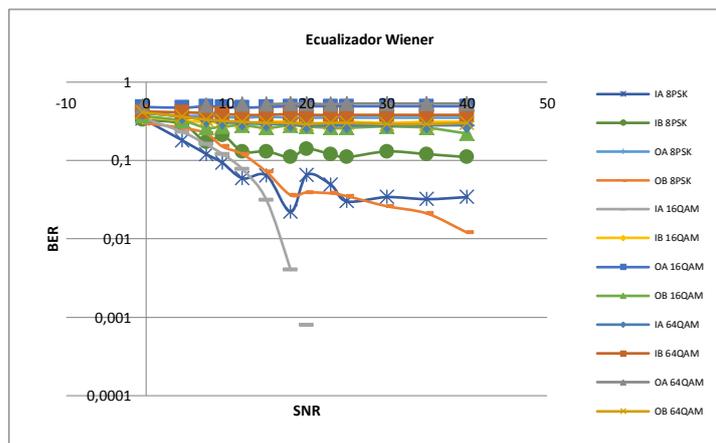


Figura 25. BER vs SNR de ecualizador Wiener en modulación 8PSK, 16 QAM, 64 QAM

En las Figuras 24 y 25, se aprecia que la mejor respuesta del ecualizador Zero-Forcing y Wiener es en una modulación 8PSK en el canal Indoor A, teniendo un peor desempeño que el ecualizador Directo en canales con ISI muy severo.

En las gráficas de las Figuras: 23, 24 y 25 podemos comprobar que el ecualizador directo (D) posee una mejor respuesta que el ecualizador Wiener (W) y Zero-Forcing en las tres modulaciones 8PSK, 16-QAM, 64-QAM.

C. Respuestas de los ecualizadores a diferentes secuencias de entrenamiento.

La secuencia de entrenamiento es un factor muy importante que ayuda en la sincronización de trama y en la estimación del ecualizador. Primero se observara el comportamiento de los ecualizadores con diferentes secuencias de entrenamiento y por ultimo como afecta al ecualizador los diferentes tamaños de una misma secuencia de entrenamiento en un mismo escenario

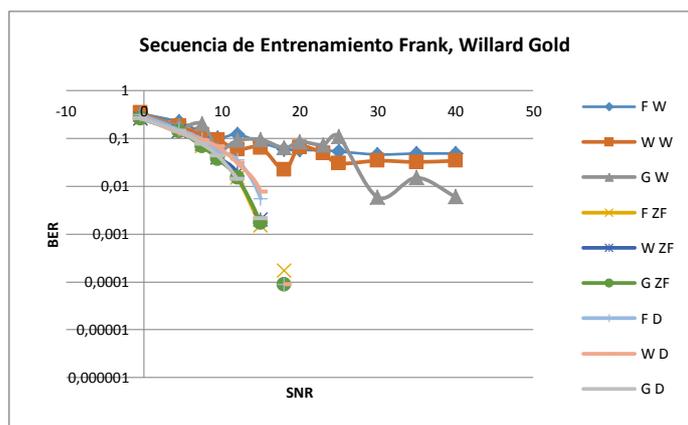


Figura 26. BER vs SNR de los ecualizadores con secuencia de entrenamiento Frank-25, Willard-13, Gold-31, en modulación 8PSK

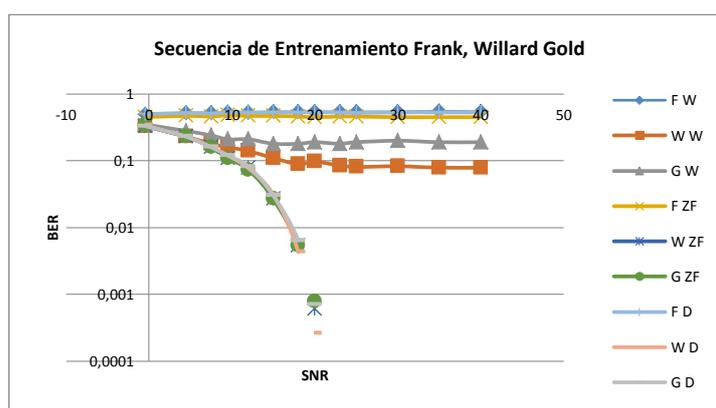


Figura 27. BER vs SNR de los ecualizadores con secuencia de entrenamiento Frank-25, Willard-13, Gold-31, en modulación 16QAM.

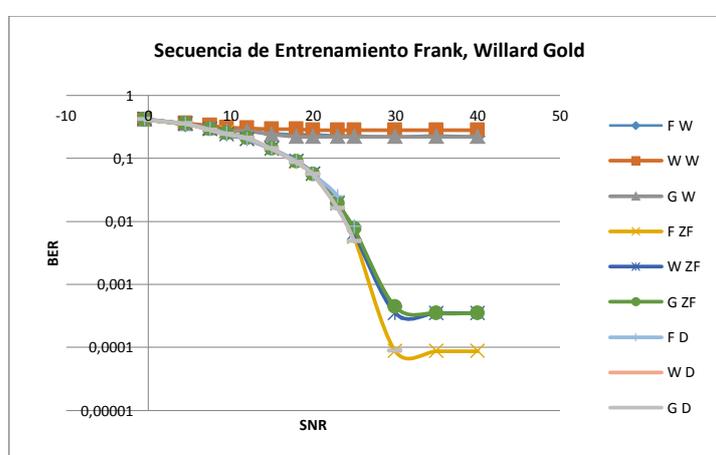


Figura 28. BER vs SNR de los ecualizadores con secuencia de entrenamiento Frank-25, Willard-13, Gold-31, en modulación 64QAM.

Dos factores importantes podemos apreciar al observar las curvas en las Figuras: 26, 27 Y 28, el primero es todas las secuencias de entrenamiento Willard (W) permiten una mejor estimación en los ecualizadores y el segundo factor que nuevamente el ecualizador Directo presenta un mejor desempeño que el ecualizador Wiener y Zero-Forcing con todas las secuencia de entrenamiento.

D. Tolerancia al ruido del sistema

Se busca un punto de frontera donde nuestro sistema es tolerable al ruido, entendiendo que la tasa de muestreo depende bastante del canal y que el inverso de la tasa de símbolo, corresponde al tiempo de símbolo, se mantendrá un tiempo de símbolo igual a la separación de cada retraso y le suministramos gradualmente un nivel de ruido al transmisor hasta encontrar el umbral donde el texto transmitido comienza a distorsionarse o es incomprensible.

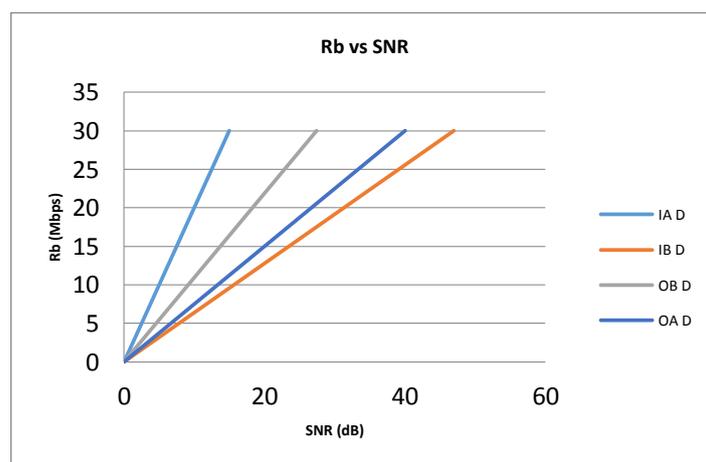


Figura 29. Rb vs SNR del ecualizador Directo en modulación 8PSK.

En la gráfica de la Figura 29, se puede apreciar de forma clara que a medida que aumenta la tasa de bit (R_b), también aumenta la relación señal ruido (SNR), de forma directamente proporcional, dicho esto podemos decir que el mejor sistema es aquel que tiene menos presencia de ruido en la señal a mayores tasas de transmisión de bits, esto significa que el ecualizador Directo en un canal Indoor A, es más tolerable al ruido a una tasa de 30 Mbits/s

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en este trabajo se puede concluir lo siguiente:

Cuando se trabaja con los canales multipasos, a medida que hay más retrasos se incrementa la interferencia inter-simbólica ISI, y en base a los resultados, los ecualizadores lineales no son óptimos en canales con ISI muy severo, esto se visualizó a través del comportamiento de los ecualizadores en las gráficas BER vs SNR con modulación 64-QAM, en especialmente en los canales Outdoor donde el sistema se hace más sensible a ISI.

Hablando en términos de rendimiento, el ecualizador Directo presenta un mejor método de estimación, esto se evidencio en todas las pruebas realizadas, por ejemplo el ecualizador Wiener, realiza un enfoque estadístico donde necesita de una señal deseada y de una señal observada para realizar la estimación, a esta dos señales le aplica el método de auto correlación y correlación cruzada para utilizar el método estadístico de error cuadrático medio, , mientras q los ecualizadores directo realizan la estimación del error directamente de la secuencia de entrenamiento, lo que lo hace más robusto al ruido [14].

Las modulaciones 8PSK son más robustas a ISI, mientras que la modulación 64-QAM transmite mayor número de bits por símbolo en un menor tiempo. Al utilizar un ecualizador Directo con una modulación 64-QAM podemos transmitir más rápido, lo cual es importante en una comunicación de texto, pero si lo hacemos en un canal con muchos retrasos la señal de texto llegará distorsionada por el ruido y el ISI, en este caso lo más adecuado sería preferir una comunicación comprensible con 8PSK antes de una comunicación rápida sin sentido.

La secuencia de entrenamiento Willard produjo un mejor desempeño en los

ecualizadores que la secuencia Gold y Frank, debido a que las secuencias Willard presentan mejores propiedades de auto correlación [1].

REFERENCIAS

- [1] E. L, "EE49 Lab 1: Source Coding Lab: Cosine Transform (DCT), sample quantization, and Huffman coding",, Version 9, National Instruments (2016)..
- [2] The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, «Materiales de apoyo para entrenadores en,» 1 11 2011. [En línea]. Available: http://passthrough.fw-notify.net/download/674145/http://www.eslared.org.ve/walc2012/material/track1/12_Telecomunicaciones%20Basicas_v1.pdf. [Último acceso: 10 10 2016].
- [3] R. Martín Rius y J. López Vicario, Diseño Cooperativo de un Sistema de Comunicaciones por Satélite Basado en Diversidad Espacial, Bellaterra: Universidad Autónoma de Barcelona, 2008.
- [4] C. A. Vélez y M. C. Kortum, "Diseño, Simulación e Implementación de Esquemas de Estimación de Canal y Ecuación de un Sistema de Comunicación Inalámbrico de una Sola Portadora ", Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2013.
- [5] M. Kortum, C. Velez y B. Ramos, «Performance comparison of linear equalization systems for wireless communications under Rayleigh channel,» 2015. [En línea]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7430145/?tp=&arnumber=7430145&url=http://ieeexplore.org%2F7422343%2F7430110%2F07430145.pdf%3Farnumber%3D7430145>. [Último acceso: 20 08 2016].
- [6] W. E. Espinoza y M. E. Freire, «Performance Comparison of Frequency Offset Estimation Algorithms in Rayleigh Channel for Wireless Digital Communications».
- [7] Universidad del País Vasco, «Aproximación,» 2016. [En línea]. Available:

<http://www.ehu.es/pegonzalez/I.Teleco/Apuntes/tema6.pdf>. [Último acceso: 05 09 2016].

- [8] P. N. S. T. W. Filter, Technion – Israel Institute of Technology, Department of Electrical Engineering Estimation and Identification in Dynamical Systems (048825) Lecture Notes, Fall 2009.
- [9] Code Gold NEW BINARY USER CODES FOR DS CDMA COMMUNICATION Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 6(6) S. Garg and N. Srivastava SMRITI GARG1,*, NEELAM SRIVASTAVA2 pp 662, December 2011.
- [10] M. Pere, Los sistemas de comunicaciones digitales, Cataluña: Universitat Oberta de Catalunya.
- [11] S. G., « Sistemas de Modulacion [Online],» 21 12 2009. [En línea]. Available:
<http://www.analfatecnicos.net/archivos/15.SistemasModulacionWikipedia.pdf>
..
- [12] J. N. S. Alejandro, «Blog digital de la Universidad Politécnica Nacional,» 2011. [En línea]. Available:
http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4921/1/PAPER_TESIS_DISE%C3%91O%20DE%20UN%20MOD-DEM%20QAM%20EN%20FPGA.pdf.
- [13] Journal of Engineering Science and Technology, Code Gold NEW BINARY USER CODES FOR DS CDMA COMMUNICATION, vol. Vol. 6(6) S. Garg and N. Srivastava SMRITI GARG1, NEELAM SRIVASTAVA2, December 2011, p. pp 662.
- [14] D. Valarezo, «Análisis comparativo de ecualizadores lineales en un sistema de comunicación inalámbrico de transmisión de audio de una sola portadora,» 2016.
- [15] C. Perez Rubio, J. Ureña Ureña y Á. Hernandez Alonzo , Generación y Correlación Eficiente de Códigos Binarios Derivados de Conjuntos de

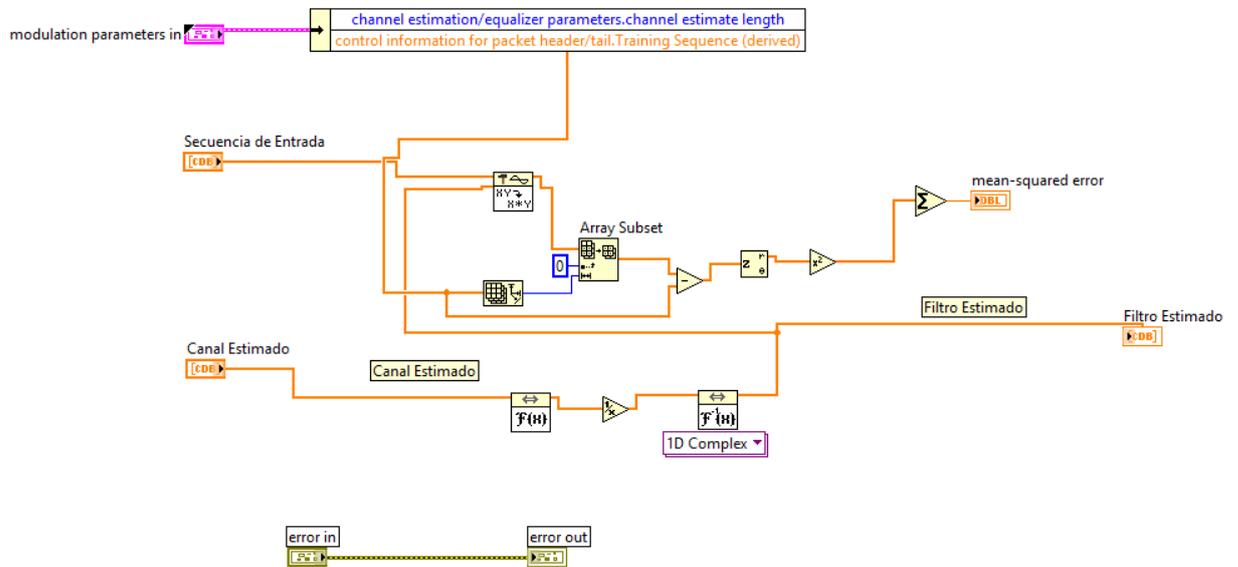
Secuencias Complementarias para Sistemas Ultrasónicos, Alcalá, 2009.

- [16] National Instruments, «Software NI Vision Acquisition - National Instruments,» 2016. [En línea]. Available: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/12892>. [Último acceso: 05 09 2016].

- [17] National Instruments, «Módulo Vision Development - National Instruments,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.ni.com/labview/vision/esa/>. [Último acceso: 05 09 2016].

- [18] R. W. H. y J. , Digital Communications: Physical Layer Exploration Lab Using The NI USRP™ Platform, National Technology, 2011.

ECUALIZADOR ZERO-FORCING



ANEXO 3.

DIAGRAMA DE BLOQUE EN LABVIEW DE FUENTE DE TEXTO

