

**ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA DE
COMUNICACIÓN DIGITAL BASADO EN HARDWARE
RECONFIGURABLE QUE IMPLEMENTA CODIFICACIÓN DE LÍNEA**



APÉNDICE A, B, C, D, E y F

Oscar Iván Velásquez Andrade
Javier Alexis Urresty Sánchez

Universidad del Cauca

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
GRIAL - Grupo de Radio e InALámbricas
GNTT - Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones
Señales y Sistemas de Acceso y Difusión Basados en Radio
Señales y Sistemas de Telecomunicaciones
Popayán 2016**

**ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA DE
COMUNICACIÓN DIGITAL BASADO EN HARDWARE
RECONFIGURABLE QUE IMPLEMENTA CODIFICACIÓN DE LÍNEA**



APÉNDICE A

Oscar Iván Velásquez Andrade
Javier Alexis Urresty Sánchez

Director
Mag. Víctor Fabián Miramá Pérez

Universidad del Cauca

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
GRIAL - Grupo de Radio e InALámbricas
GNTT - Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones
Señales y Sistemas de Acceso y Difusión Basados en Radio
Señales y Sistemas de Telecomunicaciones
Popayán 2016**



APENDICE A

CÁLCULO DE LA DENSIDAD ESPECTRAL DE POTENCIA PARA CÓDIGOS DE LÍNEA

Para el análisis espectral de los códigos de línea, se tiene en consideración un sistema lineal e invariante en el tiempo o sistema LTI, tal como lo muestra la figura A.1.

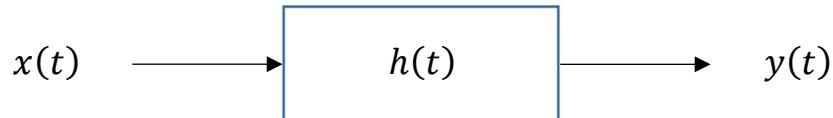


Figura A.1. Sistema LTI de referencia para la codificación de línea.

La señal $x(t)$ corresponde a una secuencia discreta de símbolos tal que:

$$x(t) = \sum_i a_i \delta(t - iT_b) \quad (\text{A.1}).$$

En donde a_i es un símbolo que depende tanto del dígito binario (“1” o “0”) de la secuencia de bits a transmitir $\{b_n\}$ y de la señalización del esquema de codificación de línea, como se describe más adelante.

Por otra parte, $h(t)$ corresponde a la función conformadora de pulsos y se comporta como un filtro para la señal $x(t)$, con lo que finalmente se obtiene a la salida del sistema LTI $y(t)$ dada por la convolución entre $x(t)$ y $h(t)$, de tal forma que:

$$\begin{aligned} y(t) &= x(t) * h(t) \\ &= \sum_i a_i \delta(t - iT_b) * h(t) \\ &= \sum_i a_i h(t - iT_b) \end{aligned} \quad (\text{A.2}).$$

De esta manera la señal $y(t)$ representa un código de línea descrito por una secuencia de pulsos que siguen un patrón de codificación según la forma del pulso dado por $h(t)$ y por la señal codificada $x(t)$.



Para analizar el cálculo de la densidad espectral de potencia D.E.P. se hace uso de la ecuación (A.3) definida para la densidad espectral de potencia en sistemas lineales e invariantes, expuesta en el anexo A¹:

$$S_{yy}(\tau) = S_{xx}(f)|H(f)|^2 \quad (\text{A.3})$$

donde $S_{yy}(\tau)$ es la D.E.P. de la señal $y(t)$, $H(f)$ es la transformada de Fourier de la señal $h(t)$ y $S_{xx}(f)$ es la densidad espectral de potencia de una señal $x(t)$, tal que:

$$S_{xx}(f) = \frac{1}{T_b} \sum_k E\{a_i \cdot a_{i+k}\} e^{j2\pi f k T_b} \quad (\text{A.4})$$

donde $E\{a_i \cdot a_{i+k}\}$ es la función de autocorrelación de la secuencia de símbolos a_i :

$$E\{a_i \cdot a_{i+k}\} = \sum_i (a_i \cdot a_{i+k})_i Pr(a_i) Pr(a_{i+k}|a_i) \quad (\text{A.5})$$

siendo $Pr(a_i)$ la probabilidad estadística del símbolo a_i el cual toma valores que dependen del tipo de señalización dada por el código de línea a cada bit b_i de la secuencia binaria a transmitir. Asimismo, $Pr(a_{i+k}|a_i)$ es la probabilidad condicional de que el símbolo a_{i+k} tome un valor específico dada la evaluación del valor presente en a_i .

Ya que cada dígito binario de la secuencia de bits se representan estadísticamente como variables aleatorias binarias independientes e idénticamente distribuidas se tiene que:

$$E\{a_i \cdot a_{i+k}\} = \begin{cases} E\{a_i^2\} & k = 0 \\ (E\{a_i\})^2 & k \neq 0 \end{cases} \quad (\text{A.6}).$$

Finalmente, a partir de las ecuaciones (A.3) y (A.4) la DEP de potencia para la codificación de línea se generaliza mediante:

¹ Anexo A. DENSIDAD ESPECTRAL DE POTENCIA EN SISTEMAS LINEALES E INVARIANTES. Ec. 32.



$$S_s(f) = S_{yy}(f) = |H(f)|^2 \frac{1}{T_b} \sum_k E\{a_i \cdot a_{i+k}\} e^{j2\pi f k T_b} \quad (\text{A.7}).$$

Para el análisis estadístico se considera que los dígitos binarios de la secuencia b_i son equiprobables, esto es

$$\Pr(b_i = 0) = \Pr(b_i = 1) = 1/2 \quad (\text{A.8}).$$

A continuación, se describe el proceso de la deducción de las funciones de PSD correspondientes a cada código de línea.

CODIFICACIÓN UNRZ

La función conformadora de pulsos corresponde a:

$$h(t) = \Pi\left(\frac{t - T_b/2}{T_b}\right) \quad (\text{A.9})$$

y su transformada de Fourier está representada por la ecuación:

$$H(f) = T_b \text{sinc}(T_b f) e^{-j2\pi f \frac{T_b}{2}} \quad (\text{A.10}).$$

Según el tipo de señalización del código UNRZ descrito en la sección 1.6.1 los valores tomados por a_i son:

$$a_i = \begin{cases} 0 & b_i = 0 \\ A & b_i = 1 \end{cases} \quad (\text{A.11})$$

y se tiene que:

$$E\{a_i\} = 0 \cdot \Pr(b_i = 0) + A \cdot \Pr(b_i = 1) = \frac{A}{2} \quad (\text{A.12})$$

$$E\{a_i^2\} = 0^2 \cdot \Pr(b_i = 0) + A^2 \cdot \Pr(b_i = 1) = \frac{A^2}{2} \quad (\text{A.13})$$



así pues

$$E\{a_i \cdot a_{i+k}\} = \begin{cases} \frac{A^2}{2} & k = 0 \\ \frac{A^2}{4} & k \neq 0 \end{cases} \quad (\text{A.14}).$$

De esta manera la PSD para el código UNRZ es:

$$\begin{aligned} S_s(f) &= \left| T_b \text{sinc}(T_b f) e^{-j2\pi f \frac{T_b}{2}} \right|^2 \left(\frac{A^2}{2} + \sum_{k \neq 0} \frac{A^2}{4} e^{j2\pi f k T_b} \right) \\ &= \frac{A^2 T_b}{4} \text{sinc}^2(T_b f) (2 + \sum_{k \neq 0} e^{j2\pi f k T_b}) \\ &= \frac{A^2 T_b}{4} \text{sinc}^2(T_b f) (1 + \sum_k e^{j2\pi f k T_b}) \\ &= \frac{A^2 T_b}{4} \text{sinc}^2(T_b f) \left(1 + \frac{1}{T_b} \sum_k \delta \left(f - \frac{k}{T_b} \right) \right) \\ &= \frac{A^2 T_b}{4} \text{sinc}^2(T_b f) \left(1 + \frac{1}{T_b} \delta(f) \right) \end{aligned} \quad (\text{A.15}).$$

CODIFICACIÓN URZ

La función conformadora de pulsos corresponde a:

$$h(t) = \Pi \left(\frac{t - T_b/4}{T_b/2} \right) \quad (\text{A.16})$$

y su transformada de Fourier está representada por la ecuación:

$$H(f) = \frac{T_b}{2} \text{sinc} \left(\frac{T_b}{2} f \right) e^{-j2\pi f \frac{T_b}{4}} \quad (\text{A.17}).$$



Según el tipo de señalización del código URZ descrito en la sección 1.6.2 los valores tomados por a_i son:

$$a_i = \begin{cases} 0 & b_i = 0 \\ A & b_i = 1 \end{cases} \quad (\text{A.18})$$

y se tiene que:

$$E\{a_i\} = 0 \cdot \Pr(b_i = 0) + A \cdot \Pr(b_i = 1) = \frac{A}{2} \quad (\text{A.19})$$

$$E\{a_i^2\} = 0^2 \cdot \Pr(b_i = 0) + A^2 \cdot \Pr(b_i = 1) = \frac{A^2}{2} \quad (\text{A.20})$$

así pues

$$E\{a_i \cdot a_{i+k}\} = \begin{cases} \frac{A^2}{2} & k = 0 \\ \frac{A^2}{4} & k \neq 0 \end{cases} \quad (\text{A.21}).$$

Y la PSD para el código URZ es:

$$\begin{aligned} S_s(f) &= \left| \frac{T_b}{2} \text{sinc} \left(\frac{T_b}{2} f \right) e^{-j2\pi f \frac{T_b}{4}} \right|^2 \frac{1}{T_b} \left(\frac{A^2}{2} + \sum_{k \neq 0} \frac{A^2}{4} e^{j2\pi f k T_b} \right) \\ &= \frac{A^2 T_b}{16} \text{sinc}^2 \left(\frac{T_b}{2} f \right) \left(2 + \sum_{k \neq 0} e^{j2\pi f k T_b} \right) \\ &= \frac{A^2 T_b}{16} \text{sinc}^2 \left(\frac{T_b}{2} f \right) \left(1 + \sum_k e^{j2\pi f k T_b} \right) \\ &= \frac{A^2 T_b}{16} \text{sinc}^2 \left(\frac{T_b}{2} f \right) \left(1 + \frac{1}{T_b} \sum_k \delta \left(f - \frac{k}{T_b} \right) \right) \end{aligned} \quad (\text{A.22}).$$



CODIFICACIÓN PNRZ

La función conformadora de pulsos corresponde a:

$$h(t) = \Pi\left(\frac{t-T_b/2}{T_b}\right) \quad (\text{A.23})$$

así su transformada de Fourier es:

$$H(f) = T_b \text{sinc}(T_b f) e^{-j2\pi f \frac{T_b}{2}} \quad (\text{A.24}).$$

Según el tipo de señalización del código PNRZ descrito en la sección 1.6.3 los valores tomados por a_i son:

$$a_i = \begin{cases} -A & b_i = 0 \\ A & b_i = 1 \end{cases} \quad (\text{A.25}).$$

y se tiene que:

$$E\{a_i\} = -A \cdot \Pr(b_i = 0) + A \cdot \Pr(b_i = 1) = 0 \quad (\text{A.26})$$

$$E\{a_i^2\} = (-A)^2 \cdot \Pr(b_i = 0) + A^2 \cdot \Pr(b_i = 1) = A^2 \quad (\text{A.27})$$

así pues

$$E\{a_i \cdot a_{i+k}\} = \begin{cases} A^2 & k = 0 \\ 0 & k \neq 0 \end{cases} \quad (\text{A.28}).$$

Por lo tanto, la PSD para el código PNRZ es:

$$\begin{aligned} S_s(f) &= \left| T_b \text{sinc}(T_b f) e^{-j2\pi f \frac{T_b}{2}} \right|^2 \frac{1}{T_b} (A^2 + \sum_{k \neq 0} 0 \cdot e^{j2\pi f k T_b}) \\ &= A^2 T_b \text{sinc}^2(T_b f) \end{aligned} \quad (\text{A.29}).$$



CODIFICACIÓN PRZ

Para esta codificación la función conformadora de pulsos es:

$$h(t) = \Pi\left(\frac{t-T_b/4}{T_b/2}\right) \quad (\text{A.30})$$

y su transformada de Fourier está representada por la ecuación:

$$H(f) = \frac{T_b}{2} \text{sinc}\left(\frac{T_b}{2}f\right) e^{-j2\pi f \frac{T_b}{4}} \quad (\text{A.31}).$$

Según el tipo de señalización del código PRZ descrito en la sección 1.6.4 los valores tomados por a_i son:

$$a_i = \begin{cases} -A & b_i = 0 \\ A & b_i = 1 \end{cases} \quad (\text{A.32})$$

y se tiene que:

$$E\{a_i\} = -A \cdot \Pr(b_i = 0) + A \cdot \Pr(b_i = 1) = 0 \quad (\text{A.33})$$

$$E\{a_i^2\} = (-A)^2 \cdot \Pr(b_i = 0) + A^2 \cdot \Pr(b_i = 1) = A^2 \quad (\text{A.34})$$

así pues

$$E\{a_i \cdot a_{i+k}\} = \begin{cases} A^2 & k = 0 \\ 0 & k \neq 0 \end{cases} \quad (\text{A.35}).$$

Y la PSD para el código PRZ es:

$$\begin{aligned} S_s(f) &= \left| \frac{T_b}{2} \text{sinc}\left(\frac{T_b}{2}f\right) e^{-j2\pi f \frac{T_b}{4}} \right|^2 \frac{1}{T_b} (A^2 + \sum_{k \neq 0} 0 \cdot e^{j2\pi f k T_b}) \\ &= \frac{A^2 T_b}{4} \text{sinc}^2\left(\frac{T_b}{2}f\right) \end{aligned} \quad (\text{A.36}).$$



CODIFICACIÓN NRZI

La función conformadora de pulsos corresponde a:

$$h(t) = \Pi\left(\frac{t-T_b/2}{T_b}\right) \quad (\text{A.37})$$

así su transformada de Fourier es:

$$H(f) = T_b \text{sinc}(T_b f) e^{-j2\pi f \frac{T_b}{2}} \quad (\text{A.38}).$$

Según el tipo de señalización del código NRZI descrito en la sección 1.6.5 los valores tomados por a_i son:

$$a_i = \begin{cases} \pm A & b_i = 0 \\ \pm A & b_i = 1 \end{cases} \quad (\text{A.39}).$$

En este caso en particular se tiene que:

$$\begin{aligned} E\{a_i \cdot a_{i+k}\} &= (\pm A \cdot \pm A) \cdot \Pr(b_i = 0) \cdot \Pr(b_{i+k} = 0 | b_i = 0) + \\ &\quad (\pm A \cdot \mp A) \cdot \Pr(b_i = 0) \cdot \Pr(b_{i+k} = 1 | b_i = 0) + \\ &\quad (\pm A \cdot \pm A) \cdot \Pr(b_i = 1) \cdot \Pr(b_{i+k} = 0 | b_i = 1) + \\ &\quad (\pm A \cdot \mp A) \cdot \Pr(b_i = 1) \cdot \Pr(b_{i+k} = 1 | b_i = 1) \\ &= A^2 \cdot \left(\frac{1}{4}\right) + (-A^2) \cdot \left(\frac{1}{4}\right) + A^2 \cdot \left(\frac{1}{4}\right) + (-A^2) \cdot \left(\frac{1}{4}\right) \\ &= 0 \end{aligned} \quad (\text{A.40})$$

$$E\{a_i^2\} = (\pm A)^2 \cdot \Pr(b_i = 0) + (\pm A)^2 \cdot \Pr(b_i = 1) = A^2 \quad (\text{A.41})$$

así pues

$$E\{a_i \cdot a_{i+k}\} = \begin{cases} A^2 & k = 0 \\ 0 & k \neq 0 \end{cases} \quad (\text{A.42}).$$



De esta manera, la PSD para el código NRZI es:

$$\begin{aligned} S_s(f) &= \left| T_b \text{sinc}(T_b f) e^{-j2\pi f \frac{T_b}{2}} \right|^2 \frac{1}{T_b} (A^2 + \sum_{k \neq 0} 0 \cdot e^{j2\pi f k T_b}) \\ &= A^2 T_b \text{sinc}^2(T_b f) \end{aligned} \quad (\text{A.43}).$$

CODIFICACIÓN MANCHESTER O BIFASE L

La función conformadora de pulsos corresponde a:

$$h(t) = \Pi\left(\frac{t-T_b/4}{T_b/2}\right) - \Pi\left(\frac{t-3T_b/4}{T_b/2}\right) \quad (\text{A.44})$$

así su transformada de Fourier es:

$$\begin{aligned} H(f) &= \frac{T_b}{2} \text{sinc}\left(\frac{T_b}{2} f\right) e^{-j2\pi f \frac{T_b}{4}} - \frac{T_b}{2} \text{sinc}\left(\frac{T_b}{2} f\right) e^{-j2\pi f \frac{3T_b}{4}} \\ &= \frac{T_b}{2} \text{sinc}\left(\frac{T_b}{2} f\right) e^{-j2\pi f \frac{T_b}{2}} \cdot \left[e^{j2\pi f \frac{T_b}{4}} - e^{-j2\pi f \frac{T_b}{4}} \right] \\ &= T_b \text{sinc}\left(\frac{T_b}{2} f\right) e^{-j2\pi f \frac{T_b}{2}} \cdot j \text{sen}\left(2\pi f \frac{T_b}{4}\right) \end{aligned} \quad (\text{A.45}).$$

Según el tipo de señalización del código Manchester descrito en la sección 1.6.6 los valores tomados por a_i son:

$$a_i = \begin{cases} -A & b_i = 0 \\ A & b_i = 1 \end{cases} \quad (\text{A.46}).$$

y se tiene que:

$$E\{a_i\} = -A \cdot \Pr(b_i = 0) + A \cdot \Pr(b_i = 1) = 0 \quad (\text{A.47})$$

$$E\{a_i^2\} = (-A)^2 \cdot \Pr(b_i = 0) + A^2 \cdot \Pr(b_i = 1) = A^2 \quad (\text{A.48})$$



así pues

$$E\{a_i \cdot a_{i+k}\} = \begin{cases} A^2 & k = 0 \\ 0 & k \neq 0 \end{cases} \quad (\text{A.49}).$$

Por lo tanto, la PSD para el código Manchester es:

$$\begin{aligned} S_s(f) &= \left| T_b \text{sinc} \left(\frac{T_b}{2} f \right) e^{-j\pi f \frac{T_b}{2}} \cdot j \text{sen} \left(\pi f \frac{T_b}{2} \right) \right|^2 \frac{1}{T_b} (A^2 + \sum_{k \neq 0} 0 \cdot e^{j2\pi f k T_b}) \\ &= A^2 T_b \text{sinc}^2 \left(\frac{T_b f}{2} \right) \text{sen}^2 \left(\frac{\pi T_b f}{2} \right) \end{aligned} \quad (\text{A.50}).$$

CODIFICACIÓN MANCHESTER DIFERENCIAL

La función conformadora de pulsos corresponde a:

$$h(t) = \Pi \left(\frac{t - T_b/4}{T_b/2} \right) - \Pi \left(\frac{t - 3T_b/4}{T_b/2} \right) \quad (\text{A.51})$$

así su transformada de Fourier es:

$$\begin{aligned} H(f) &= \frac{T_b}{2} \text{sinc} \left(\frac{T_b}{2} f \right) e^{-j2\pi f \frac{T_b}{4}} - \frac{T_b}{2} \text{sinc} \left(\frac{T_b}{2} f \right) e^{-j2\pi f \frac{3T_b}{4}} \\ &= \frac{T_b}{2} \text{sinc} \left(\frac{T_b}{2} f \right) e^{-j2\pi f \frac{T_b}{2}} \cdot \left[e^{j2\pi f \frac{T_b}{4}} - e^{-j2\pi f \frac{T_b}{4}} \right] \\ &= T_b \text{sinc} \left(\frac{T_b}{2} f \right) e^{-j2\pi f \frac{T_b}{2}} \cdot j \text{sen} \left(2\pi f \frac{T_b}{4} \right) \end{aligned} \quad (\text{A.52}).$$

Según el tipo de señalización del código Manchester Diferencial descrito en la sección 1.6.7

los valores tomados por a_i son:

$$a_i = \begin{cases} \pm A & b_i = 0 \\ \pm A & b_i = 1 \end{cases} \quad (\text{A.53}).$$



y al igual que NRZI se tiene que:

$$\begin{aligned}
 E\{a_i \cdot a_{i+k}\} &= (\pm A \cdot \pm A) \cdot \Pr(b_i = 0) \cdot \Pr(b_{i+k} = 0|b_i = 0) + \\
 &\quad (\pm A \cdot \mp A) \cdot \Pr(b_i = 0) \cdot \Pr(b_{i+k} = 1|b_i = 0) + \\
 &\quad (\pm A \cdot \pm A) \cdot \Pr(b_i = 1) \cdot \Pr(b_{i+k} = 0|b_i = 1) + \\
 &\quad (\pm A \cdot \mp A) \cdot \Pr(b_i = 1) \cdot \Pr(b_{i+k} = 1|b_i = 1) \\
 &= A^2 \cdot \left(\frac{1}{4}\right) + (-A^2) \cdot \left(\frac{1}{4}\right) + A^2 \cdot \left(\frac{1}{4}\right) + (-A^2) \cdot \left(\frac{1}{4}\right) \\
 &= 0
 \end{aligned} \tag{A.54}$$

$$E\{a_i^2\} = (\pm A)^2 \cdot \Pr(b_i = 0) + (\pm A)^2 \cdot \Pr(b_i = 1) = A^2 \tag{A.55}$$

así pues

$$E\{a_i \cdot a_{i+k}\} = \begin{cases} A^2 & k = 0 \\ 0 & k \neq 0 \end{cases} \tag{A.56}.$$

Por lo tanto, la PSD para el código Manchester Diferencial es:

$$\begin{aligned}
 S_s(f) &= \left| T_b \operatorname{sinc} \left(\frac{T_b}{2} f \right) e^{-j\pi f \frac{T_b}{2}} \cdot j \operatorname{sen} \left(\pi f \frac{T_b}{2} \right) \right|^2 \frac{1}{T_b} (A^2 + \sum_{k \neq 0} 0 \cdot \\
 &\quad e^{j2\pi f k T_b}) \\
 &= A^2 T_b \operatorname{sinc}^2 \left(\frac{T_b f}{2} \right) \operatorname{sen}^2 \left(\frac{\pi T_b f}{2} \right)
 \end{aligned} \tag{A.57}.$$

CODIFICACIÓN AMI NRZ

La función conformadora de pulsos corresponde a:

$$h(t) = \Pi \left(\frac{t - T_b/2}{T_b} \right) \tag{A.58}$$



así su transformada de Fourier es:

$$H(f) = T_b \text{sinc}(T_b f) e^{-j2\pi f \frac{T_b}{2}} \quad (\text{A.59}).$$

Según el tipo de señalización del código AMI-NRZ descrito en la sección 1.6.8 los valores tomados por a_i son:

$$a_i = \begin{cases} 0 & b_i = 0 \\ \pm A & b_i = 1 \end{cases} \quad (\text{A.60}).$$

En este caso se tiene que la probabilidad de que a_i tome el valor de $+A$ es de un $\frac{1}{4}$ de igual forma la probabilidad de que a_i tome el valor de $-A$ también es de un $\frac{1}{4}$. Además se tiene que para $|k| = 1$:

$$\begin{aligned} E\{a_i \cdot a_{i+k}\} &= (0 \cdot 0) \cdot \Pr(b_i = 0) \cdot \Pr(b_{i+k} = 0 | b_i = 0) + \\ &\quad (0 \cdot \pm A) \cdot \Pr(b_i = 0) \cdot \Pr(b_{i+k} = 1 | b_i = 0) + \\ &\quad (\pm A \cdot 0) \cdot \Pr(b_i = 1) \cdot \Pr(b_{i+k} = 0 | b_i = 1) + \\ &\quad (\pm A \cdot \mp A) \cdot \Pr(b_i = 1) \cdot \Pr(b_{i+k} = 1 | b_i = 1) \\ &= (-A^2) \cdot \left(\frac{1}{4}\right) \\ &= \frac{-A^2}{4} \quad , |k| = 1 \end{aligned} \quad (\text{A.61}).$$

Cuando $k = 0$:

$$E\{a_i^2\} = (0)^2 \cdot \Pr(b_i = 0) + (\pm A)^2 \cdot \Pr(b_i = 1) = \frac{A^2}{2} \quad (\text{A.62})$$

y finalmente para valores de $|k| > 1$, $a_i \cdot a_{i+k}$ no están correlacionados y los posibles productos son $\pm A, 0, 0, 0$, cada uno con bajo una probabilidad de ocurrencia de $\frac{1}{4}$. De esta manera se tiene que:

$$E\{a_i \cdot a_{i+k}\} = \frac{1}{8}(A^2) + \frac{1}{8}(-A^2) = 0 \quad , |k| > 1 \quad (\text{A.63}),$$



por lo tanto

$$E\{a_i \cdot a_{i+k}\} = \begin{cases} \frac{A^2}{2} & k = 0 \\ -\frac{A^2}{4} & |k| = 1 \\ 0 & |k| > 1 \end{cases} \quad (\text{A.64}).$$

Y la PSD para el código AMI-NRZ es:

$$\begin{aligned} S_s(f) &= \left| T_b \text{sinc}(T_b f) e^{-j\pi f \frac{T_b}{2}} \right|^2 \frac{1}{T_b} \left(\frac{A^2}{2} - \sum_{k=\pm 1} \frac{A^2}{4} \cdot e^{j2\pi f k T_b} \right) \\ &= A^2 T_b \text{sinc}^2(T_b f) \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{4} e^{j2\pi f T_b} - \frac{1}{4} e^{-j2\pi f T_b} \right) \\ &= A^2 T_b \text{sinc}^2(T_b f) \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos(2\pi f T_b) \right) \\ &= A^2 T_b \text{sinc}^2(T_b f) \text{sen}^2(\pi T_b f) \end{aligned} \quad (\text{A.65}).$$

CODIFICACIÓN AMI RZ

La función conformadora de pulsos corresponde a:

$$h(t) = \Pi\left(\frac{t+T_b/4}{T_b/2}\right) \quad (\text{A.66})$$

Y su transformada de Fourier es:

$$H(f) = \frac{T_b}{2} \text{sinc}\left(\frac{T_b f}{2}\right) e^{-j2\pi f \frac{T_b}{4}} \quad (\text{A.67}).$$

El análisis para $E\{a_i \cdot a_{i+k}\}$ es similar que para AMI-RZ, por lo tanto la PSD de este código es:

$$S_s(f) = \left| \frac{T_b}{2} \text{sinc}\left(\frac{T_b f}{2}\right) e^{-j\pi f \frac{T_b}{4}} \right|^2 \frac{1}{T_b} \left(\frac{A^2}{2} - \sum_{k=\pm 1} \frac{A^2}{4} \cdot e^{j2\pi f k T_b} \right)$$



$$\begin{aligned} &= \frac{A^2 T_b}{4} \operatorname{sinc}^2\left(\frac{T_b f}{2}\right) \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{4} e^{j2\pi f T_b} - \frac{1}{4} e^{-j2\pi f T_b}\right) \\ &= \frac{A^2 T_b}{4} \operatorname{sinc}^2\left(\frac{T_b f}{2}\right) \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos(2\pi f T_b)\right) \\ &= \frac{A^2 T_b}{4} \operatorname{sinc}^2\left(\frac{T_b f}{2}\right) \operatorname{sen}^2(\pi T_b f) \end{aligned} \tag{A.68}$$

**ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA DE
COMUNICACIÓN DIGITAL BASADO EN HARDWARE
RECONFIGURABLE QUE IMPLEMENTA CODIFICACIÓN DE LÍNEA**



APÉNDICE B

Oscar Iván Velásquez Andrade
Javier Alexis Urresty Sánchez

Director
Mag. Víctor Fabián Miramá Pérez

Universidad del Cauca

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
GRIAL - Grupo de Radio e InALámbricas
GNTT - Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones
Señales y Sistemas de Acceso y Difusión Basados en Radio
Señales y Sistemas de Telecomunicaciones
Popayán 2016**



APENDICE B

CODIFICADORES Y DECODIFICADORES DE LÍNEA.

B.1 UNRZ

Codificador UNRZ: Ya que el bloque generador de bits (Figura 2.3) entrega a su salida una señal de tipo unipolar sin retorno a cero, este cumple las funciones tanto de fuente como codificador UNRZ.

Decodificador UNRZ: No se implementa un decodificador como tal, ya que el bloque de decisión de símbolos entrega a su salida una señal de tipo UNRZ que finalmente representa los datos decodificados en el receptor.

Para los siguientes códigos de línea se implementan algoritmos de programación, los cuales describen el proceso de codificación y decodificación, a través de archivos con extensión .m, incluidos en los bloques M-Code de System Generator.

B.2 NRZI

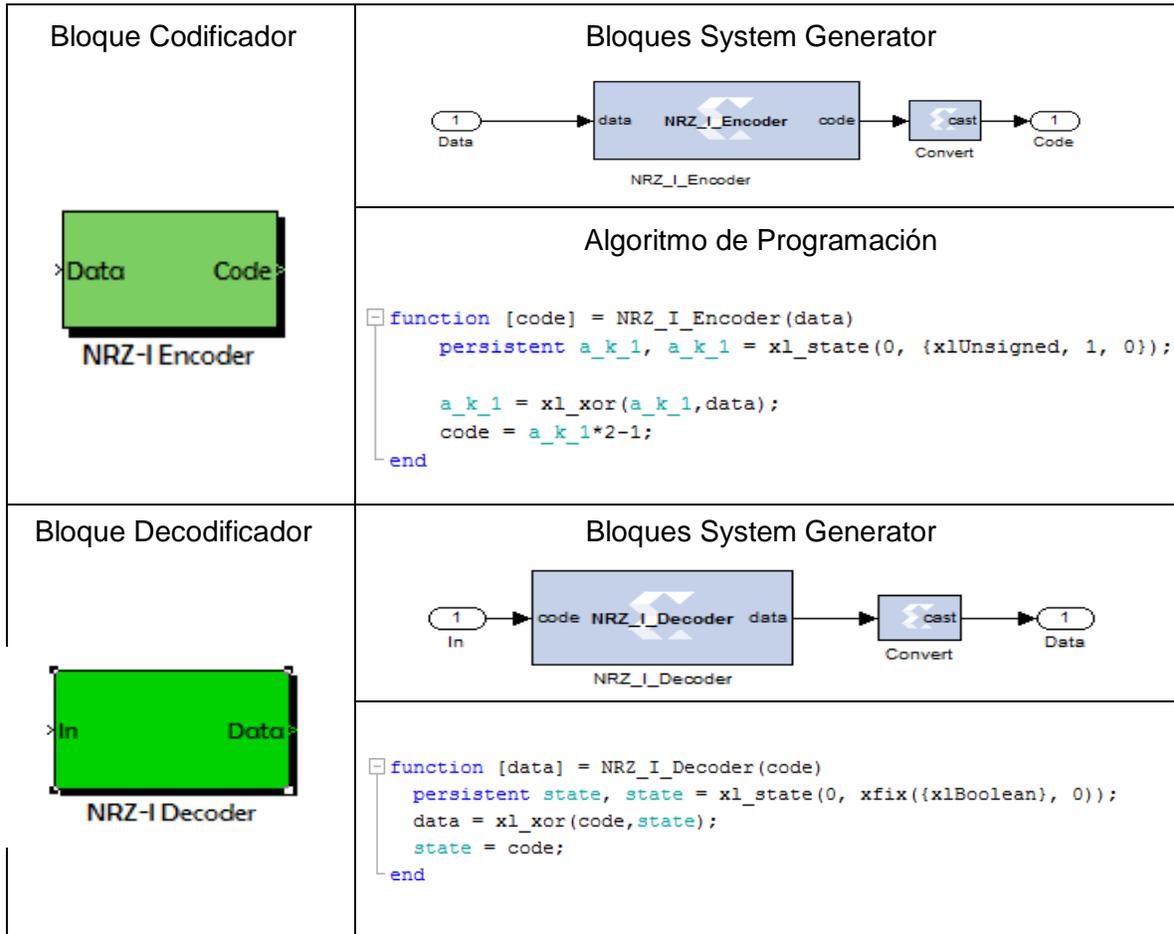


Figura B.1. Codificador y Decodificador NRZI en System Generator.



B.3 PNRZ

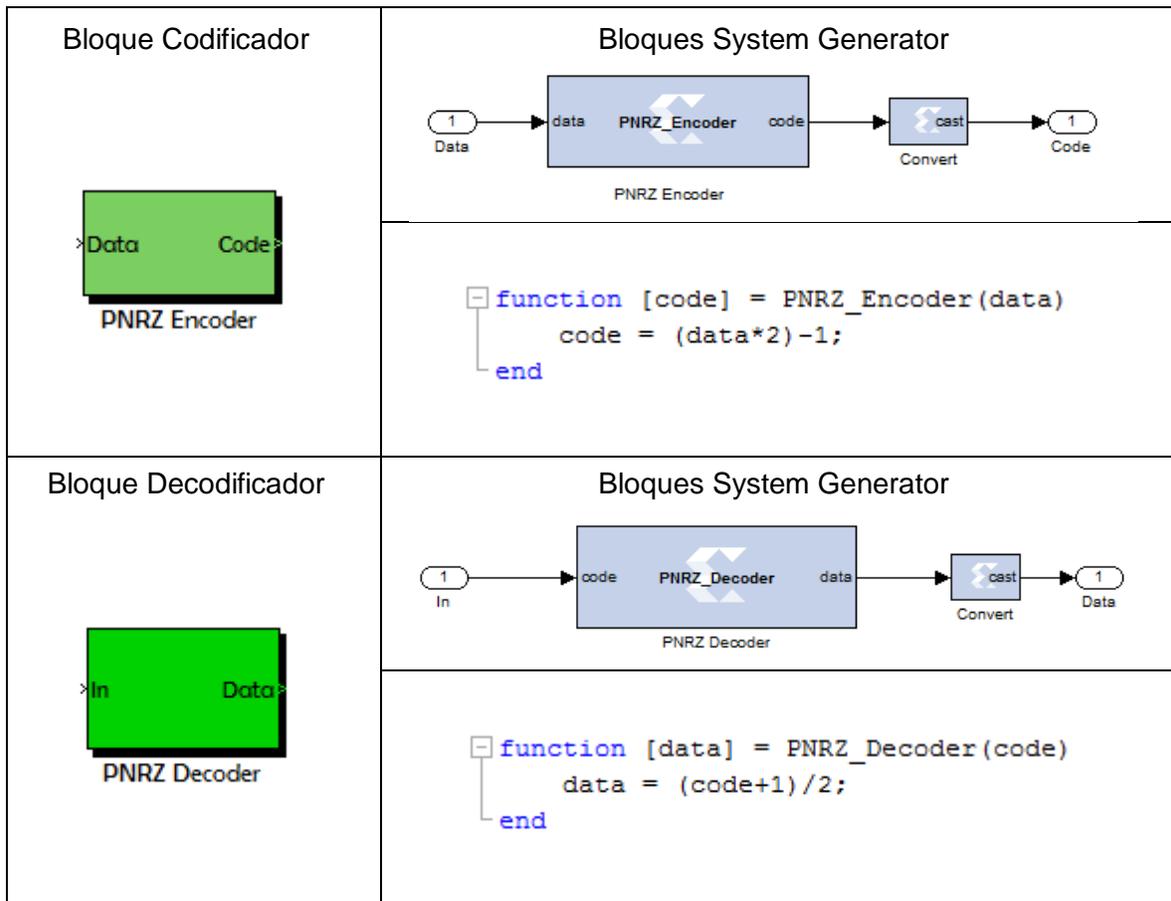


Figura B.2. Codificador y Decodificador PNRZ

B.4 URZ

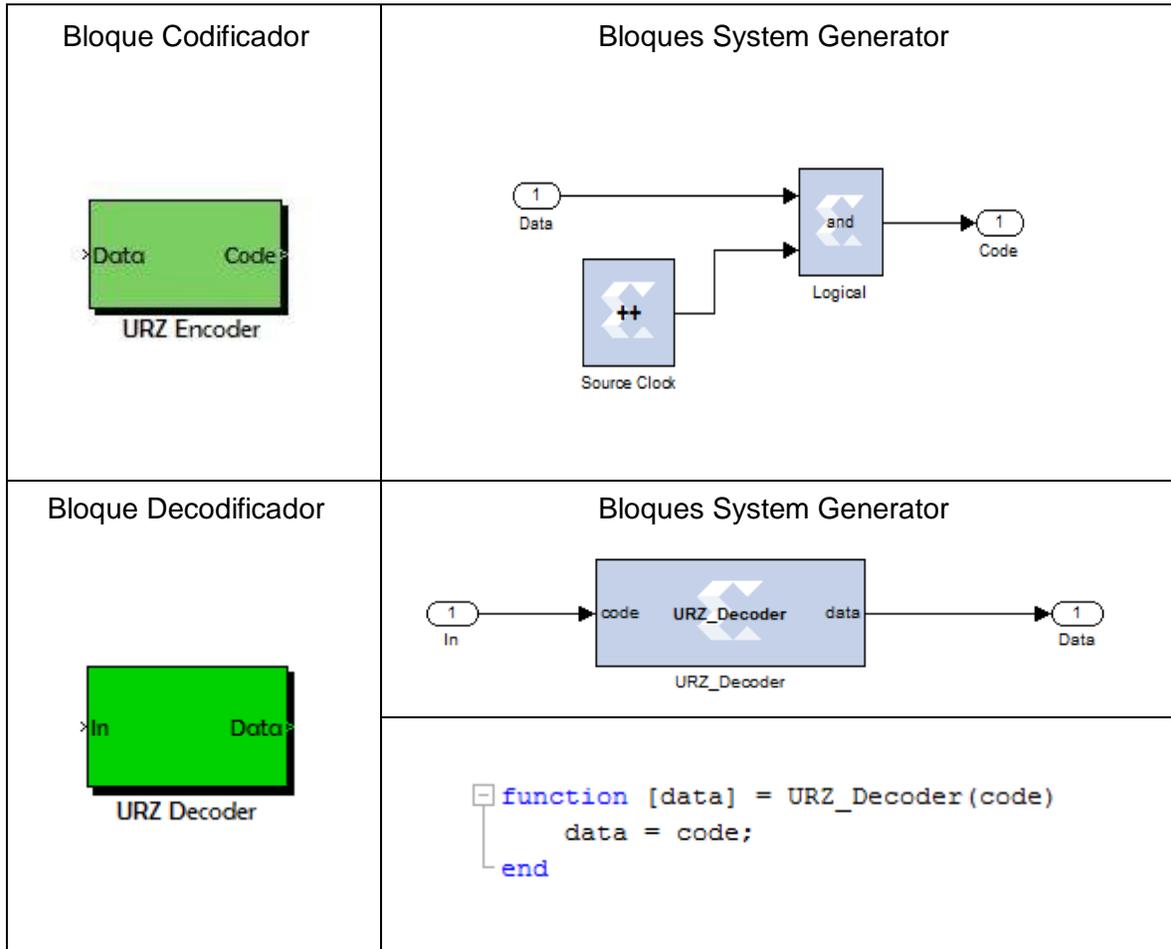


Figura B.3. Codificador y Decodificador URZ

B.5 PRZ

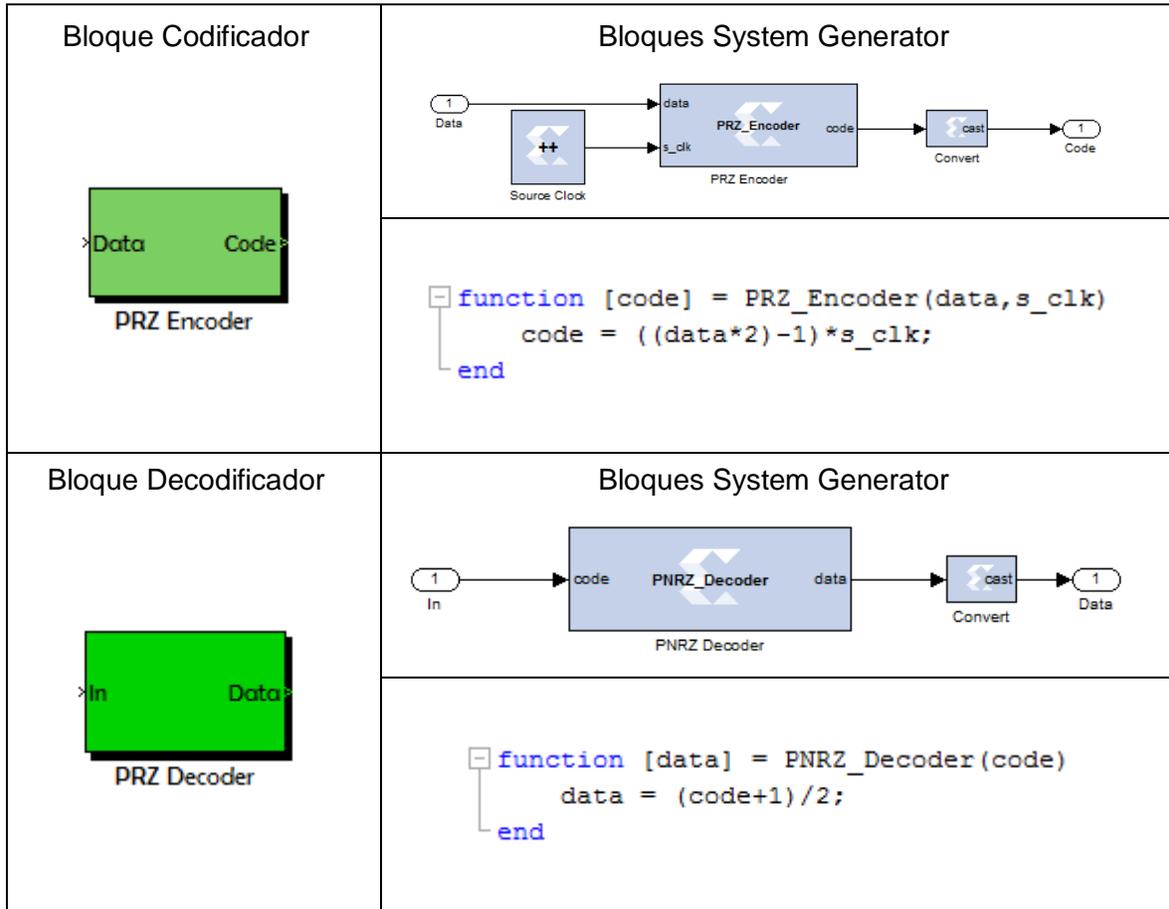


Figura B.4. Codificador y Decodificador PRZ

B.6 AMI-NRZ

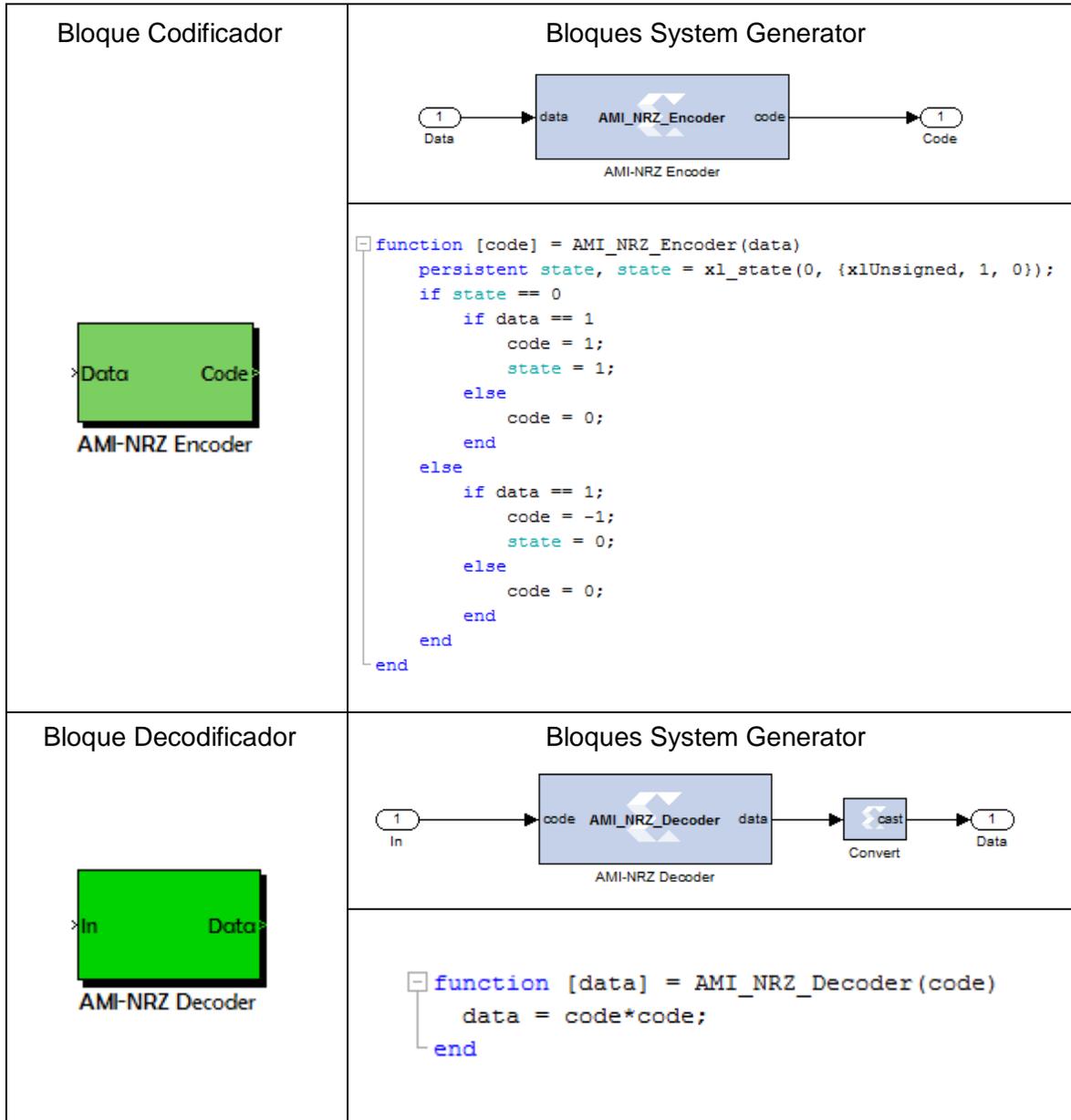


Figura B.5. Codificador y Decodificador AMI-NRZ



B.7 AMI-RZ

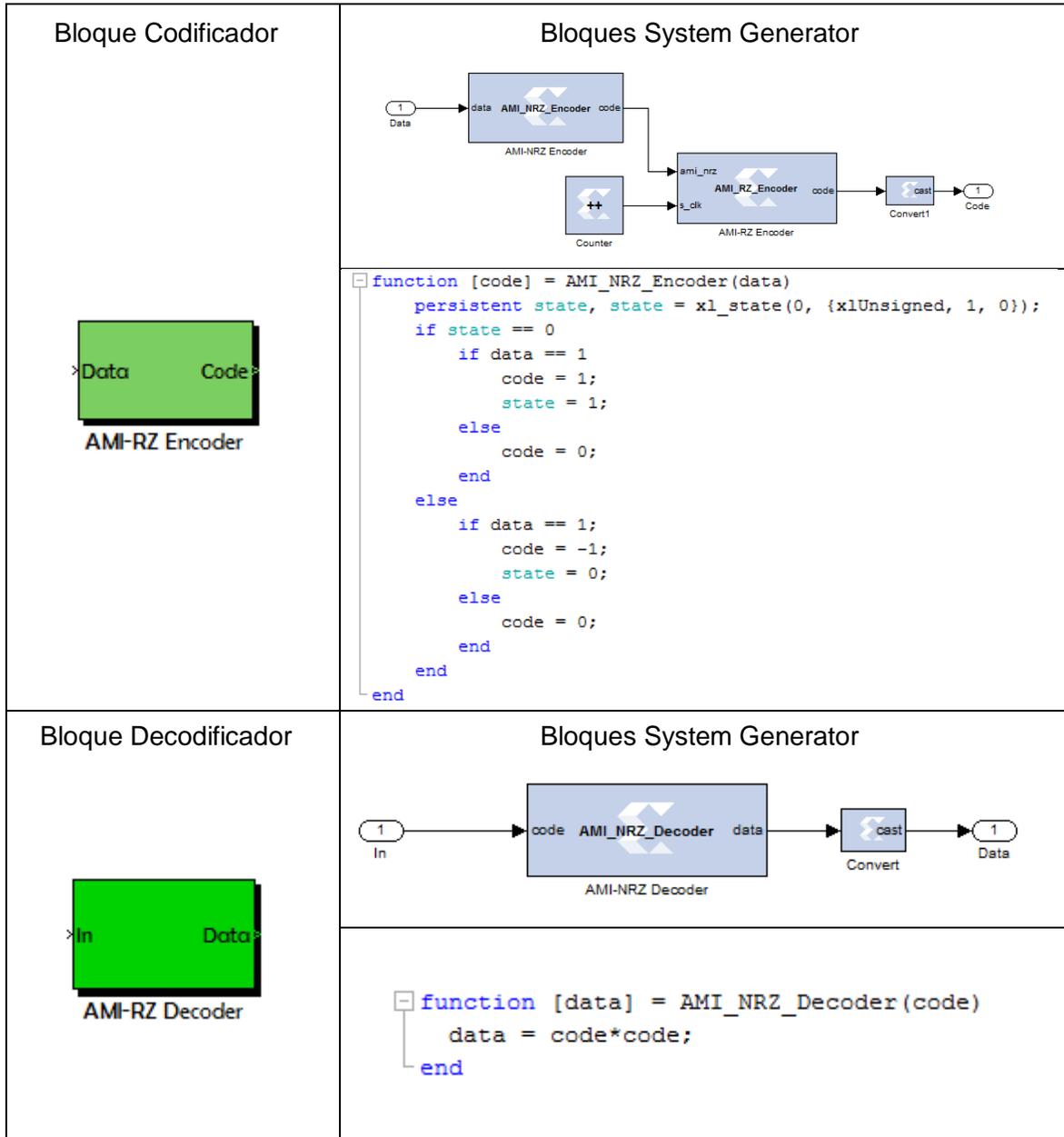


Figura B.6. Codificador y Decodificador AMI-NRZ



B.8 MANCHESTER OR BIPHASE – L

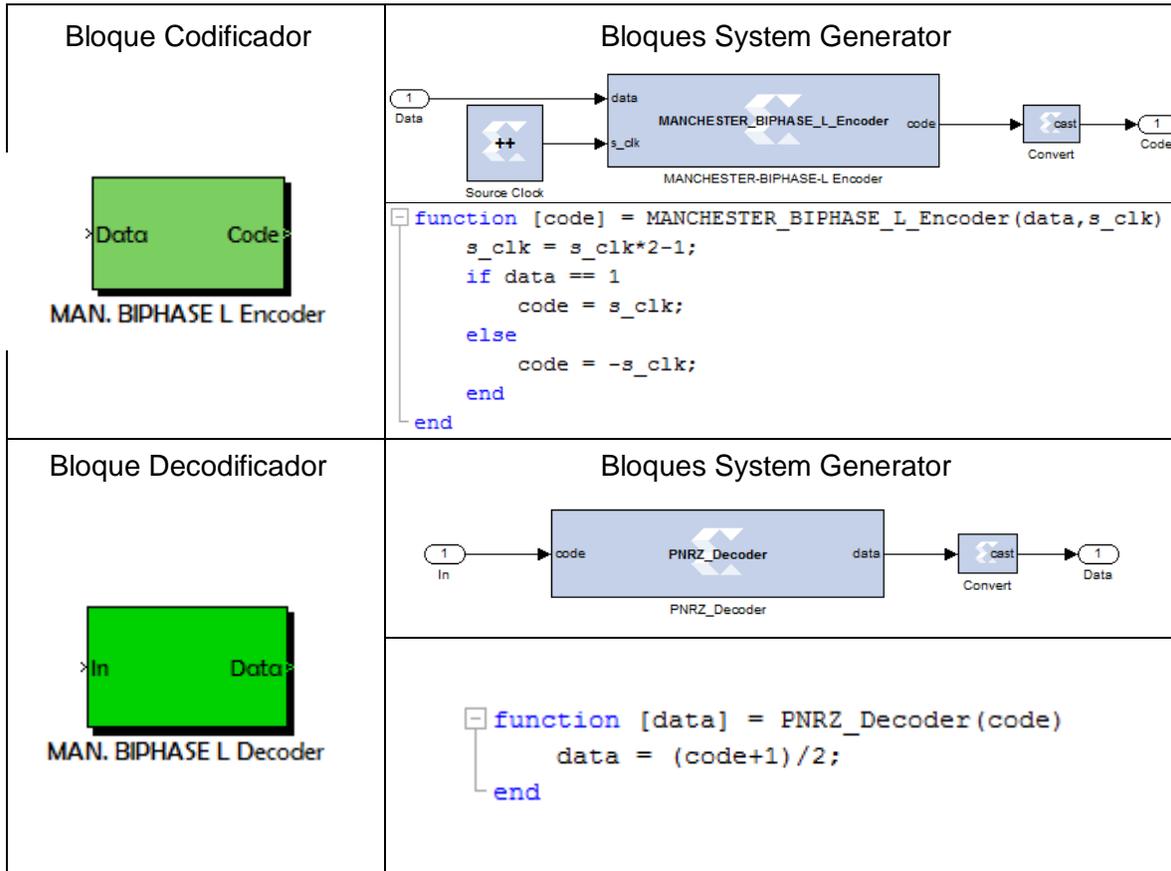


Figura B.7. Codificador y Decodificador MANCHESTER O BIPHASE - L

B.9 DIFERENTIAL MANCHESTER

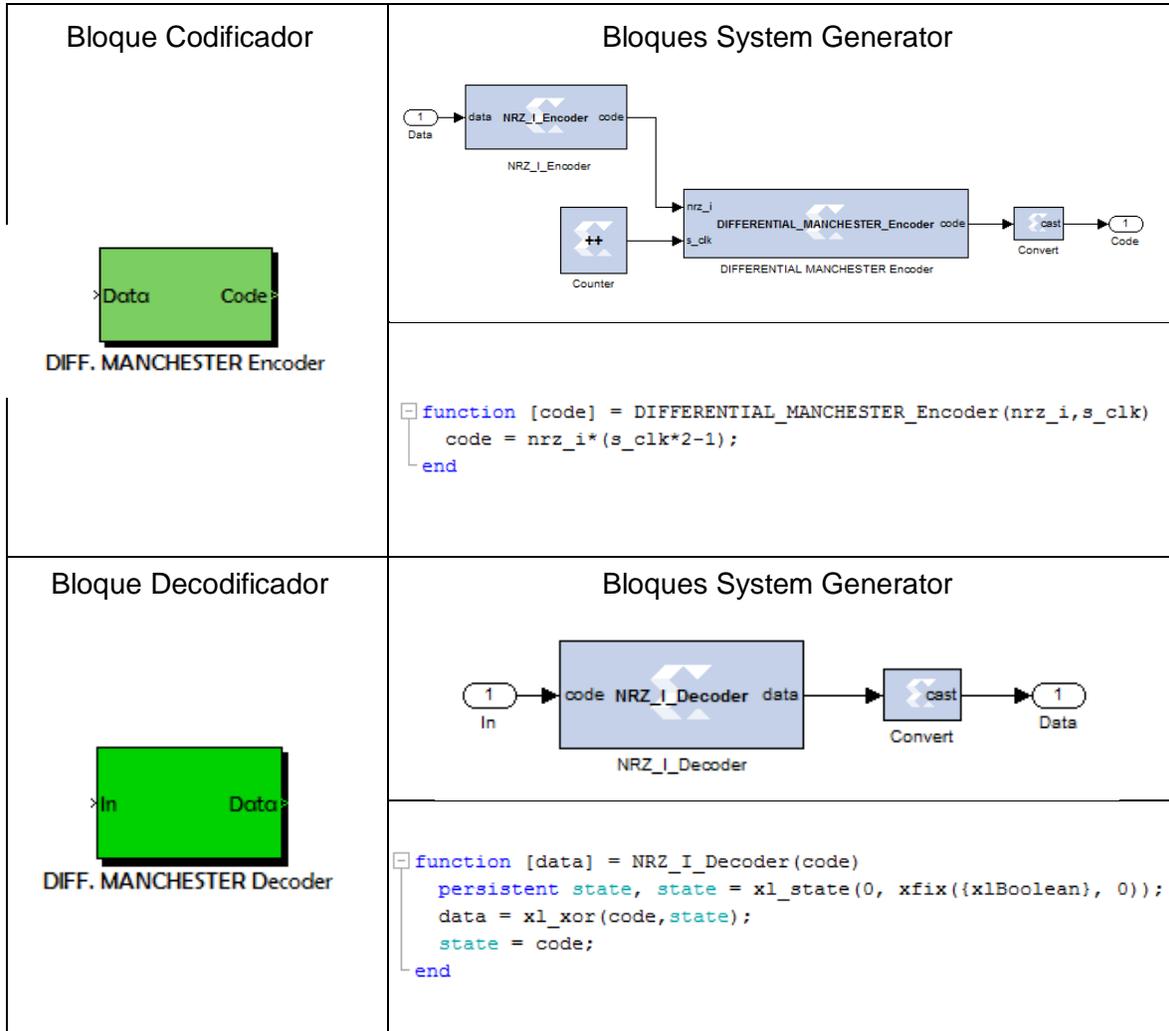


Figura B.8. Codificador y Decodificador MANCHESTER DIFERENTIAL



ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN DIGITAL BASADO EN HARDWARE
RECONFIGURABLE QUE IMPLEMENTA CODIFICACIÓN DE LÍNEA

**ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA DE
COMUNICACIÓN DIGITAL BASADO EN HARDWARE
RECONFIGURABLE QUE IMPLEMENTA CODIFICACIÓN DE LÍNEA**



APÉNDICE C

Oscar Iván Velásquez Andrade
Javier Alexis Urresty Sánchez

Director
Mag. Víctor Fabián Miramá Pérez

Universidad del Cauca

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
GRIAL - Grupo de Radio e InALámbricas
GNTT - Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones
Señales y Sistemas de Acceso y Difusión Basados en Radio
Señales y Sistemas de Telecomunicaciones
Popayán 2016**

APENDICE C

MODELOS IMPLEMENTADOS EN SIMULINK Y SYSTEM GENERATOR

En las siguientes figuras se presenta un paralelo entre los modelos desarrollados en *System Generator* y Simulink al igual se ilustran las formas de onda traslapadas obtenidas a nivel simulación para los dos modelos.

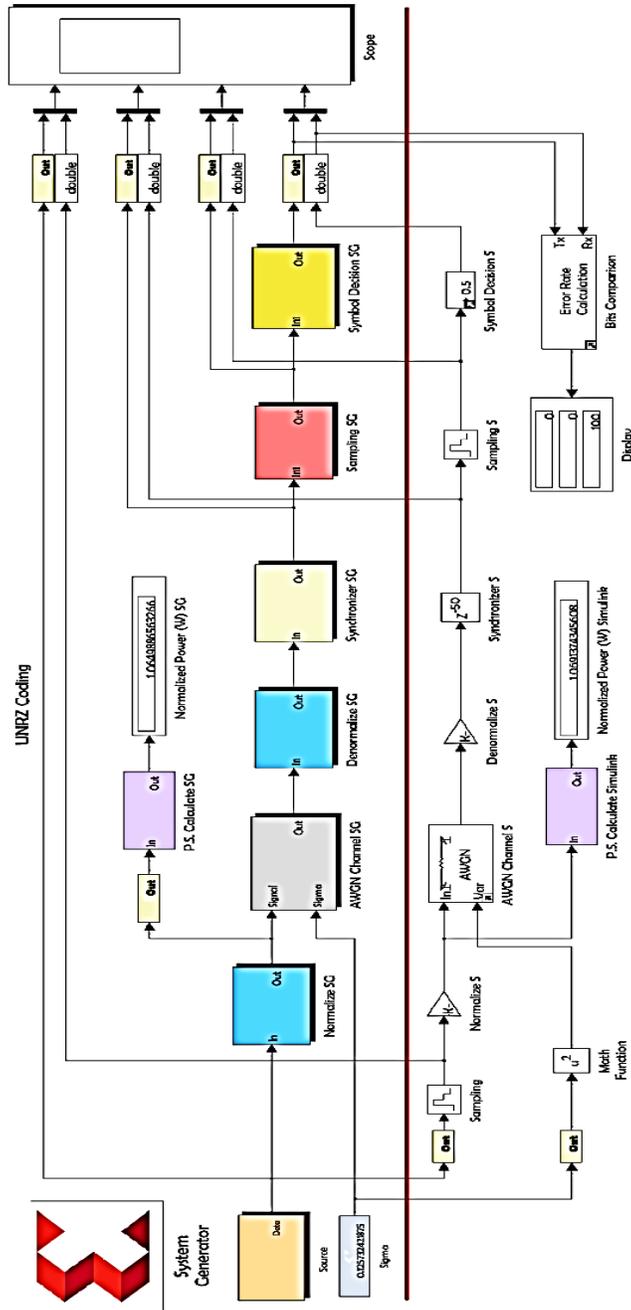
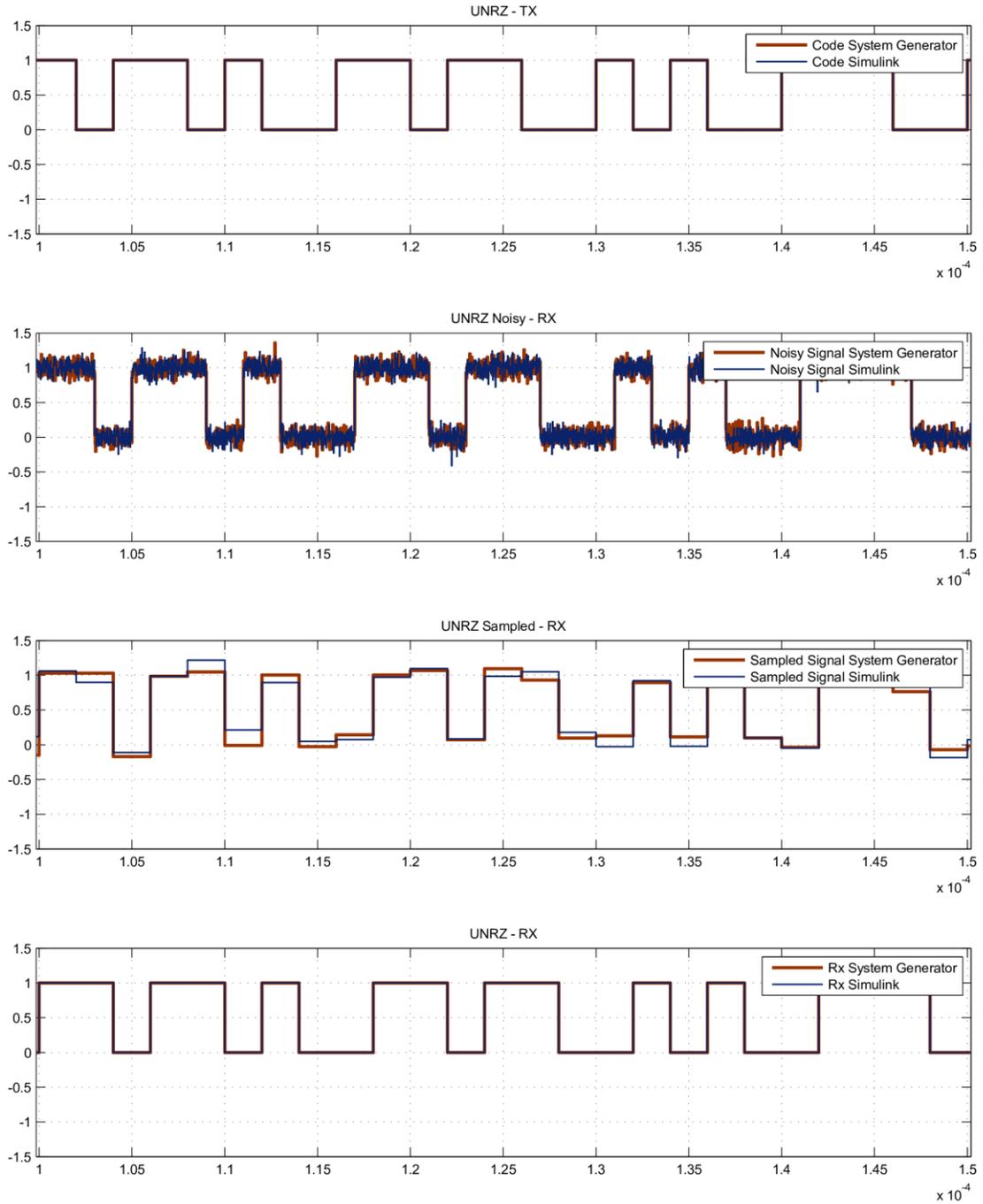


Figura C.1. Modelo de Simulación para la codificación UNRZ.



ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN DIGITAL BASADO EN HARDWARE RECONFIGURABLE QUE IMPLEMENTA CODIFICACIÓN DE LÍNEA



Time offset: 0

Figura C.2. Formas de onda de la simulación del código UNRZ.

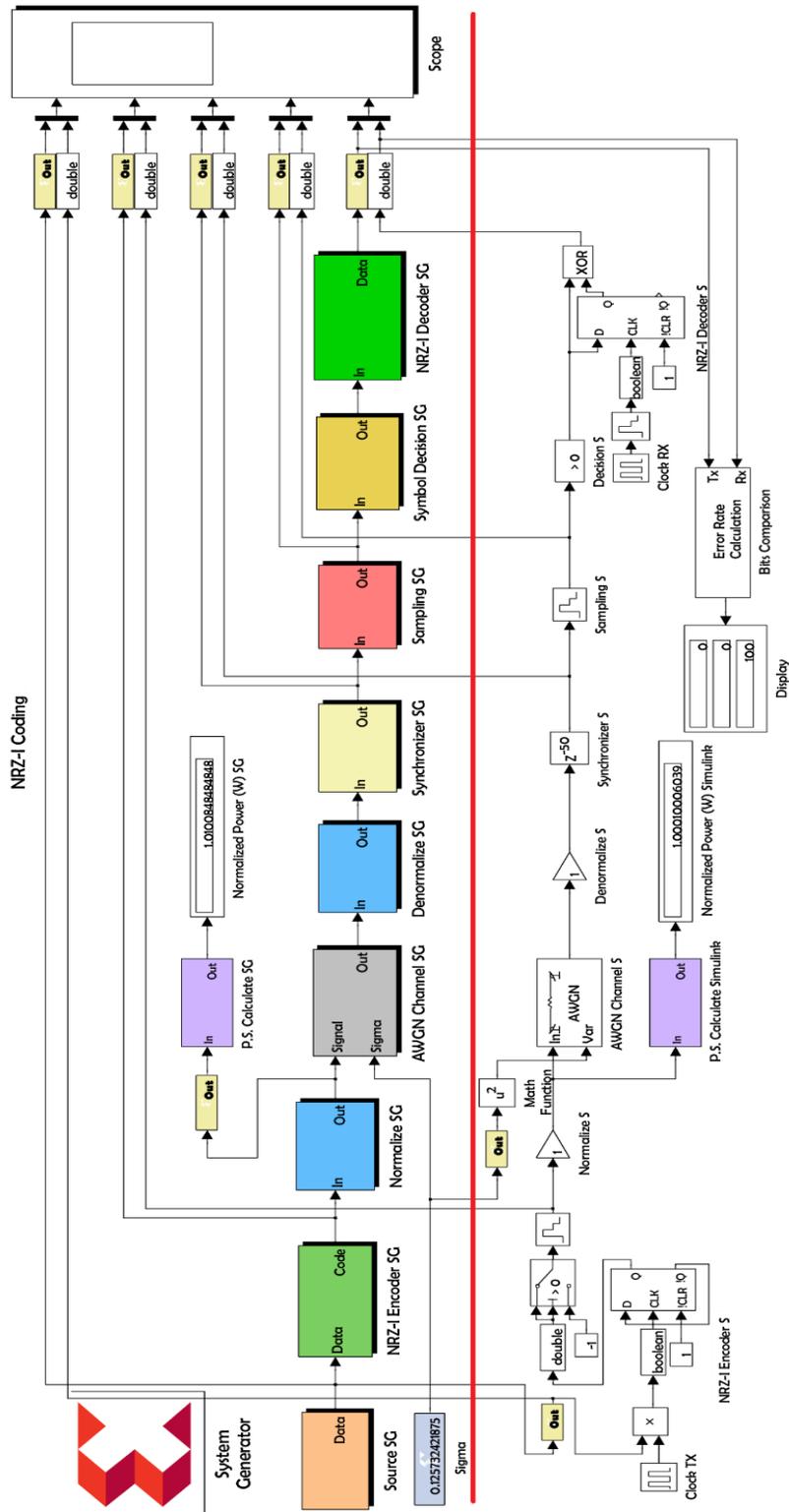
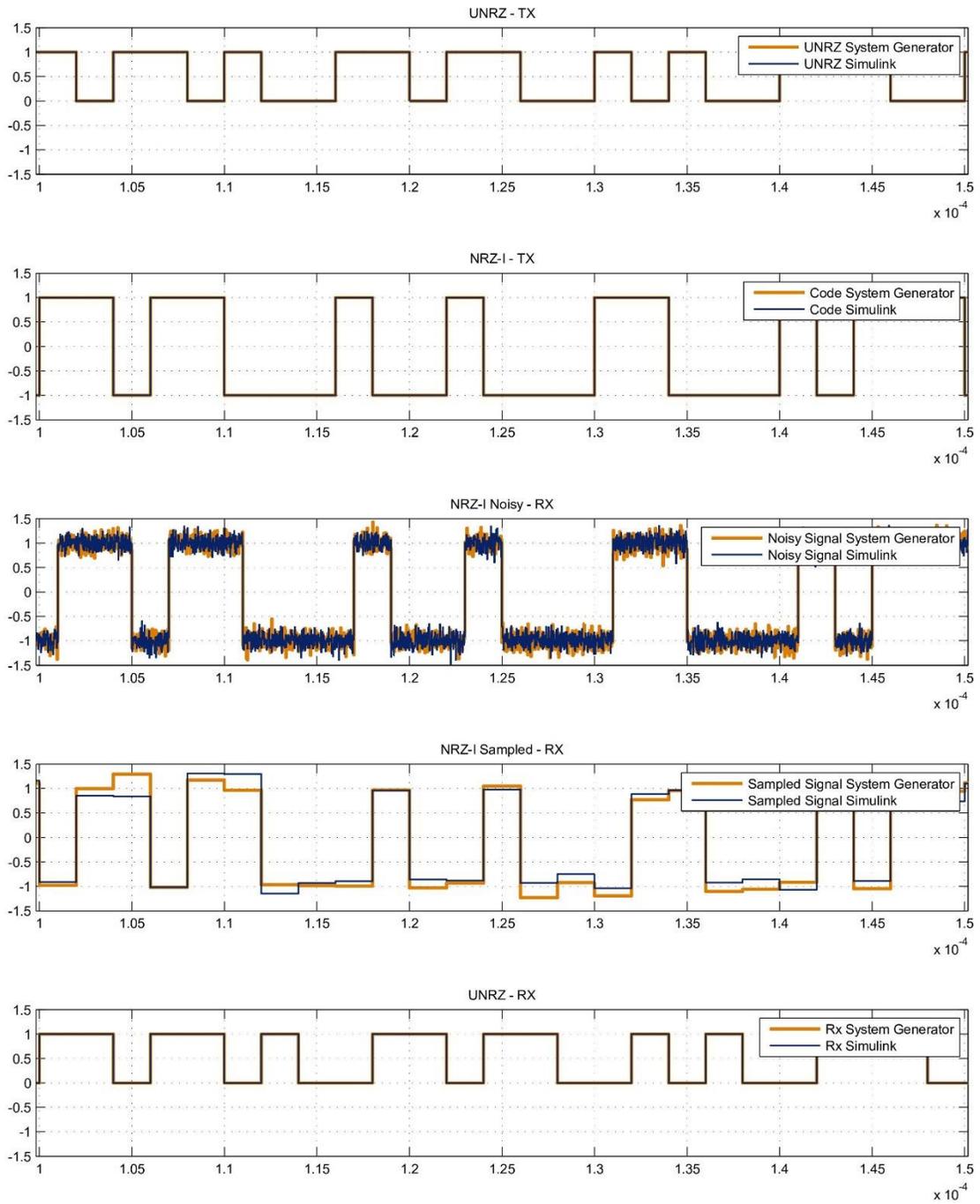


Figura C.3. Modelo de Simulación para la codificación NRZ-I.



Time offset: 0

Figura C.4. Formas de onda de la simulación del código NRZ-I.

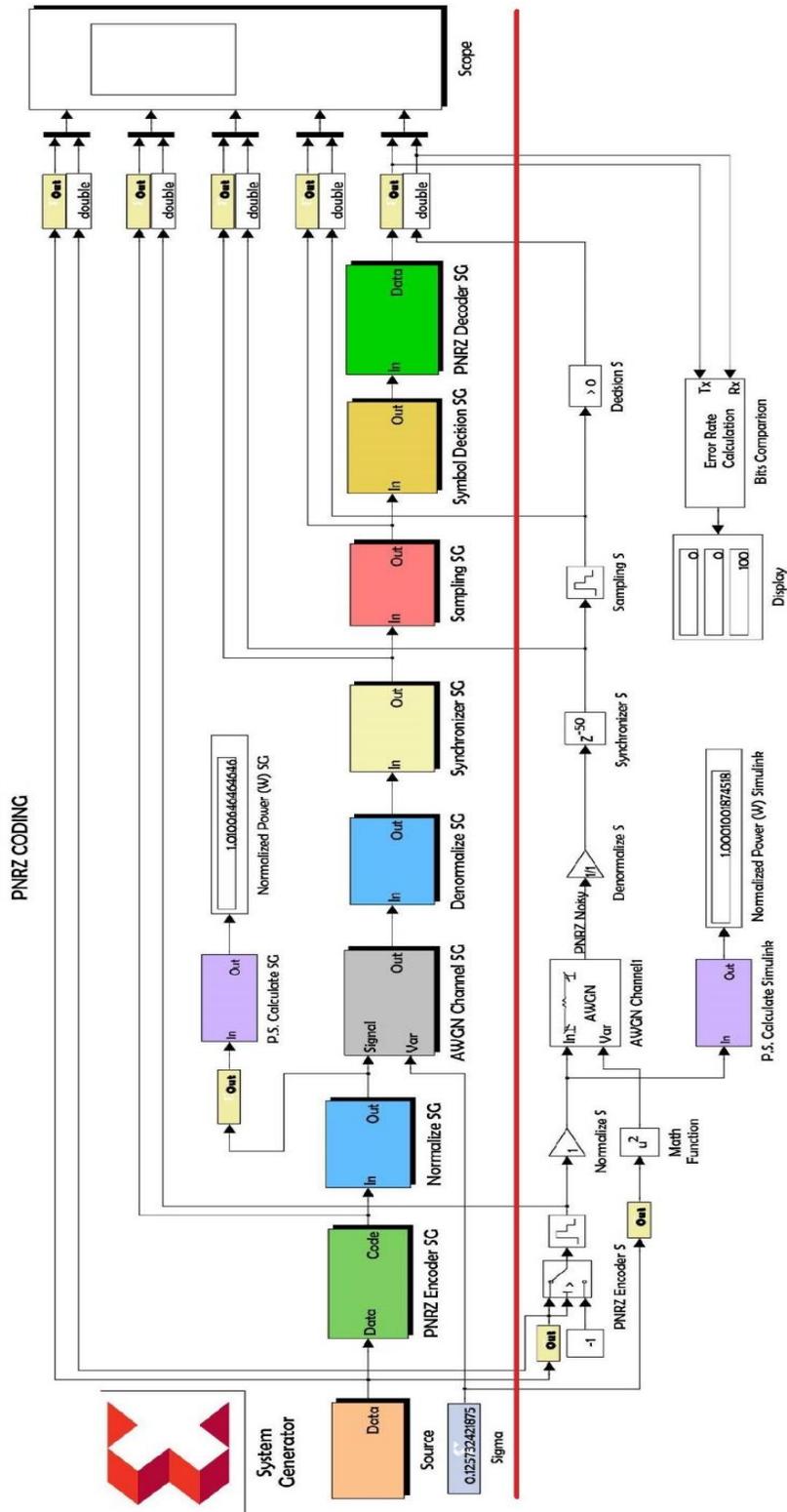
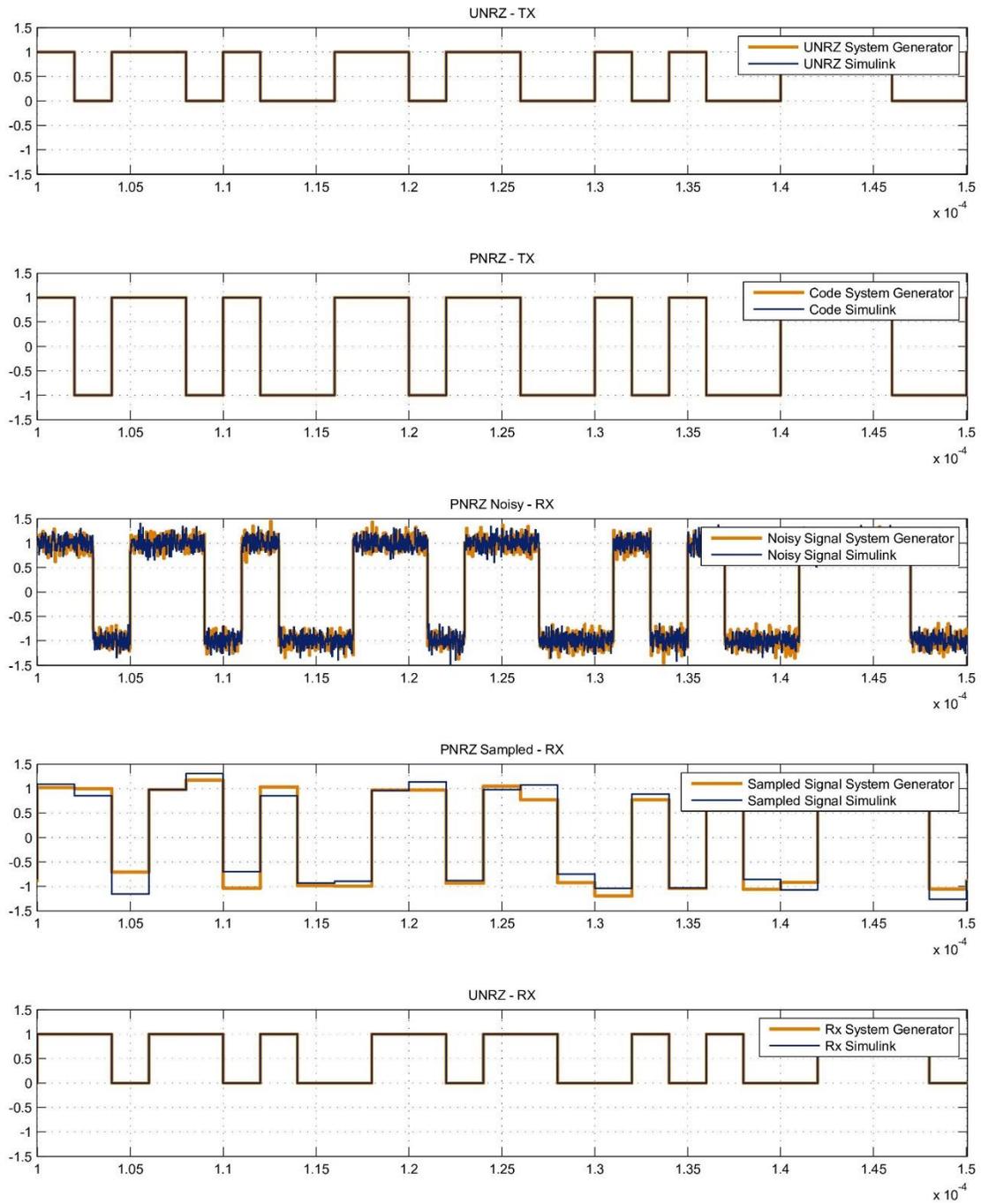


Figura C.5. Modelo de Simulación para la codificación PNRZ.



ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN DIGITAL BASADO EN HARDWARE RECONFIGURABLE QUE IMPLEMENTA CODIFICACIÓN DE LÍNEA



Time offset: 0

Figura C.6. Formas de onda de la simulación del código PNRZ.

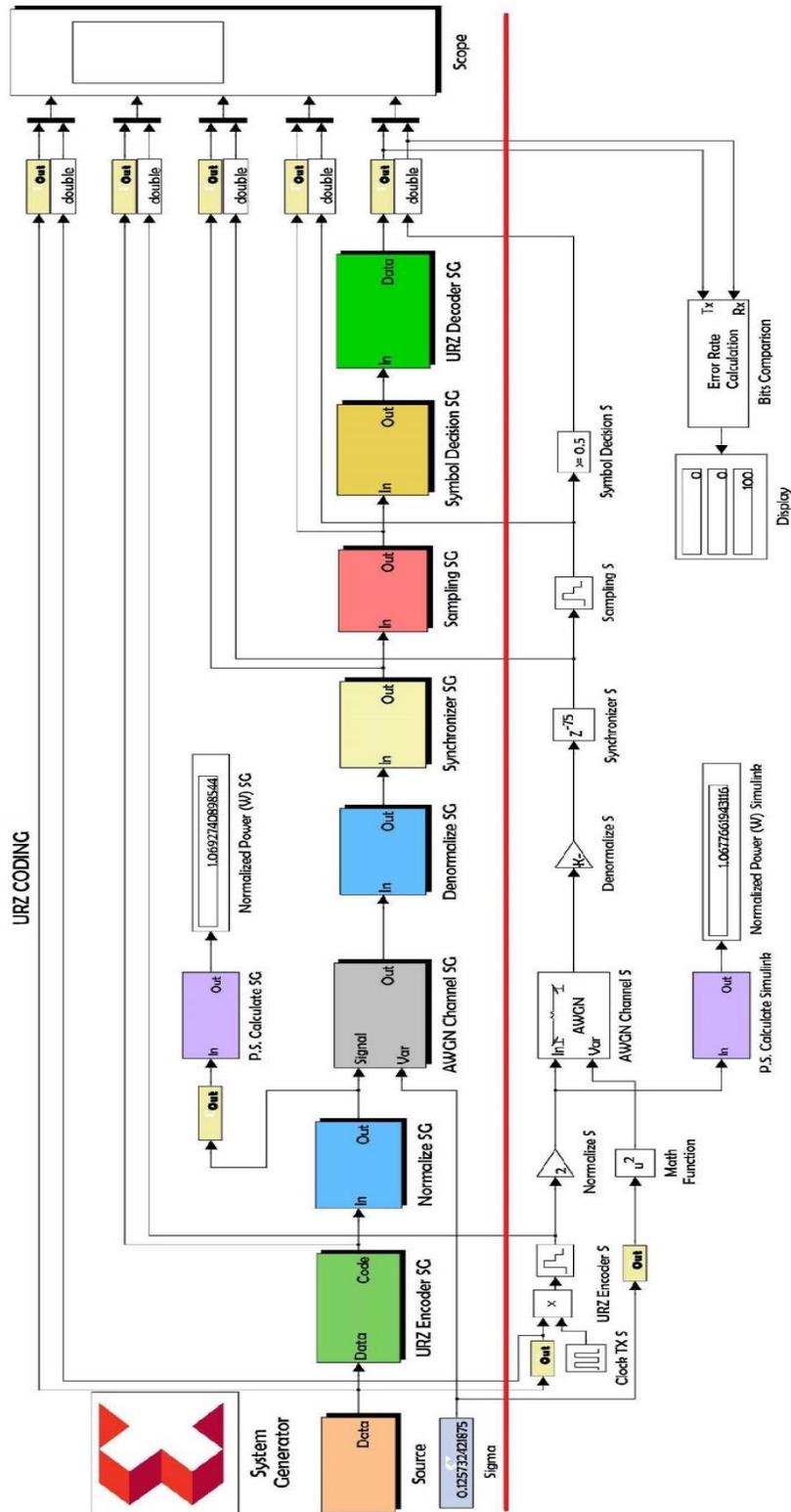


Figura C.7. Modelo de Simulación para la codificación URZ.

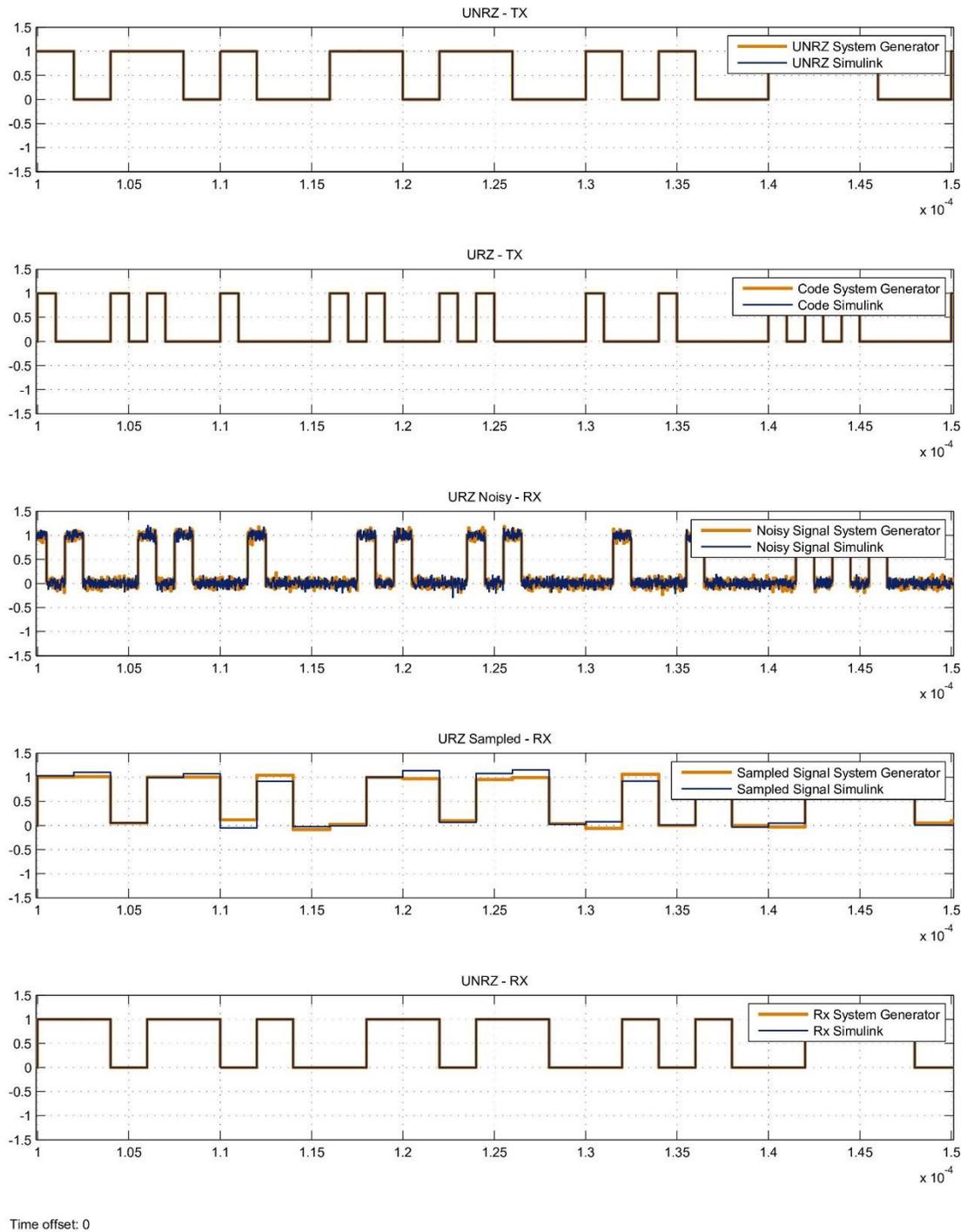


Figura C.8. Formas de onda de la simulación del código URZ.

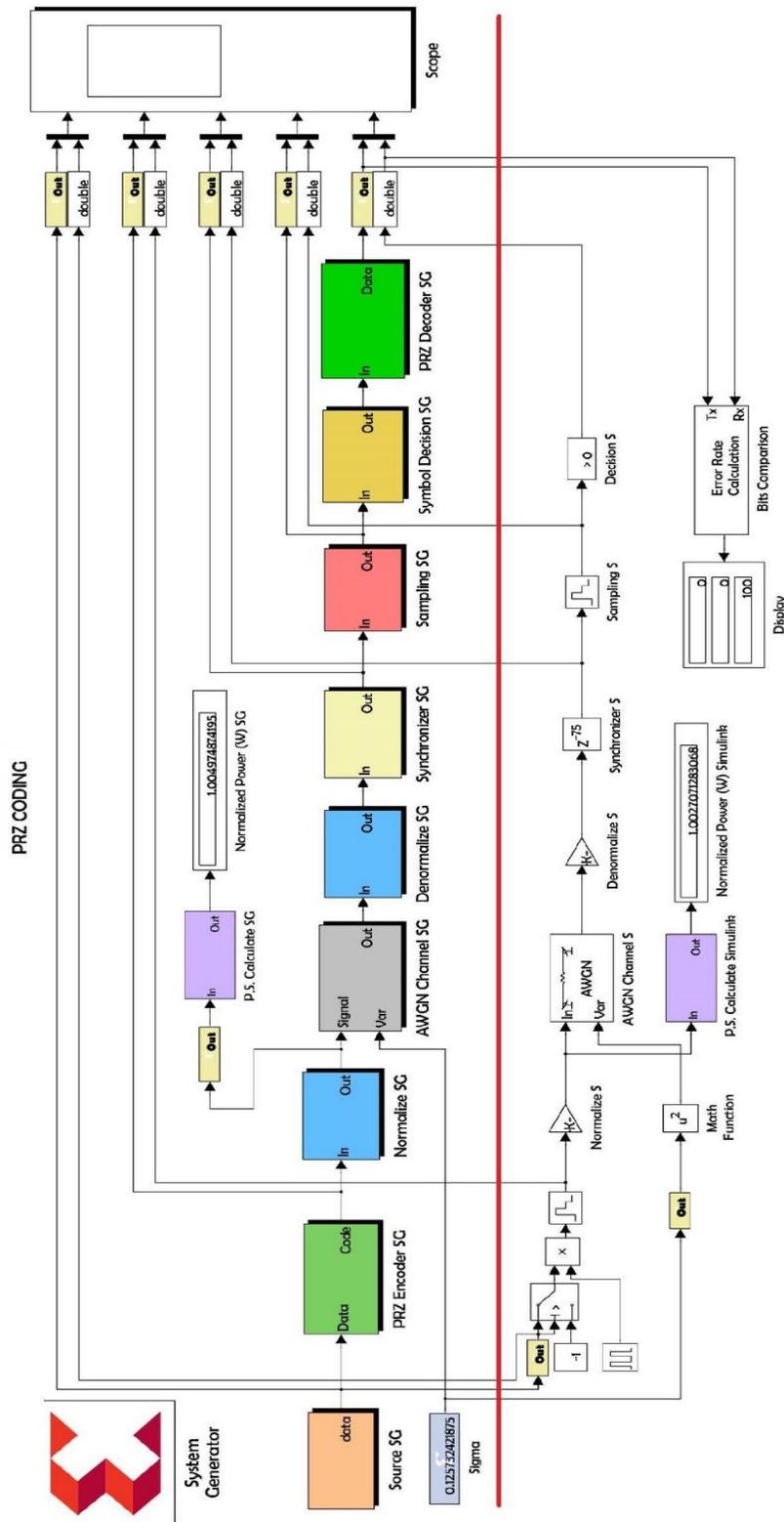


Figura C.9. Modelo de Simulación para la codificación PRZ.

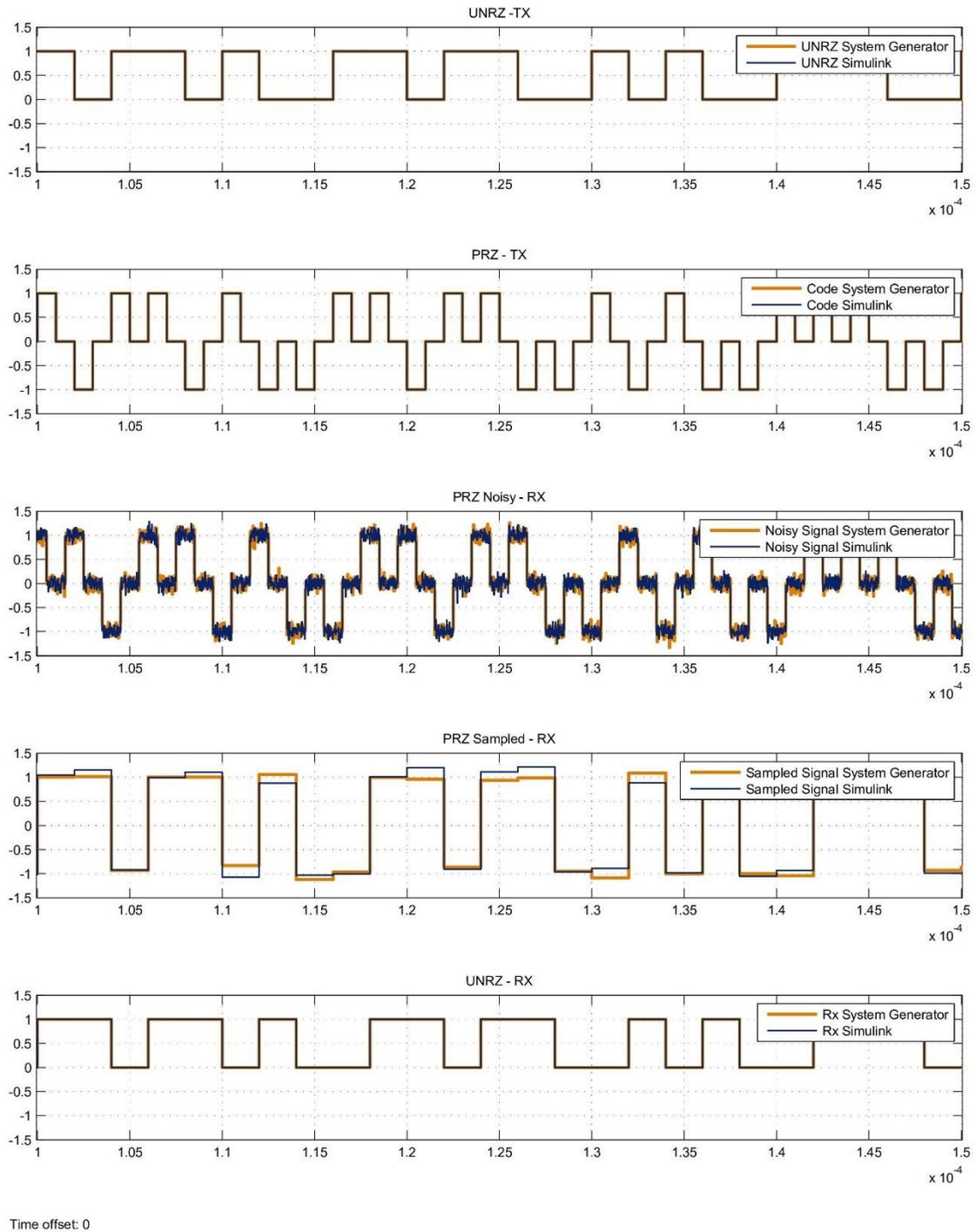


Figura C.10. Formas de onda de la simulación del código PRZ.

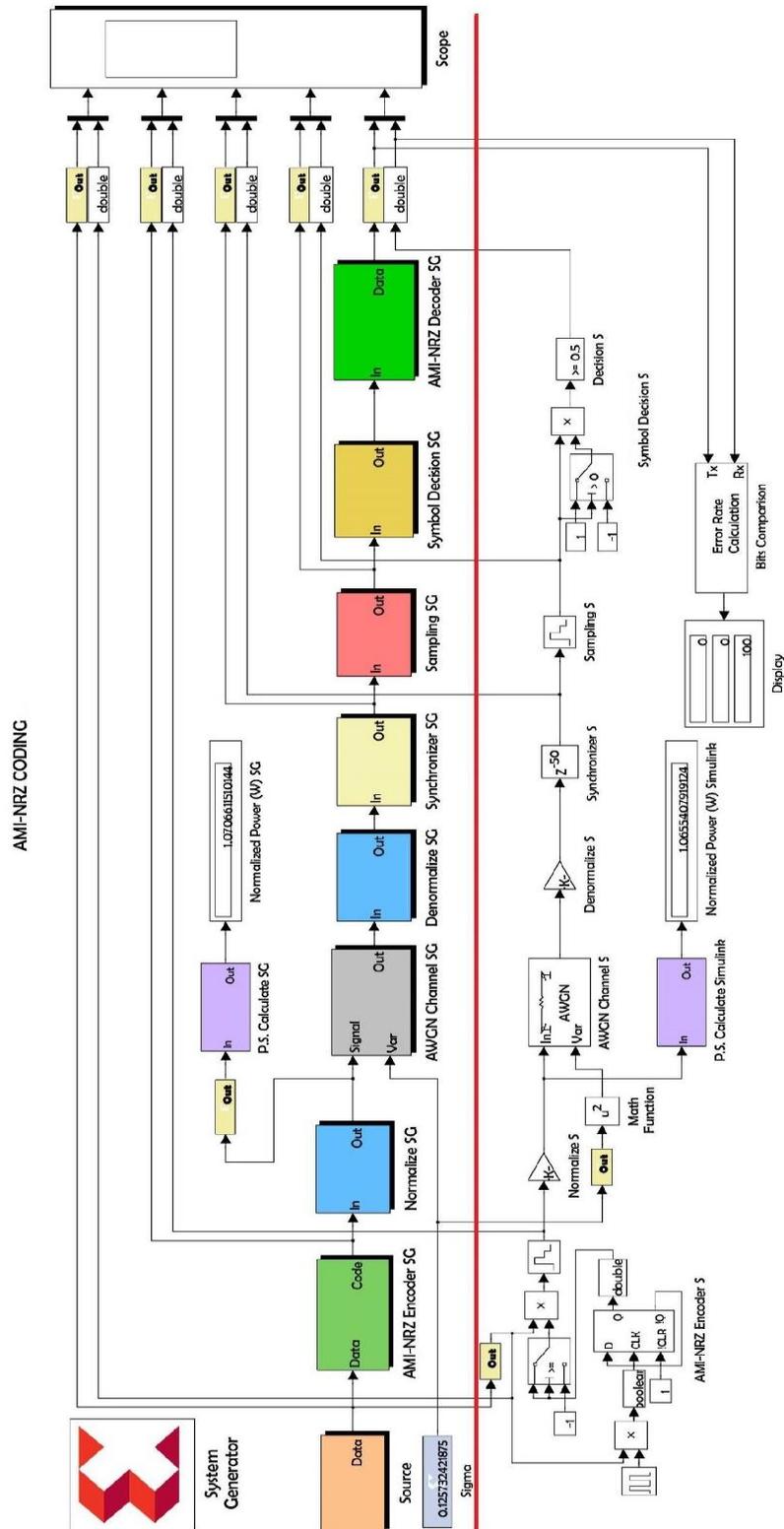
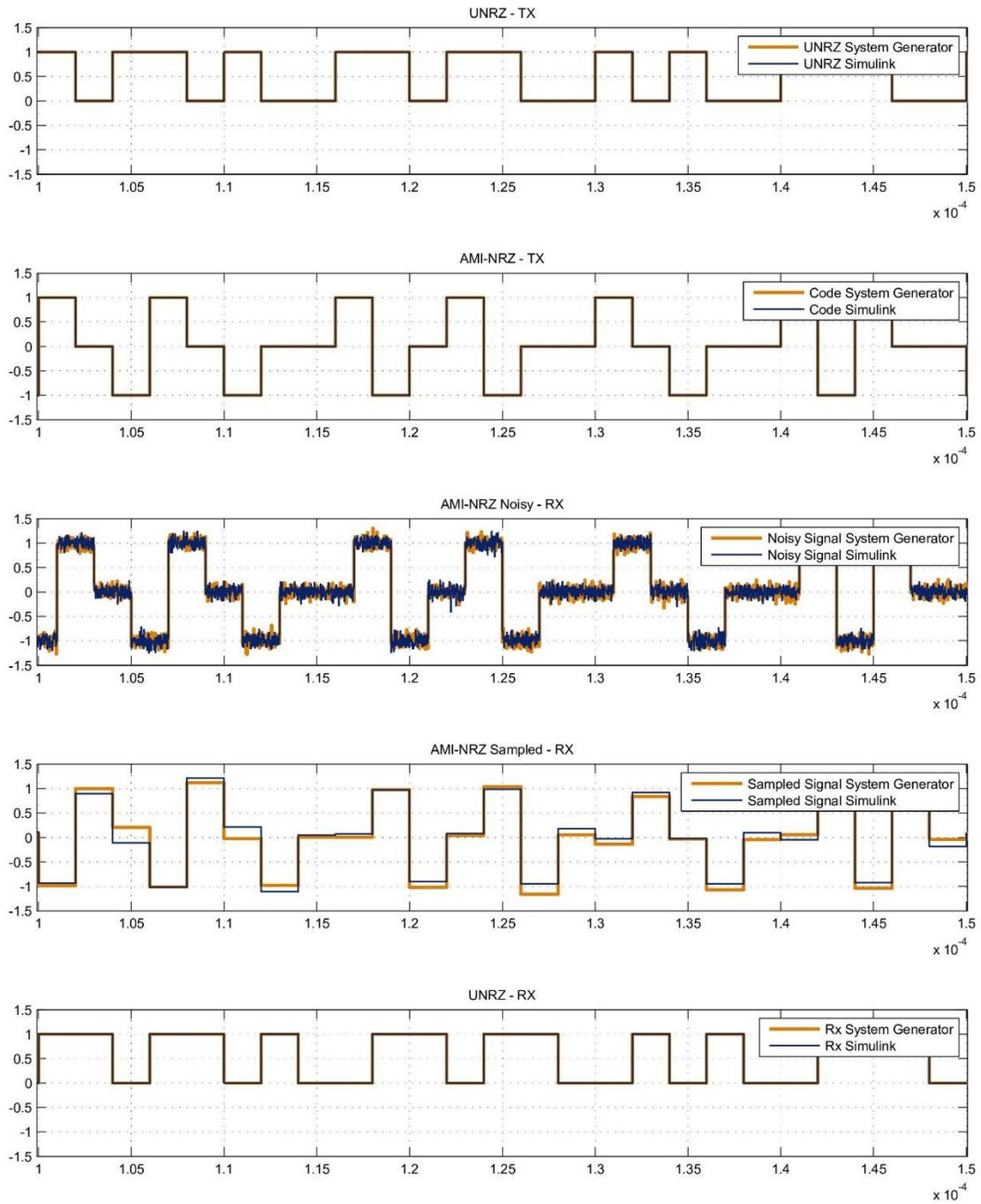


Figura C.11. Modelo de Simulación para la codificación AMI-NRZ.



Time offset: 0

Figura C.12. Formas de onda de la simulación del código AMI-NRZ.

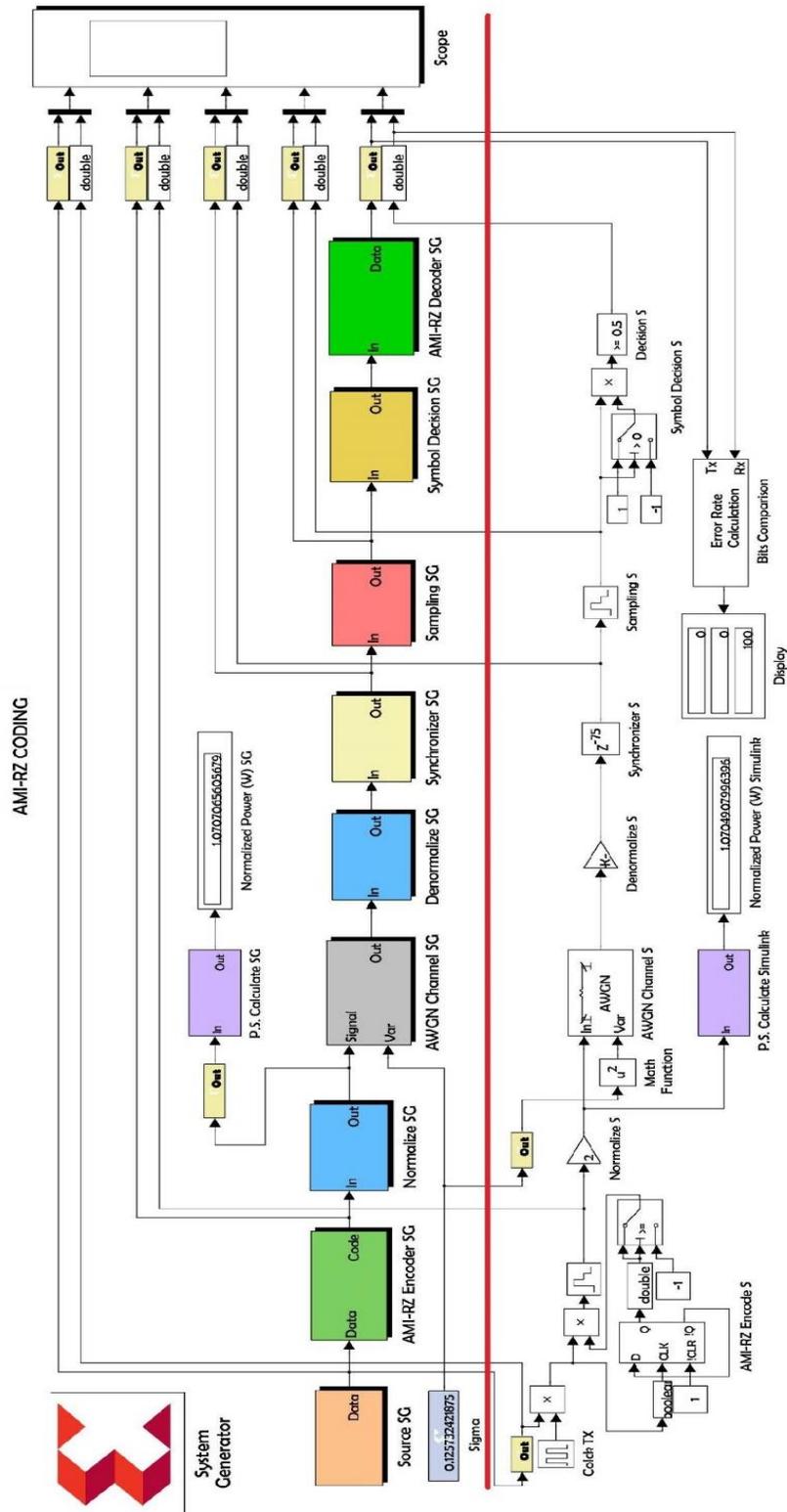
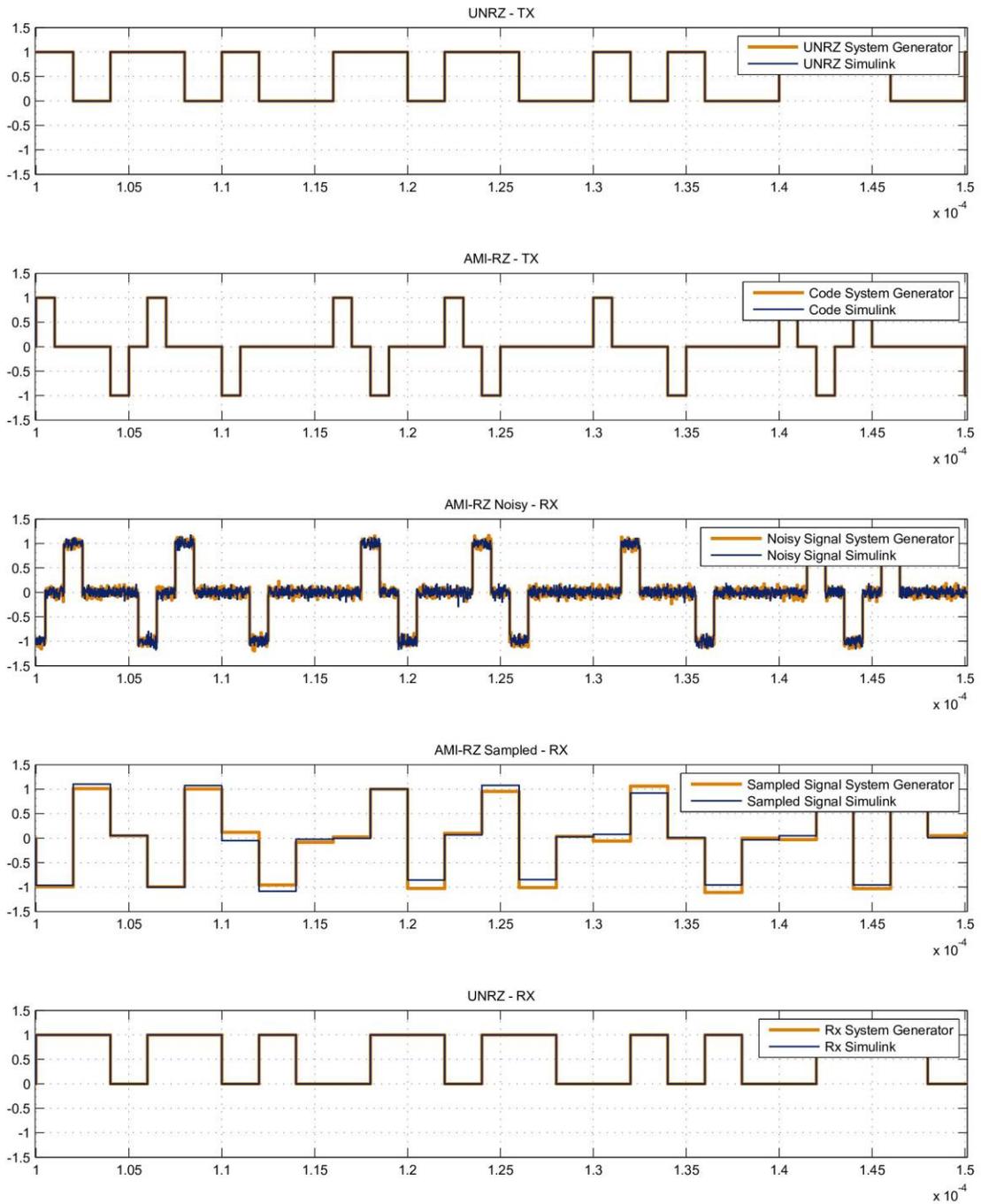


Figura C.13. Modelo de Simulación para la codificación AMI-RZ.



Time offset: 0

Figura C.14. Formas de onda de la simulación del código AMI-RZ.

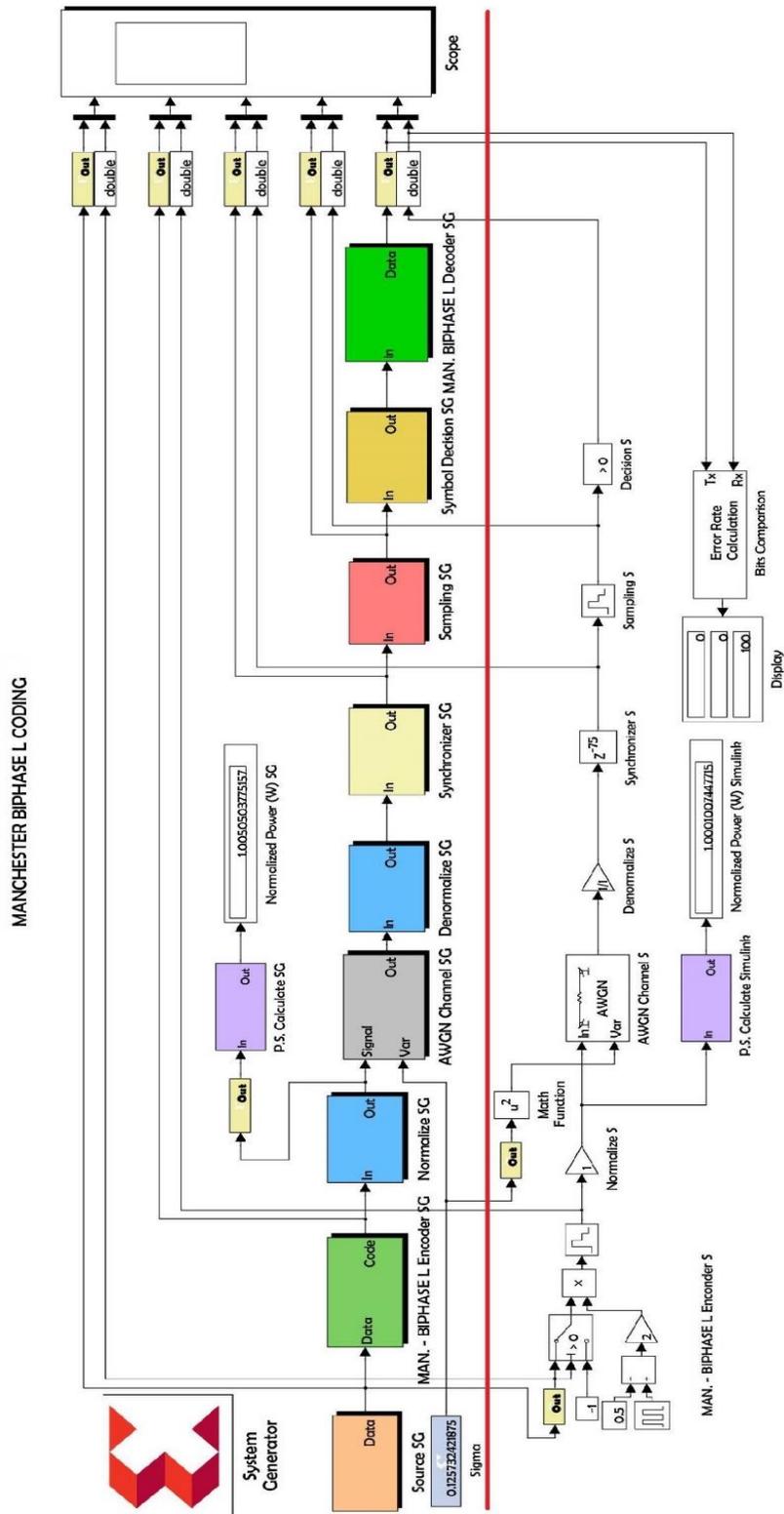
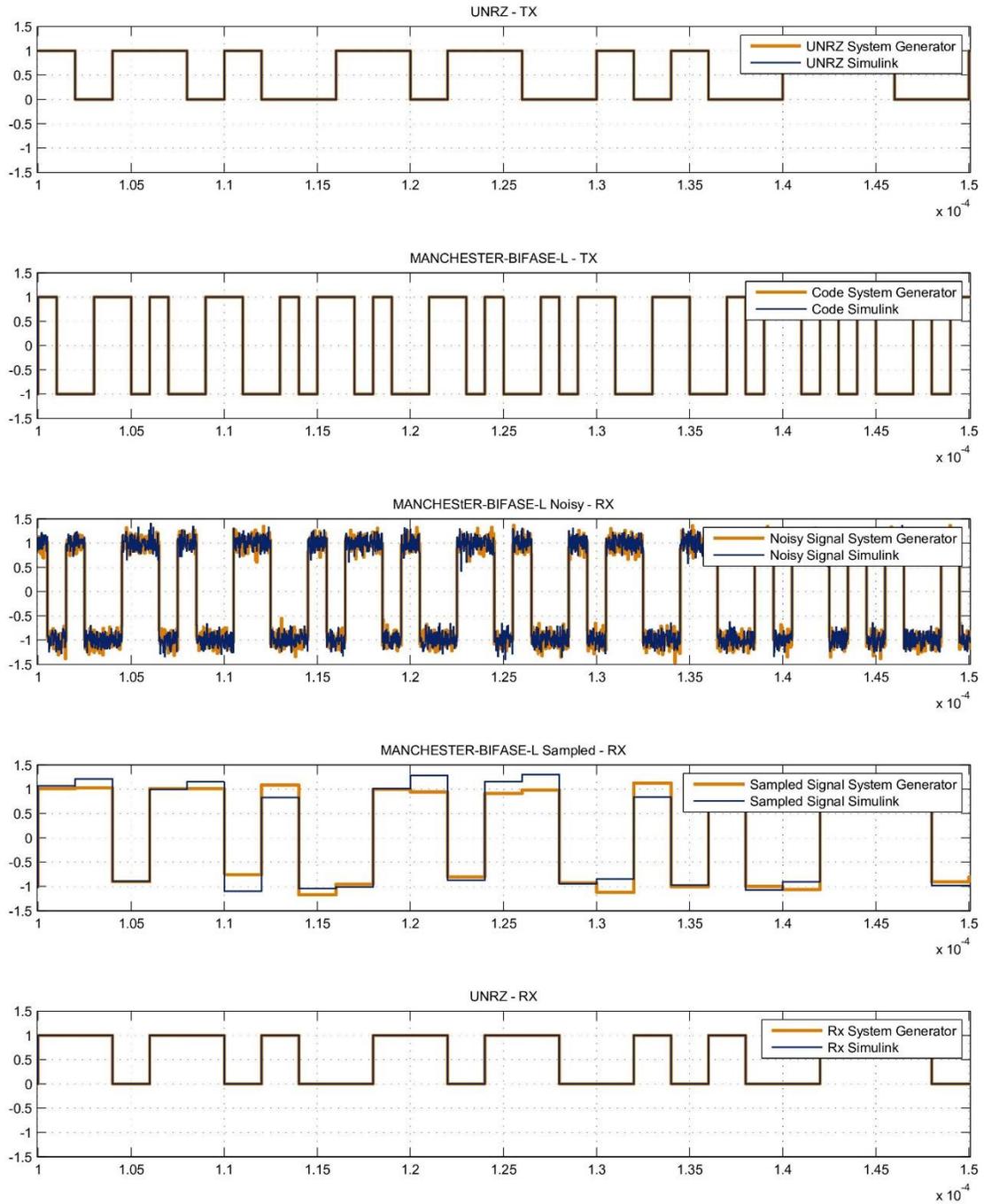


Figura C.15. Modelo de Simulación para la codificación Manchester Biphase - L.



Time offset: 0

Figura C.16. Formas de onda de la simulación del código Manchester Biphase - L.

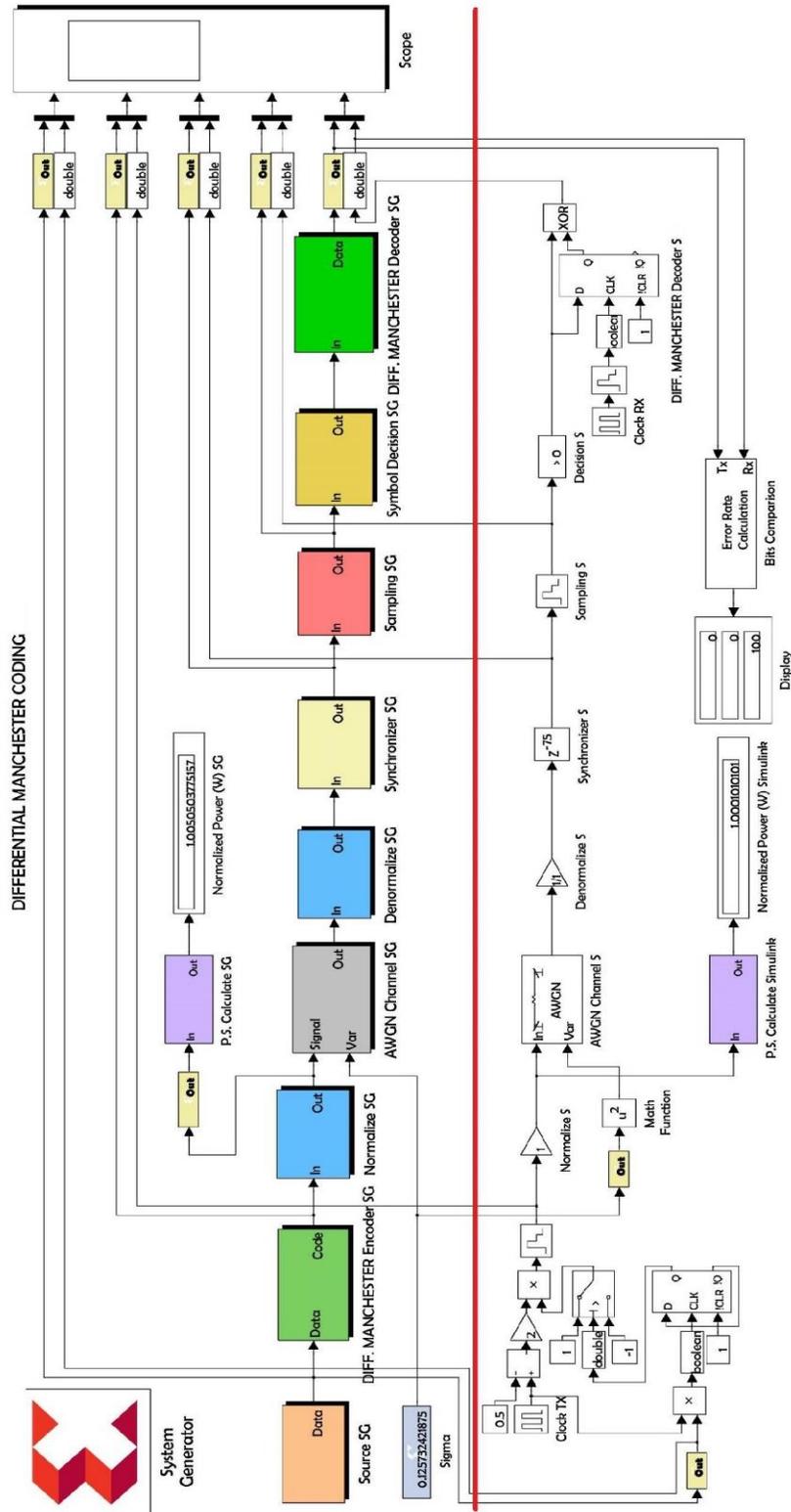
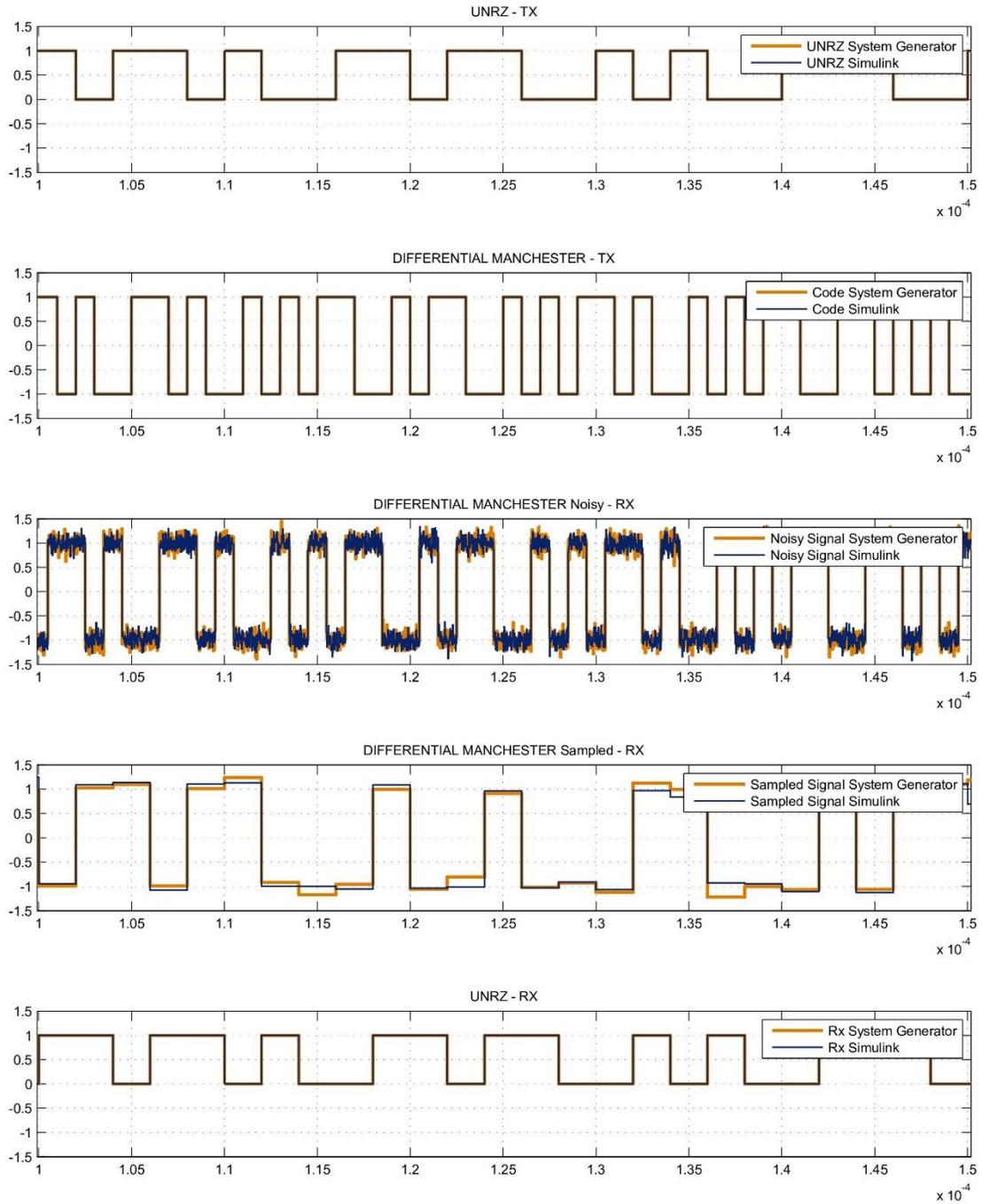


Figura C.17. Modelo de Simulación para la codificación Differential Manchester.



Time offset: 0

Figura C.18. Formas de onda de la simulación del código Differential Manchester.

**ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA DE
COMUNICACIÓN DIGITAL BASADO EN HARDWARE
RECONFIGURABLE QUE IMPLEMENTA CODIFICACIÓN DE LÍNEA**



APÉNDICE D

Oscar Iván Velásquez Andrade
Javier Alexis Urresty Sánchez

Director
Mag. Víctor Fabián Miramá Pérez

Universidad del Cauca

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
GRIAL - Grupo de Radio e InALámbricas
GNTT - Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones
Señales y Sistemas de Acceso y Difusión Basados en Radio
Señales y Sistemas de Telecomunicaciones
Popayán 2016**



APENDICE D

APLICACIÓN DE ESCRITORIO

Para capturar la BER del sistema de comunicaciones con codificación de línea se desarrolló una aplicación de escritorio en el entorno Microsoft Visual Studio bajo el lenguaje de programación Visual Basic. Figura D.1.

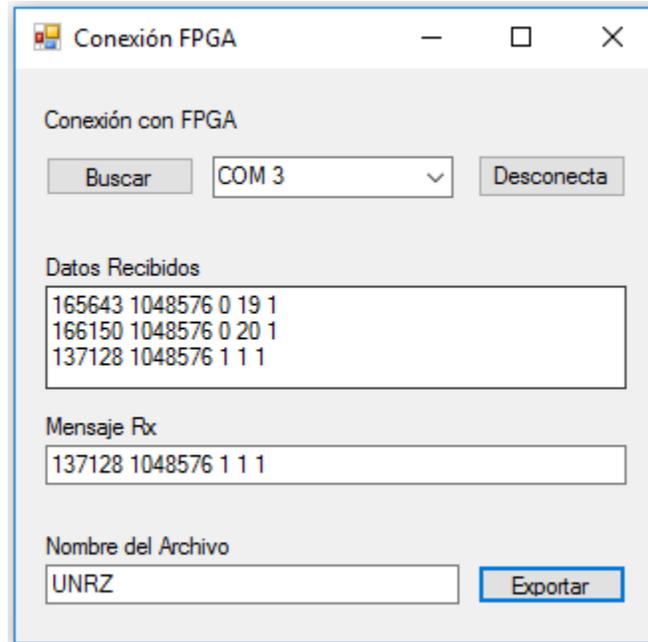


Figura D.1. Aplicación para conexión con FPGA

La aplicación se conecta a la FPGA mediante el puerto serial previamente configurado en un computador. Una vez se establece la conexión el siguiente paso consiste en iniciar el proceso de transmisión de datos encapsulados en la trama de la figura D.2.



Figura D.2. Trama recibida por la aplicación de escritorio.

A continuación, se describe cada campo de la trama:

- **Wrong Bits:** Cantidad de bits errados en la transmisión.
- **Total Bits:** Cantidad de bits transmitidos.
- **EsNo:** Relación Señal a Ruido con la que se está transmitiendo dado en decibelios.



- **Iteration:** Número de repetición por cada relación señal a ruido.
- **Coding:** Número que identifica la codificación que se está implementando.

Para monitorear la transmisión y el funcionamiento de la aplicación la información recibida se muestra en el recuadro *Datos Recibidos* (ver figura D.1) y cada trama se muestra en el recuadro *Mensaje Recibido* (ver figura D.1) y se guarda en una lista interna para ser procesada más adelante.

Cuando finaliza la recepción de datos, la aplicación calcula la BER para cada elemento de la trama a partir de los bits errados y los bits transmitidos, luego la información recibida se organiza en una tabla que se exporta en un archivo Excel, tal como lo muestra la figura D.3.

	A	B	C	D	E	F
	Iteration	Es/No	Measured BER	Wrong Bits	TX Bits	
1						
2	1	0	0,158378601	166072	1048576	
3	2	0	0,158224106	165910	1048576	
4	3	0	0,15807724	165756	1048576	
5	4	0	0,15802002	165696	1048576	
6	5	0	0,158159256	165842	1048576	
7	6	0	0,158090591	165770	1048576	
8	7	0	0,158003807	165679	1048576	
9	8	0	0,158549309	166251	1048576	
10	9	0	0,157618523	165275	1048576	
11	10	0	0,157719612	165381	1048576	
12	11	0	0,15777874	165443	1048576	
13	12	0	0,157783508	165448	1048576	
14	13	0	0,158434868	166131	1048576	
15	14	0	0,158069611	165748	1048576	
16	15	0	0,15823555	165922	1048576	
17	16	0	0,157988548	165663	1048576	
18	17	0	0,158343315	166035	1048576	
19	18	0	0,157608986	165265	1048576	
20	19	0	0,157969475	165643	1048576	
21	20	0	0,158452988	166150	1048576	
22	1	1	0,15775452	165728	1048576	

Figura D.3. Archivo Excel.

**ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA DE
COMUNICACIÓN DIGITAL BASADO EN HARDWARE
RECONFIGURABLE QUE IMPLEMENTA CODIFICACIÓN DE LÍNEA**



APÉNDICE E

Oscar Iván Velásquez Andrade
Javier Alexis Urresty Sánchez

Director
Mag. Víctor Fabián Miramá Pérez

Universidad del Cauca

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
GRIAL - Grupo de Radio e InALámbricas
GNTT - Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones
Señales y Sistemas de Acceso y Difusión Basados en Radio
Señales y Sistemas de Telecomunicaciones
Popayán 2016**



APENDICE E

VALORES PROMEDIOS OBTENIDOS DE SIMULINK Y FPGA A NIVEL DE BER PARA LOS CÓDIGOS DE LINEA

En las tablas E.1 a E.9 se presentan los valores de BER para las diferentes codificaciones.

Tabla E.1. Valores de BER de la codificación UNRZ

Es/No	BER	
	SIMULINK	FPGA
0	0,1586765766	0,1580753326
1	0,1308713913	0,1307158947
2	0,1040371418	0,1028458118
3	0,0788254738	0,0788812160
4	0,0565402985	0,0563488483
5	0,0376508236	0,0374172211
6	0,0229855537	0,0227097511
7	0,0125937939	0,0124086857
8	0,0059867859	0,0059288502
9	0,0024179459	0,0023924351
10	0,0007852077	0,0007690907

Tabla E.2. Valores de BER de la codificación NRZ-I

Es/No	BER	
	SIMULINK	FPGA
0	0,1449862003	0,1440670967
1	0,1062872410	0,1055803776
2	0,0721347809	0,0714405537
3	0,0447671890	0,0443832397
4	0,0247321129	0,0243385792
5	0,0117930412	0,0116198540
6	0,0047582626	0,0046787262
7	0,0015459061	0,0015147209
8	0,0003734112	0,0003725052
9	0,0000686646	0,0000642776
10	0,0000068665	0,0000071526



Tabla E.3. Valores de BER de la codificación PNRZ

Es/No	BER	
	SIMULINK	FPGA
0	0,0786929131	0,0781567574
1	0,0562095165	0,0559319019
2	0,0374908924	0,0370226860
3	0,0228047848	0,0227039337
4	0,0124903679	0,0122939110
5	0,0059458256	0,0058377743
6	0,0023810387	0,0023603439
7	0,0007641315	0,0007613182
8	0,0001891613	0,0001838207
9	0,0000327587	0,0000291824
10	0,0000038147	0,0000029564

Tabla E.4. Valores de BER de la codificación URZ

Es/No	BER	
	SIMULINK	FPGA
0	0,1586457729	0,1581703663
1	0,1309955597	0,1306124210
2	0,1041234970	0,1030208111
3	0,0789398193	0,0787863255
4	0,0563577652	0,0563521385
5	0,0377126217	0,0373843670
6	0,0229984283	0,0226778984
7	0,0125795841	0,0123743057
8	0,0060400963	0,0059127331
9	0,0024096012	0,0023860455
10	0,0007772446	0,0007719040



Tabla E.5. Valores de BER de la codificación PRZ

Es/No	BER	
	SIMULINK	FPGA
0	0,0786767006	0,0782708645
1	0,0563279629	0,0559332371
2	0,0374897003	0,0370643139
3	0,0228730202	0,0226988316
4	0,0124954700	0,0122992039
5	0,0059639931	0,0058696747
6	0,0023913860	0,0023455143
7	0,0007730484	0,0007498741
8	0,0001894474	0,0001909256
9	0,0000313759	0,0000316143
10	0,0000040531	0,0000037670

Tabla E.6. Valores de BER de la codificación AMI – NRZ

Es/No	BER	
	SIMULINK	FPGA
0	0,2373087883	0,2360900402
1	0,1961485863	0,1954066753
2	0,1559268475	0,1544722080
3	0,1182414532	0,1173192501
4	0,0846855640	0,0839670658
5	0,0564856052	0,0558658123
6	0,0345313072	0,0338418484
7	0,0188835621	0,0185452461
8	0,0090253353	0,0087164402
9	0,0036152840	0,0035120964
10	0,0011737823	0,0011325359



Tabla E.7. Valores de BER de la codificación AMI – RZ

Es/No	BER	
	SIMULINK	FPGA
0	0,2373441696	0,2359274864
1	0,1963222504	0,1954351425
2	0,1558949947	0,1545768738
3	0,1183621883	0,1173909187
4	0,0848924160	0,0839745998
5	0,0564970016	0,0557469845
6	0,0344664574	0,0338429451
7	0,0188555241	0,0184886456
8	0,0089997768	0,0087465763
9	0,0036152840	0,0035133362
10	0,0011705399	0,0011479855

Tabla E.8. Valores de BER de la codificación Manchester o Biphase L

Es/No	BER	
	SIMULINK	FPGA
0	0,0786005974	0,0781995773
1	0,0562228203	0,0559597969
2	0,0374384403	0,0370449543
3	0,0228882313	0,0226999760
4	0,0124867439	0,0122979641
5	0,0059691429	0,0058393955
6	0,0023804188	0,0023664474
7	0,0007864475	0,0007492542
8	0,0001881599	0,0001900196
9	0,0000338078	0,0000317097
10	0,0000041962	0,0000043869



Tabla E.9. Valores de BER de la codificación Manchester Diferencial

Es/No	Measured BER	
	SIMULINK	FPGA
0	0,1483776569	0,1442030907
1	0,1076791019	0,1056970119
2	0,0723864040	0,0714819908
3	0,0439536285	0,0444370747
4	0,0242766819	0,0243043423
5	0,0115437241	0,0115677834
6	0,0045701080	0,0046780586
7	0,0014178982	0,0015084267
8	0,0003728987	0,0003749847
9	0,0000626573	0,0000625610
10	0,0000079811	0,0000075340



ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN DIGITAL BASADO EN HARDWARE RECONFIGURABLE QUE IMPLEMENTA CODIFICACIÓN DE LÍNEA

**ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA DE
COMUNICACIÓN DIGITAL BASADO EN HARDWARE
RECONFIGURABLE QUE IMPLEMENTA CODIFICACIÓN DE LÍNEA**



APÉNDICE F

Oscar Iván Velásquez Andrade
Javier Alexis Urresty Sánchez

Director
Mag. Víctor Fabián Miramá Pérez

Universidad del Cauca

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
GRIAL - Grupo de Radio e InALámbricas
GNTT - Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones
Señales y Sistemas de Acceso y Difusión Basados en Radio
Señales y Sistemas de Telecomunicaciones
Popayán 2016**



APENDICE F

VALORES PROMEDIOS OBTENIDOS DE SIMULINK Y FPGA A NIVEL DE BER PARA LOS CÓDIGOS DE LINEA EN LOS DIFERENTES ESCENARIOS

F.1. Valores obtenidos del FPGA a nivel de BER para 1536 bits transmitidos.

En las tablas F.1 a F.9 se presentan los valores de BER para las diferentes codificaciones implementadas a una velocidad de 10Kbps y 500Kbps.

Tabla F.1. Valores de BER de la codificación UNRZ

Es/No	BER	
	10 Kbps	500 Kbps
0	0,1549479167	0,156766237
1	0,1331380208	0,132910156
2	0,1024739583	0,105566406
3	0,0808919271	0,077018229
4	0,0586914063	0,056087240
5	0,0384765625	0,036946615
6	0,0237955729	0,022591146
7	0,0121419271	0,011686198
8	0,0063476563	0,005208333
9	0,0022786458	0,002604167
10	0,0006510417	0,000488281

Tabla F.2. Valores de BER de la codificación NRZ-I

Es/No	BER	
	10 Kbps	500 Kbps
0	0,1433547156	0,145438557
1	0,1044921875	0,105403646
2	0,0706054688	0,073437500
3	0,0429361979	0,045507813
4	0,0249348958	0,025358073
5	0,0121744792	0,011914063
6	0,0035807292	0,004817708
7	0,0017578125	0,001692708
8	0,0003906250	0,000325521
9	0,0001302083	0,000000000
10	0,0000000000	0,000000000



Tabla F.3. Valores de BER de la codificación PNRZ

BER		
Es/No	10 Kbps	500 Kbps
0	0,0767878866	0,076657932
1	0,0553059896	0,056673177
2	0,0363932292	0,035970052
3	0,0228841146	0,023046875
4	0,0122070313	0,011490885
5	0,0059570313	0,004882813
6	0,0025716146	0,002441406
7	0,0008138021	0,000781250
8	0,0002278646	0,000227865
9	0,0000000000	0,000000000
10	0,0000000000	0,000000000

Tabla F.4. Valores de BER de la codificación URZ

BER		
Es/No	10 Kbps	500 Kbps
0	0,1596952896	0,159239073
1	0,1291992188	0,131770833
2	0,1024739583	0,103971354
3	0,0811523438	0,078873698
4	0,0577799479	0,055045573
5	0,0354817708	0,037369792
6	0,0226888021	0,023177083
7	0,0122070313	0,012369792
8	0,0059244792	0,005761719
9	0,0022460938	0,001595052
10	0,0010416667	0,000781250



Tabla F.5. Valores de BER de la codificación PRZ

BER		
Es/No	10 Kbps	500 Kbps
0	0,0774388012	0,077146023
1	0,0532877604	0,054101563
2	0,0369140625	0,037337240
3	0,0224283854	0,022298177
4	0,0125325521	0,013541667
5	0,0053710938	0,006119792
6	0,0020833333	0,002604167
7	0,0008138021	0,000716146
8	0,0000976563	0,000097656
9	0,0000651042	0,000000000
10	0,0000000000	0,000032552

Tabla F.6. Valores de BER de la codificación AMI-NRZ

BER		
Es/No	10 Kbps	500 Kbps
0	0,2347582124	0,234465328
1	0,1990559896	0,194628906
2	0,1515625000	0,153515625
3	0,1211588542	0,118815104
4	0,0840169271	0,083170573
5	0,0575520833	0,057291667
6	0,0341145833	0,033593750
7	0,0193033854	0,017936198
8	0,0079752604	0,009212240
9	0,0030273438	0,003483073
10	0,0015625000	0,001171875



Tabla F.7. Valores de BER de la codificación AMI-RZ

BER		
Es/No	10 Kbps	500 Kbps
0	0,2327728741	0,235864496
1	0,1951497396	0,193652344
2	0,1557617188	0,152246094
3	0,1152018229	0,115169271
4	0,0850585938	0,084212240
5	0,0554687500	0,058561198
6	0,0321289063	0,032486979
7	0,0189778646	0,018945313
8	0,0094075521	0,009342448
9	0,0039062500	0,003255208
10	0,0012044271	0,001432292

Tabla F.8. Valores de BER de la codificación Manchester Biphase L

BER		
Es/No	10 Kbps	500 Kbps
0	0,0774386953	0,077504032
1	0,0569986979	0,054459635
2	0,0384440104	0,038834635
3	0,0232747396	0,022591146
4	0,0113932292	0,011979167
5	0,0055013021	0,005826823
6	0,0023111979	0,002343750
7	0,0007161458	0,000813802
8	0,0001953125	0,000325521
9	0,0000000000	0,000000000
10	0,0000000000	0,000032552



Tabla F.9. Valores de BER de la codificación Manchester Diferencial

Es/No	BER	
	10 Kbps	500 Kbps
0	0,1438760149	0,144201091
1	0,1022135417	0,103678385
2	0,0685221354	0,073177083
3	0,0443033854	0,045182292
4	0,0250000000	0,023860677
5	0,0126302083	0,010937500
6	0,0046223958	0,004231771
7	0,0015625000	0,001367188
8	0,0003906250	0,000585937
9	0,0000000000	0,000065104
10	0,0000000000	0,000000000

F.2. Valores obtenidos del FPGA a nivel de BER para 1048576 bits transmitidos.

En las tablas F.10 a F.18 se presentan los valores de BER para las diferentes codificaciones implementadas a una velocidad de 10Kbps y 500Kbps.

Tabla F.10. Valores de BER de la codificación UNRZ

Es/No	BER	
	10Kpbs	500Kpbs
0	0,1580753326	0,1581832333
1	0,1307158947	0,1306358337
2	0,1028458118	0,1029861927
3	0,0788812160	0,0787482262
4	0,0563488483	0,0563839912
5	0,0374172211	0,0374340534
6	0,0227097511	0,0227048397
7	0,0124086857	0,0123908043
8	0,0059288502	0,0059060097
9	0,0023924351	0,0023621559
10	0,0007690907	0,0007643700



Tabla F.11. Valores de BER de la codificación NRZ-I

Es/No	BER	
	10Kpbs	500Kpbs
0	0,1440670967	0,1443265369
1	0,1055803776	0,1056551456
2	0,0714405537	0,0714853287
3	0,0443832397	0,0445326328
4	0,0243385792	0,0243440628
5	0,0116198540	0,0116418839
6	0,0046787262	0,0046750069
7	0,0015147209	0,0014860153
8	0,0003725052	0,0003607750
9	0,0000642776	0,0000651360
10	0,0000071526	0,0000072479

Tabla F.12. Valores de BER de la codificación PNRZ

Es/No	BER	
	10Kpbs	500Kpbs
0	0,0781567574	0,0782091580
1	0,0559319019	0,0560024738
2	0,0370226860	0,0371606827
3	0,0227039337	0,0227263927
4	0,0122939110	0,0123241425
5	0,0058377743	0,0058315754
6	0,0023603439	0,0023434639
7	0,0007613182	0,0007565022
8	0,0001838207	0,0001896858
9	0,0000291824	0,0000321388
10	0,0000029564	0,0000030041



Tabla F.13. Valores de BER de la codificación URZ

Es/No	BER	
	10Kpbs	500Kpbs
0	0,1581703663	0,1580603047
1	0,1306124210	0,1306608200
2	0,1030208111	0,1030857086
3	0,0787863255	0,0787864208
4	0,0563521385	0,0564014912
5	0,0373843670	0,0373585701
6	0,0226778984	0,0227119446
7	0,0123743057	0,0123958111
8	0,0059127331	0,0059041977
9	0,0023860455	0,0023851395
10	0,0007719040	0,0007643700

Tabla F.14. Valores de BER de la codificación PRZ

Es/No	BER	
	10Kpbs	500Kpbs
0	0,0782708645	0,0782018624
1	0,0559332371	0,0559564590
2	0,0370643139	0,0370380878
3	0,0226988316	0,0227071762
4	0,0122992039	0,0122972965
5	0,0058696747	0,0058387280
6	0,0023455143	0,0023667336
7	0,0007498741	0,0007487774
8	0,0001909256	0,0001899242
9	0,0000316143	0,0000318050
10	0,0000037670	0,0000044346



Tabla F.15. Valores de BER de la codificación AMI-NRZ

Es/No	BER	
	10Kpbs	500Kpbs
0	0,2360900402	0,2362514383
1	0,1954066753	0,1953029633
2	0,1544722080	0,1545545101
3	0,1173192501	0,1172430038
4	0,0839670658	0,0839668274
5	0,0558658123	0,0559020519
6	0,0338418484	0,0338509560
7	0,0185452461	0,0185074806
8	0,0087164402	0,0087360382
9	0,0035120964	0,0034949780
10	0,0011325359	0,0011355400

Tabla F.16. Valores de BER de la codificación AMI-RZ

Es/No	BER	
	10Kpbs	500Kpbs
0	0,2359274864	0,2359420187
1	0,1954351425	0,1954291344
2	0,1545768738	0,1545883656
3	0,1173909187	0,1173914909
4	0,0839745998	0,0839414597
5	0,0557469845	0,0557532787
6	0,0338429451	0,0338527203
7	0,0184886456	0,0184901237
8	0,0087465763	0,0087486744
9	0,0035133362	0,0035176754
10	0,0011479855	0,0011451244



Tabla F.17. Valores de BER de la codificación Manchester Biphase L

Es/No	BER	
	10Kpbs	500Kpbs
0	0,0781995773	0,0782540284
1	0,0559597969	0,0559916019
2	0,0370449543	0,0371306896
3	0,0226999760	0,0227390766
4	0,0122979641	0,0122920990
5	0,0058393955	0,0058398724
6	0,0023664474	0,0023392677
7	0,0007492542	0,0007521629
8	0,0001900196	0,0001872063
9	0,0000317097	0,0000334263
10	0,0000043869	0,0000040531

Tabla F.18. Valores de BER de la codificación Manchester Diferencial

Es/No	BER	
	10Kpbs	500Kpbs
0	0,1442030907	0,1441779068
1	0,1056970119	0,1057260990
2	0,0714819908	0,0714942455
3	0,0444370747	0,0444745064
4	0,0243043423	0,0242738724
5	0,0115677834	0,0115808487
6	0,0046780586	0,0046832085
7	0,0015084267	0,0015105724
8	0,0003749847	0,0003720284
9	0,0000625610	0,0000613213
10	0,0000075340	0,0000069618