

**EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO A NIVEL FÍSICO DE UN SISTEMA
INALÁMBRICO DE COMUNICACIÓN DE DATOS PUNTO A PUNTO DE CORTO ALCANCE
EN LA BANDA DE 2.4 GHZ EMPLEANDO BLUETOOTH**



ANEXO

**Diana Carolina Pérez Varela
Brayan Estiven Muñoz Delgado**

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
Gestión Integrada de Redes, Servicios y Arquitecturas de Telecomunicaciones**

Popayán, 2012
**EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO A NIVEL FÍSICO DE UN SISTEMA
INALÁMBRICO DE COMUNICACIÓN DE DATOS PUNTO A PUNTO DE CORTO ALCANCE
EN LA BANDA DE 2.4 GHZ EMPLEANDO BLUETOOTH**



Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

**Diana Carolina Pérez Varela
Brayan Estiven Muñoz Delgado**

ANEXO

Director: Víctor Manuel Quintero Flórez

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**

Gestión Integrada de Redes, Servicios y Arquitecturas de Telecomunicaciones
Popayán, 2012

TABLA DE CONTENIDO

A.1 DESCRIPCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA BLUETOOTH.....	6
A.1.1 Transmisor Bluetooth	6
A.1.1.1 Generador Binario De Bernoulli.....	6
A.1.1.2 Codificador Hamming.....	7
A.1.1.3 Entramado.....	7
A.1.1.4 Conformación de Bloque de Saltos en Frecuencia con Modulador GFSK (FH-CPM Modulator).....	8
A.1.2 Canal AWGN (AWGN Channel)	10
A.1.3. Receptor Bluetooth.....	11
A.2. CÁLCULO DE TASA DE ERRORES (<i>ERROR RATE CALCULATION</i>).....	12
A.2.1 Señal al Espacio de Trabajo (Signal to Workspace)	12

LISTADO DE FIGURAS.

Figura A.2 Modelo General del Sistema de Comunicaciones.	6
Figura A.3. Generador Binario de Bernoulli.	7
Figura A.4. Configuración del Codificador Hamming.	7
Figura A.5. Configuración del Buffer para Entramado.	8
Figura A.6 Bloque de Saltos en Frecuencia con Modulador GFSK.....	8
Figura A.7. Modulador de Fase Continua en Banda Base.....	9
Figura A.8 Configuración del Bloque M-FSK.....	9
Figura A.9. Configuración del Bloque Producto.....	10
Figura A.10. Configuración del Retardo.....	11
Figura A.11. Cálculo de Tasa de Errores.....	12

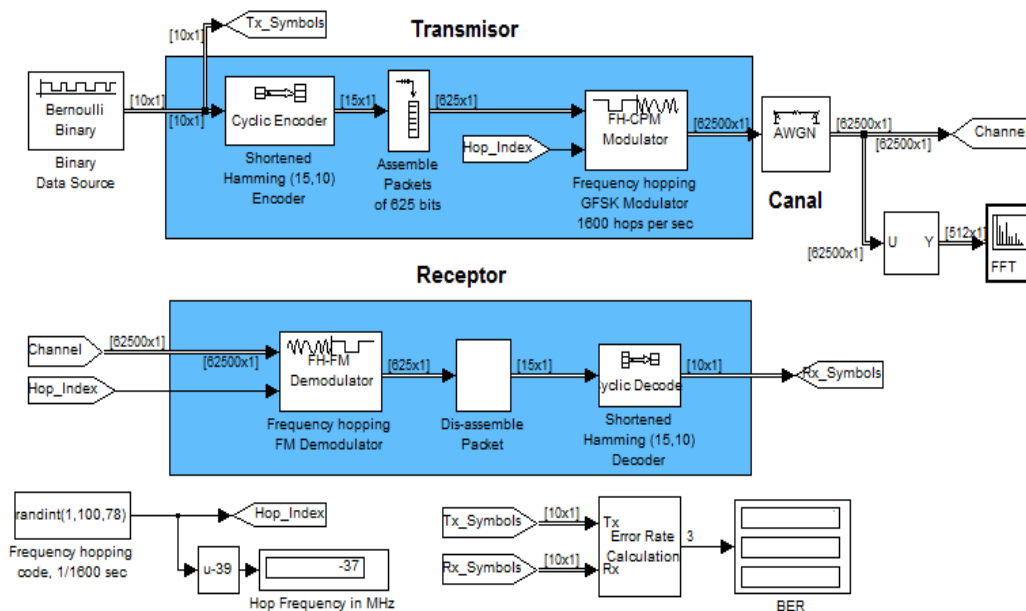
ANEXO A

SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN BLUETOOTH

Para tener un referente teórico del comportamiento del sistema de comunicación implementado mediante el kit de desarrollo BISDK02BI-02, fue tomada de la página web de Mathworks¹, la simulación del sistema Bluetooth bajo la herramienta Simulink® de Matlab®, donde se representa el conjunto de elementos del sistema mediante bloques que simulan su comportamiento a nivel físico en banda base². Simulink® provee bloques para el modelado de canales, técnicas de modulación, técnicas de codificación de canal entre otros, que permiten modelar sistemas de comunicaciones.

El sistema incluye bloques que se encargan de realizar la adecuación de las señales digitales entre cada uno de los procesos del sistema. También se ha agregado un bloque que simula el comportamiento de un canal AWGN, necesario para realizar la simulación básica del canal de comunicaciones. Por último, para visualizar los resultados de desempeño del sistema, la simulación cuenta con bloques de despliegue para visualizar los resultados obtenidos al finalizar la simulación.

El diagrama en bloques del sistema Bluetooth se muestra en la figura A.1.



¹ <http://www.mathworks.com/>

² Para simular una señal RF se necesita un gran número de muestras, por lo tanto utilizar los valores nominales de frecuencia incrementa considerablemente las capacidades computacionales, por este motivo las señales RF son representadas por una señal analítica en banda base mediante el cual permite caracterizar la señal en magnitud y fase.

Figura A.1 Diagrama en Bloques del Sistema Bluetooth.

A.1 DESCRIPCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA BLUETOOTH

En la figura A.2 se observa el esquema general del sistema. A continuación se hace una descripción de cada uno de los bloques y su respectiva implementación, con el objetivo de establecer las bases para realizar la simulación del sistema.

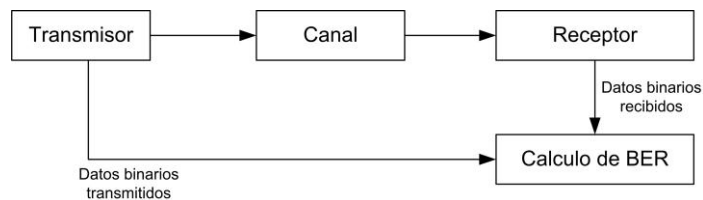


Figura A.2 Modelo General del Sistema de Comunicaciones.

A.1.1 Transmisor Bluetooth

El transmisor Bluetooth está compuesto por un generador binario, un codificador *Hamming*, un bloque de entramado y un bloque de saltos de frecuencia con modulación GFSK, a continuación se describen los parámetros definidos para cada uno de estos bloques.

A.1.1.1 Generador Binario De Bernoulli

Este bloque es el encargado de generar la información que se desea transmitir, es decir genera aleatoriamente los dígitos binarios de acuerdo al tiempo de muestreo (*sample time*) que se ingrese. En la figura A.3, se genera una señal aleatoria binaria a una velocidad de 720 kbps, que corresponde a un tiempo de muestreo igual a $1/720000$ y, con la misma probabilidad de generar símbolos de 0 y 1. Para generar una velocidad de 600 Kbps se configura un tiempo de muestreo igual a $1/600000$.

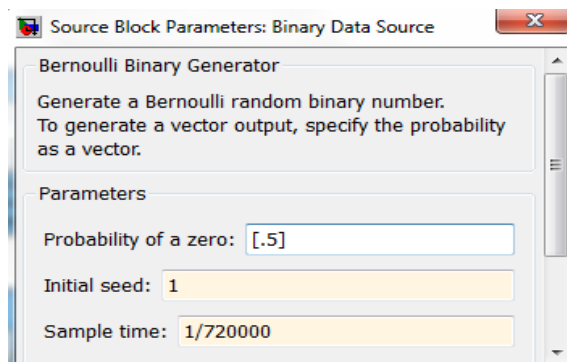


Figura A.3. Generador Binario de Bernoulli.

A.1.1.2 Codificador Hamming

Para la codificación se utiliza el bloque decodificador cíclico binario de Simulink®. Donde la casilla de longitud de palabra codificada N presenta el valor 15 para la codificación Hamming (15,10) y la casilla de polinomio generador o longitud de mensaje K presenta un vector con los valores dimensionales necesarios y característicos para la misma codificación, siguiendo los indicaciones que están dentro de la norma.

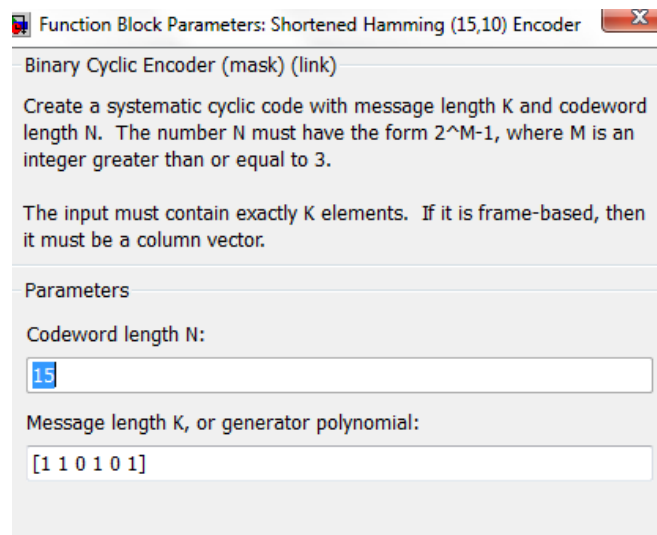


Figura A.4. Configuración del Codificador Hamming.

En este modulo se busca que la señal de salida sea una trama codificada de longitud inicial propuesta de 10 bits y extendida a 15 bits donde se incluyen los bits de codificación.

A.1.1.3 Entramado

Este bloque esta compuesto por el bloque *Buffer* de Simulink®, se encarga de redistribuir las muestras de entrada en un nuevo tamaño de trama, mas grande o mas pequeño que el tamaño de la trama de entrada. El almacenamiento de tramas de tamaño grande produce una salida con una tasa más baja que la velocidad de entrada, sin embargo para la simulación del sistema Bluetooth es necesaria esta condición para cumplir el requisito estipulado en la norma (625 μ s). La configuración se observa en la figura A.5.

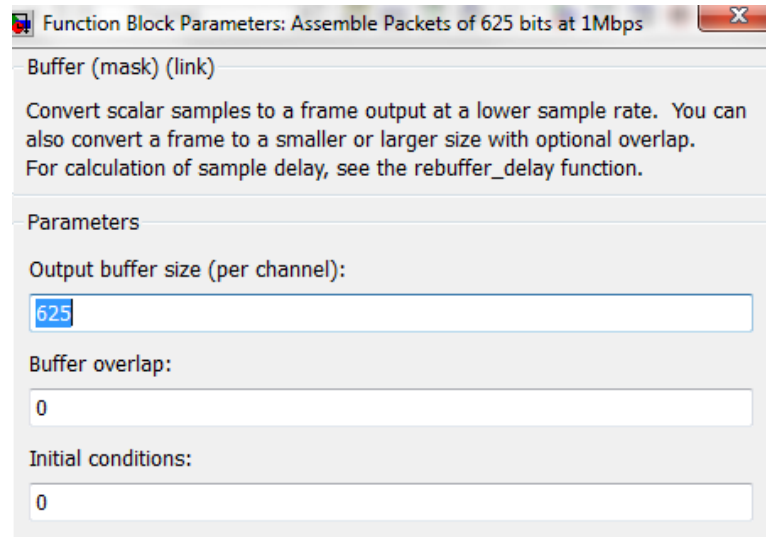


Figura A.5. Configuración del Buffer para Entramado.

A.1.1.4 Conformación de Bloque de Saltos en Frecuencia con Modulador GFSK (FH-CPM Modulator)

Este bloque esta conformado por los siguientes módulos como se indica en la figura A.6.

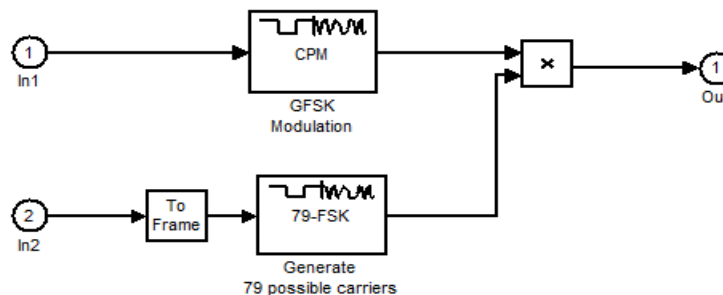


Figura A.6 Bloque de Saltos en Frecuencia con Modulador GFSK.

- **Modulador CPM de Banda Base (*CPM Modulator Baseband*)**

Este bloque se encarga de realizar la modulación GFSK basado en un esquema de modulación de fase continua. Los parámetros necesarios para producir la modulación GFSK se muestran en la Figura A.7, en donde se ha seleccionado el valor de 2 como número M-ario (*M-ary number*) ya que se trata de un esquema de la familia FSK, en donde cada símbolo binario se representa por una frecuencia diferente.

Necesariamente se debe seleccionar un filtro para la conformación de pulsos (*pulse shaping*) del tipo Gaussiano (*Gaussian*), y para la situación real, con un valor del parámetro del filtro *BT* igual a 0.5, según el fabricante.

Estos parámetros se configuran de manera similar en el bloque de demodulación, por lo cual solo se especifican mediante la figura A.7.

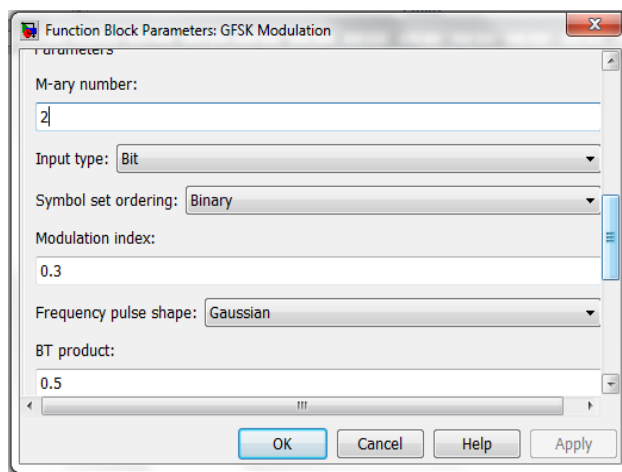


Figura A.7. Modulador de Fase Continuo en Banda Base.

- **Bloque de Modulación de Frecuencia**

El bloque de Modulador M-FSK modula utilizando el método de cambio de frecuencia de orden M-ario. La salida es una representación de la señal modulada. El parámetro numérico, M, es el numero de frecuencias de la señal modulada (figura A.8).

El parámetro de separación de frecuencia es el ancho de banda (Hz) entre frecuencias sucesivas de la señal modulada. Si el parámetro de continuidad de fase se fija a continuo, entonces la señal modulada mantiene su fase incluso cuando cambia su frecuencia. Si el parámetro de continuidad de fase se fija a discontinuo, entonces la señal modulada comprende porciones de M sinusoides de frecuencias diferentes.

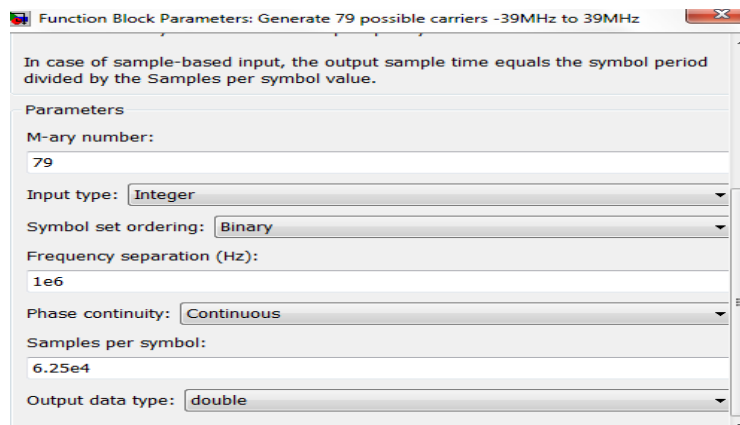


Figura A.8 Configuración del Bloque M-FSK.

Este bloque es el encargado de marcar el paso de salto para las diferentes portadoras, para efectuar el proceso de salto en frecuencia.

Como se observa en la figura anterior, se define el número M-ario para un valor de 79, representando los canales que emplea Bluetooth de acuerdo con el estándar [2], esta configuración se realiza con el fin de llevar los valores enteros entregado por el generador de saltos al mismo formato utilizado por el modulador GFSK.

- **Producto (*Product*).**

Este bloque es el encargado de realizar la multiplicación directa entre las señales correspondientes a los datos y a la secuencia de saltos. Por esta razón este bloque se configura para que reciba 2 entradas (*inputs*) como se muestra en la Figura A.9.

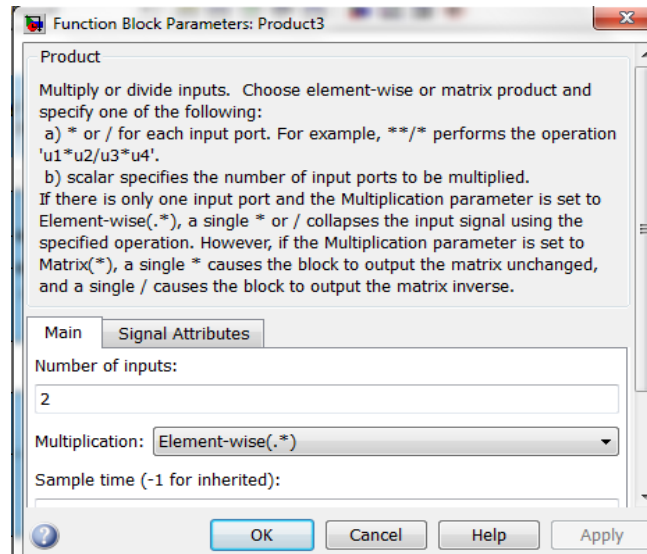


Figura A.9. Configuración del Bloque Producto.

La casilla Multiplicación tiene dos opciones, una para multiplicar matrices y la otra para multiplicar vectores o escalares, como la entrada del bloque son dos vectores entonces se configura como Element-wise que el indicado para este caso, las otras dos casillas son de una configuración orientada por los parámetros de Simulink®.

A.1.2 Canal AWGN (AWGN Channel)

Luego del mezclador la señal llega a un bloque que simula las condiciones de un canal afectado por Ruido Aditivo Blanco Gaussiano (AWGN, Additive white Gaussian noise) el cual permite la evaluación de la relación E_b/N_0 . En realidad el canal de comunicaciones es afectado por fenómenos adicionales muy diversos pero en este caso es necesario simplificar el modelo para su análisis, el resultado de este proceso se entrega a la etapa de recepción

A demás este bloque es el encargado de representar el comportamiento de un canal AWGN, a partir de las variaciones de la relación E_b/N_0 , E_s/N_0 o SNR. Para el caso particular, en donde la señal de entrada posee una velocidad de 1 Mbps, se ha definido un periodo de símbolo igual a $1/720000$, correspondiente a una velocidad de bits igual a 720 Kbps. Este parámetro varía de acuerdo a la velocidad de datos del sistema, pues a partir de estos valores es posible definir adecuadamente los valores de E_b/N_0 .

A.1.3. Receptor Bluetooth

Este bloque esta constituido por un decodificador *Hamming*, un bloque de retardo, un *buffer* (bloque de desentramado) y un bloque de saltos de frecuencia con demodulación GFSK.

El receptor Bluetooth debe estar configurado de igual forma al modulo transmisor ya que, el orden en los saltos en frecuencia se determina según una secuencia pseudo aleatoria o de Pseudo Ruido (PN, *Pseudo Noise*), que tanto el emisor como el receptor deben conocer. Esta secuencia se define como un conjunto de señales binarias, periódicas y de cierta longitud de tal forma que, dentro de un determinado periodo, la señal puede aproximarse a una señal aleatoria.

Por lo tanto para configurar los módulos mencionados anteriormente basta con observar las figuras: A.4, A.5, A.7, A.8 y A.9, ya que los parámetros a establecer en cada bloque son los representados en estas figuras. El receptor cuenta además de un bloque de retardo ya que el proceso de modulación y demodulación implica un desfase de tiempo de la señal recibida con respecto a la señal transmitida. En la figura A.10, se muestra la configuración de este parámetro.

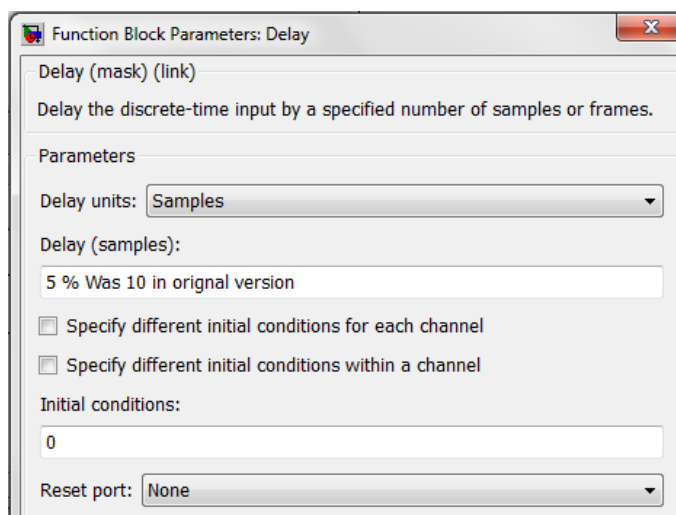


Figura A.10. Configuración del Retardo.

A.2. CÁLCULO DE TASA DE ERRORES (*ERROR RATE CALCULATION*)

Una vez que se ha recuperado la información en el extremo final del sistema de comunicación es pertinente verificar el estado de los datos recibidos, mediante una comparación realizada elemento a elemento entre cada uno de los bits recibidos y los bits originales que se transmitieron. Este bloque permite realizar esta comparación, teniendo en cuenta que las señales deben estar perfectamente sincronizadas, para que no existan errores en la comparación. Dentro de la configuración de este bloque que se muestra en la Figura A.11 se configura el Retardo de transmisión (*Receive delay*) con un valor de 430 muestras, lo que indica que el bloque se encarga de retardar las señales recibidas para sincronizarlas con las señales originales, y así realizar con éxito dicha comparación. Este retardo se debe a que las señales han sufrido un proceso de modulación y demodulación, lo cual hace que aparezcan tiempos de latencia en la transmisión de la información.

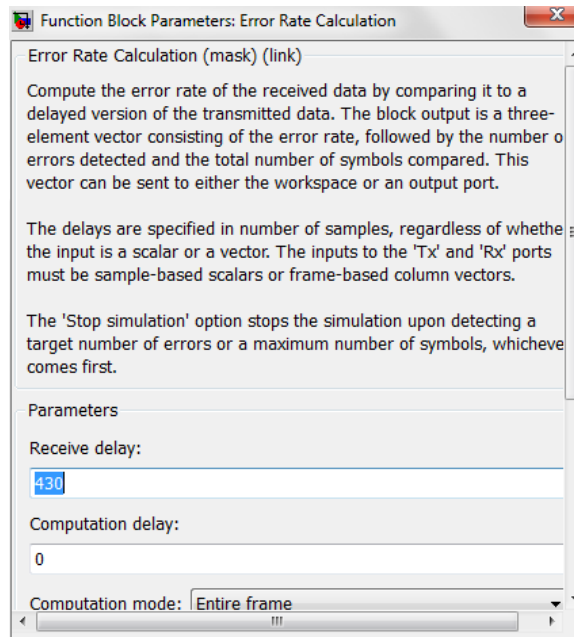


Figura A.11. Cálculo de Tasa de Errores

A.2.1 Señal al Espacio de Trabajo (Signal to Workspace)

Este bloque es el encargado de enviar los datos correspondientes a BER hacia un espacio de trabajo exterior, para que sean tomadas por BERTool³, obtenidos como resultado de la simulación al modificar la variable E_b/N_0 descrita en el canal AWGN.

³ BERTool es una herramienta de interfaz grafica para el análisis del desempeño a nivel de BER y E_b/N_0 en MATLAB.