



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA  
PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Simulación de la capa física del sistema de comunicaciones  
Bluetooth**

AUTOR:

Anzules Mora, Cristhian Andres

Componente práctico del examen complejo previo a la  
obtención del título de **INGENIERO EN  
TELECOMUNICACIONES**

REVISOR:

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

16 de Marzo del 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente **componente práctico del examen complejo**, fue realizado en su totalidad por **Anzules Mora, Cristhian Andrés** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

REVISOR

---

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DE CARRERA

---

Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 16 del mes de Marzo del año 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Anzules Mora, Cristhian Andres**

**DECLARÓ QUE:**

El **componente práctico del examen complejo, “Simulación de la capa física del sistema de comunicaciones Bluetooth”** previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 16 del mes de Marzo del año 2017

EL AUTOR

---

ANZULES MORA, CRISTHIAN ANDRES



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

### **AUTORIZACIÓN**

Yo, **Anzules Mora, Cristhian Andres**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del **componente práctico del examen complejo, “Simulación de la capa física del sistema de comunicaciones Bluetooth”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 16 del mes de Marzo del año 2017

EL AUTOR

---

ANZULES MORA, CRISTHIAN ANDRES

# REPORTE DE URKUND

**URKUND**

**Documento:** [Anzulez\\_Cristhian\\_Complexivo\\_1.docx](#) (D265793355)

**Presentado:** 2017-03-20 07:42 (-05:00)

**Presentado por:** fernandopm23@hotmail.com

**Recibido:** edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com

**Mensaje:** Revisión Componente Práctico Cristhian Anzulez [Mostrar el mensaje completo](#)

1% de esta aprox. 12 páginas de documentos largos se componen de texto presente en 2 fuentes.

**Lista de fuentes Bloques**

Lista de fuentes	Bloques
<input type="checkbox"/>	<b>Categoría</b>
<input type="checkbox"/>	<b>Enlace/nombre de archivo</b>
<input type="checkbox"/>	<a href="#">TT-EDWIN-PINARGOTE-FINAL-2016.docx</a>
<input checked="" type="checkbox"/>	<a href="http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/p...">http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/p...</a>
<input checked="" type="checkbox"/>	<a href="#">Proyecto 13_Karen Cedeño Parra.doc</a>
<input type="checkbox"/>	<b>Fuentes alternativas</b>
<input type="checkbox"/>	<a href="#">TT-EDWIN-PINARGOTE-NNN-1-2016_1.docx</a>

Reiniciar Exportar Compartir

1 Advertencias

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA  
DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TITULO: Simulación de la capa física del sistema de comunicaciones Bluetooth.

AUTOR: Anzules Mora, Cristhian Andres

Componente práctico del examen complejo previo a la obtención del grado de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

REVISOR: Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, a las 13 del mes de Marzo del año 2017

## **DEDICATORIA**

Con todo mi corazón dedico todo este trabajo de titulación a mi familia y en especial a mis amados padres y hermanas, que me han sabido brindar su ayuda en todas las situaciones posibles que me eh encontrado, dando su total eh incondicional apoyo y aun así me supieron brindar esa ayuda incondicional en todo los momentos donde más lo necesite siempre, mi mayor gratitud hacia ellos.

**EL AUTOR**

**ANZULES MORA, CRISTHIAN ANDRES**

## **AGRADECIMIENTO**

En primera instancia, deseo agradecer a Dios todo Poderoso Creador del Universo por brindarme la oportunidad de vida y haber alcanzado un nuevo logro un gran paso para mi futuro. Siendo el pilar fundamental en mi existencia y por permitirme compartir este momento de suma importancia para mí y mi familia.

A la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, a la Facultad Técnica para el Desarrollo y al gran grupo de maestros que en esta facultad me han enseñado tanto y que en este transcurso de mi faceta de estudiante me han dado tanto y estos años en la cual formaron mi carrera compartiendo conocimientos y experiencias que de seguro será de vital importancia en el ámbito profesional.

Y a mis compañeros y amigos que fueron participe en todo el trayecto académico, que compartimos tantas experiencia, anécdota, y el completo apoyo, ya que no ha sido fácil llegar hasta aquí, tuvimos que dar nuestro máximo esfuerzo incluso apartándonos de nuestras actividades familiares y personales.

EL AUTOR

ANZULES MORA, CRISTHIAN ANDRES



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_  
**LUIS SILVIO CORDOVA RIVADENEIRA**  
REVISOR

f. \_\_\_\_\_  
**MANUEL DE JESUS ROMERO PAZ**  
DECANO

f. \_\_\_\_\_  
**EDWIN FERNANDO PALACIOS MELÉNDEZ**  
COORDINADODE TITULACIÓN



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
Resumen .....	XIII
CAPÍTULO 1: Descripción General.....	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Antecedentes. ....	3
1.3. Definición del problema. ....	3
1.4. Objetivos del componente práctico.....	3
1.4.1. Objetivo general:.....	4
1.4.2. Objetivos específicos: .....	4
1.5. Hipótesis. ....	4
CAPÍTULO 2: Fundamentos teóricos del estándar Bluetooth .....	5
2.1. Historia del Bluetooth. ....	5
2.2. Arquitectura general de una red Bluetooth. ....	7
2.3. Pila de protocolos Bluetooth.....	8
2.4. La capa de radio de Bluetooth.....	11
2.5. Espectro ensanchado por saltos de frecuencia. ....	12
2.6. Modulación FSK.....	15
CAPÍTULO 3: Simulación de la capa física del estándar Bluetooth.....	17
3.1. Esquema general .....	17
3.2. Transmisor .....	18
3.3. Resultados de la simulación.....	28

CAPÍTULO 4: Conclusiones y Recomendaciones .....	32
4.1. Conclusiones.....	32
4.2. Recomendaciones.....	33
Bibliografía.....	34

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 2:

Figura 2. 1: Dos piconets se pueden conectar para formar una scatternet.....	7
Figura 2. 2: Pila de protocolos Bluetooth.....	8
Figura 2. 3: Ejemplo de un patrón de saltos de frecuencia .....	13
Figura 2. 4: Diagrama en bloques de un sistema con espectro ensanchado por saltos de frecuencia .....	14
Figura 2. 5: Formas de onda en la modulación FSK.....	15

### Capítulo 3:

Figura 3. 1: Esquemático general para la simulación con modulación BPSK. ....	17
Figura 3. 2: Diagrama de bloques que componen el sistema transmisor .....	18
Figura 3. 3: Configuración de los parámetros del bloque generador binario de Bernoulli .....	19
Figura 3. 4: Codificador FEC .....	20
Figura 3. 5: Codificador cíclico binario.....	20
Figura 3. 6: Subsistema del modulador para los saltos de frecuencia sobre la modulación GFSK .....	22
Figura 3. 7: Ventana de configuración del modulador GFSK.....	23
Figura 3. 8: Configuración de modulador FSK para generar la onda portadora a la frecuencia de salto seleccionada. ....	24
Figura 3. 9: Sistema para la generación aleatoria de 79 frecuencias diferentes para ser usadas en los saltos. ....	25
Figura 3. 10: Configuración de la generación de la secuencia de índices de salto. ....	25
Figura 3. 11: Configuración del canal AWGN.....	26
Figura 3. 12: Bloques que componen el Receptor.....	27
Figura 3. 13: Subsistema del demodulador .....	27
Figura 3. 14: Configuración del Decodificador cíclico binario. ....	28
Figura 3. 14: Espectro de la señal enviada.....	28

Figura 3. 16: Espectro de la señal recibida.....	29
Figura 3. 17: Cálculo de la tasa de bits erróneos en el Simulink. ....	30
Figura 3. 18: Tasa de bits erróneos para varios valores de relación señal a ruido.....	31

## Resumen

El presente componente práctico del examen complejo consiste en modelar la capa física de Bluetooth. La tecnología inalámbrica Bluetooth consiste en un sistema de comunicaciones de corto alcance creado para reemplazar las conexiones por cables entre dispositivos electrónicos sean portables o fijos. Sus características principales son la robustez, bajo consumo de potencia y bajo costo. Sus múltiples aplicaciones, que incluso llegan a las ramas de la biomedicina, domótica y otras, hacen del estudio de sus fundamentos teóricos una tarea de relevancia. En el presente trabajo se aborda el surgimiento del estándar, la arquitectura de una red Bluetooth y su modo de operación. Se analiza de manera general la pila de protocolos para luego profundizar en los aspectos teóricos de la capa física, sus principales características y parámetros usados. Además, se implementa en el Matlab/Simulink un sistema de comunicaciones Bluetooth basado en saltos de frecuencia y se analizan los resultados obtenidos.

Palabras claves: CAPA FÍSICA, COMUNICACIONES INALÁMBRICAS, ESTÁNDAR, REDES DE ÁREA PERSONAL, BLUETOOTH, PROTOCOLOS.

## CAPÍTULO 1: Descripción General

### 1.1. Introducción.

Las comunicaciones inalámbricas experimentaron un crecimiento muy importante dentro de las últimas dos décadas. Su principal característica es que los extremos de la comunicación no se encuentran unidos por un medio de propagación físico, sino que se utiliza la modulación de ondas electromagnéticas a través del espacio. La ventaja es que el usuario puede moverse libremente con el terminal por toda el área de cobertura, lo que no ocurre con las redes de comunicaciones fijas.

Estándares como el IEEE 802.11 para las redes inalámbricas de área local, el IEEE 802.16 para las redes inalámbricas de área metropolitana, el sistema GSM ampliamente difundido en todo el mundo para la telefonía celular y las comunicaciones satelitales son ejemplos de algunas de estas tecnologías. Ellas permiten una altísima transferencia de datos dentro de las soluciones de sistemas o redes inalámbricas. Conjuntamente con el desarrollo de varias de estas tecnologías de comunicaciones inalámbricas surgieron también las redes de área personal (PAN, del inglés *Personal Area Network*). El concepto de este nuevo paradigma surgió en el año 1995 en el *Massachusetts Institute of Technology* (MIT).

Las redes de área personal inalámbrica (WPAN, del inglés *Wireless Personal Area Networks*) son utilizadas para interconectar dispositivos

ubicados en el espacio de trabajo individual de una persona, por ejemplo, computadoras y sus periféricos, teléfonos celulares, impresoras, etc. Estas redes normalmente tienen un alcance máximo de 10 metros. Existen dos tipos de tecnologías usadas para WPAN: la Asociación de Datos Infrarrojos (IrDA, del inglés *Infrared Data Association*) y el Bluetooth, siendo este último ampliamente usado.

### **1.2. Antecedentes.**

El Bluetooth posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda libre ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) de los 2.4 GHz. Entre sus múltiples aplicaciones están la conexión entre celulares y equipos manos libres, transferencia de archivos, comunicación inalámbrica entre la computadora y dispositivos de entrada y salida, entre otros.

### **1.3. Definición del problema.**

Por la importancia que tiene el estudio teórico de este estándar, así como la simulación de su funcionamiento, el problema de investigación de este proyecto es: La no existencia de un material pedagógico referente al estándar Bluetooth para su posterior impartición en las asignaturas relacionadas con la transmisión digital de información.

### **1.4. Objetivos del componente práctico.**

Por la importancia que tiene el estudio teórico del estándar, así como la simulación de su funcionamiento, los objetivos del presente trabajo son:

#### **1.4.1. Objetivo general:**

Realizar la simulación de la capa física del estándar Bluetooth y análisis de su desempeño.

#### **1.4.2. Objetivos específicos:**

- Estudiar los fundamentos teóricos del estándar Bluetooth.
- Implementar en Matlab/Simulink de la capa física de Bluetooth.
- Análisis del desempeño de la tasa de bits erróneos ante varios valores de relación señal a ruido.

#### **1.5. Hipótesis.**

Una recopilación de información actualizada y la simulación en Matlab del estándar Bluetooth permitirá la obtención de mayores conocimientos relacionados al tema por parte de los alumnos.



## **CAPÍTULO 2: Fundamentos teóricos del estándar Bluetooth**

En este Capítulo se aborda el estándar Bluetooth comenzando por la historia de su surgimiento. Se analizan además sus fundamentos teóricos, sus características, detalles técnicos y su funcionamiento con el objetivo de dar una visión amplia de la referida tecnología. Se enfatiza en el uso de la tecnología de radio de espectro ensanchado por saltos de frecuencia.

### **2.1. Historia del Bluetooth.**

En 1994, la empresa L. M. Ericsson se interesó en conectar sus teléfonos móviles con otros dispositivos (por ejemplo, computadoras portátiles) sin necesidad de cables. En conjunto con otras cuatro empresas (IBM, Intel, Nokia y Toshiba) formó en 1998 un Grupo de Interés Especial (SIG, del inglés *Special Interest Group*), es decir, un consorcio, con el propósito de desarrollar un estándar inalámbrico para interconectar computadoras, dispositivos de comunicaciones y accesorios a través de radios inalámbricos de bajo consumo de energía, corto alcance y económicos. Al proyecto se le asignó el nombre Bluetooth en honor del rey vikingo Harald Blaatand (en inglés Bluetooth), que unificó los pueblos de Dinamarca y Noruega.

El estándar Bluetooth 1.0 se liberó en julio de 1999, y desde entonces el SIG no ha vuelto su vista hacia atrás. Actualmente, todas las formas de dispositivos electrónicos para consumidores utilizan Bluetooth, desde los

teléfonos móviles y las computadoras portátiles hasta los audífonos, impresoras, teclados, *mouses*, consolas de videojuegos, relojes, reproductores de música, unidades de navegación, etc.

Los protocolos de Bluetooth permiten a estos dispositivos encontrarse y conectarse entre sí, a lo cual se le conoce como emparejamiento (*pairing*), además de que pueden transferir datos en forma segura. Los protocolos también evolucionaron durante la última década. Después de que se estabilizaron los protocolos iniciales, se agregaron tasas de datos más altas a Bluetooth 2.0 en 2004.

Con la liberación de la versión 3.0 en 2009, Bluetooth se puede usar para emparejar dispositivos junto con 802.11 para transferencia de datos a velocidades altas. La liberación de la versión 4.0 en diciembre de 2009 especificaba una operación de bajo consumo de energía, lo cual es muy útil para las personas que no desean cambiar las baterías con frecuencia en todos los dispositivos dispuestos alrededor del hogar (Tanenbaum, 2003).

Para inicios del año 2017 se prevé el lanzamiento de la versión 5.0, que debe cuadruplicar el alcance de la cobertura, lograr el doble de velocidad y mejorar la capacidad de transferencia respecto a la versión actual 4.2 (“Bluetooth Specification website”, 2016).

## 2.2. Arquitectura general de una red Bluetooth.

La unidad básica de un sistema Bluetooth es una *piconet*, la cual consta de un nodo maestro y hasta siete nodos esclavos activos a una distancia máxima de 10 metros. Puede haber varias *piconets* en una misma habitación, e incluso se pueden conectar mediante un nodo puente que participa en varias *piconets*, como se muestra en la figura 2.1. A una colección interconectada de *piconets* se le conoce como *scatternet*.

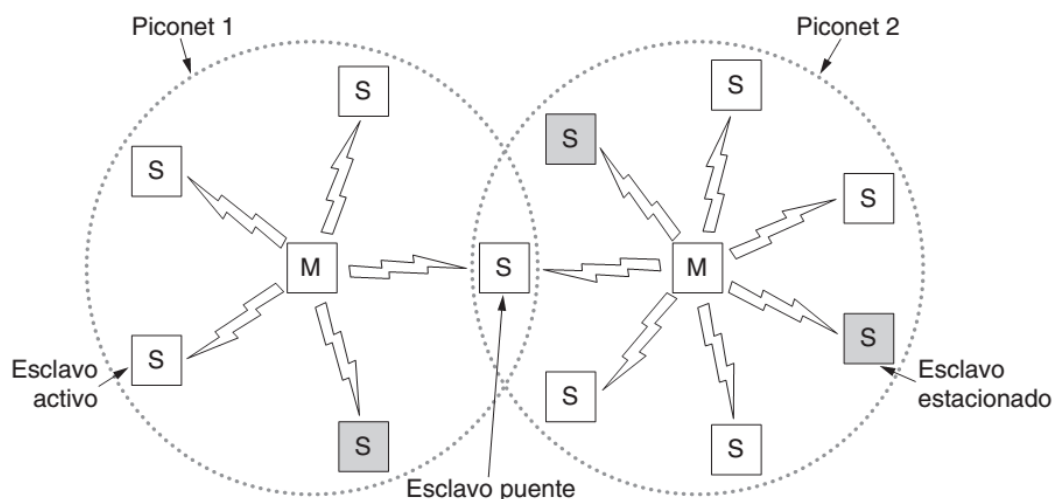


Figura 2. 1: Dos *piconets* se pueden conectar para formar una *scatternet*.  
Fuente: (Tanenbaum, 2003)

Además de los siete nodos esclavos activos en una *piconet*, puede haber hasta 255 nodos estacionados en la red. Éstos son dispositivos que el nodo maestro ha cambiado a un estado de bajo consumo de energía para reducir el desgaste innecesario de sus pilas. En el estado estacionado, un dispositivo no puede hacer nada excepto responder a una señal de activación o una señal baliza por parte del dispositivo maestro.

La razón del diseño maestro/esclavo es que los diseñadores pretendían facilitar la implementación de chips Bluetooth completos a un bajo costo. La consecuencia de esta decisión es que los esclavos son sumamente pasivos y básicamente realizan todo lo que los maestros les indican.

En esencia, una *piconet* es un sistema con multiplexación por división en tiempo (TDM, del inglés *Time Division Multiplexing*) centralizado, en el cual el maestro controla el reloj y determina qué dispositivo se comunica en una ranura de tiempo específica. Toda la comunicación es entre el maestro y el esclavo; no es posible una comunicación directa de esclavo a esclavo.

### 2.3. Pila de protocolos Bluetooth

El estándar Bluetooth cuenta con muchos protocolos agrupados libremente en las capas que se muestran en la figura 2.2.

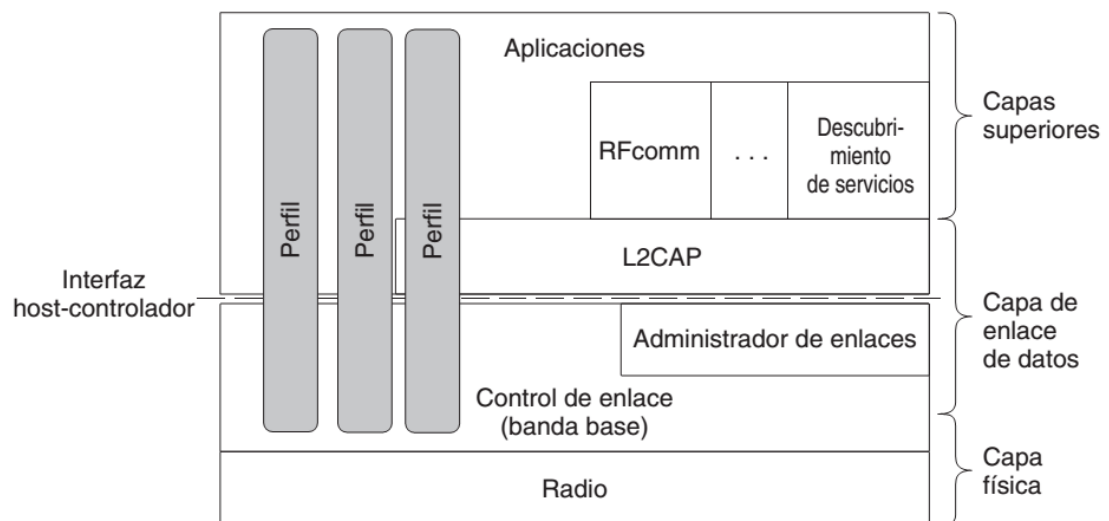


Figura 2. 2: Pila de protocolos Bluetooth  
Fuente: (Tanenbaum, 2003)

Es importante destacar que la estructura de capas no sigue el modelo OSI, el modelo TCP/IP, el modelo 802 o algún otro modelo. La capa inferior es la capa de radio física, la cual es bastante similar a la capa física de los modelos OSI y 802. Ella se encarga de la transmisión y la modulación de radio. Muchos de los aspectos de diseño están relacionados con el objetivo de lograr que el sistema sea económico, de modo que se pueda convertir en un artículo para el mercado masivo.

La capa de control de enlace (o banda base) tiene algunos puntos en común con la subcapa de control de acceso al medio (MAC, del inglés *Medium Access Control*), pero también incluye elementos de la capa física. Se encarga de la forma en que el maestro controla las ranuras de tiempo y cómo se agrupan éstas en tramas.

A continuación, se encuentran dos protocolos que usan el protocolo de control de enlace. El administrador de enlaces se encarga de establecer canales lógicos entre dispositivos, incluyendo administración de energía, emparejamiento y cifrado, así como calidad de servicio. Yace debajo de la línea de la interfaz entre host y controlador. Esta interfaz es una conveniencia para la implementación: por lo general, los protocolos debajo de la línea se implementan en un chip Bluetooth y los protocolos arriba de la línea se implementarán en el dispositivo Bluetooth en el que se aloje el chip.

El protocolo de enlace por encima de la línea es L2CAP (Protocolo de Adaptación y Control de Enlaces Lógicos, del inglés *Logical Link Control Adaptation Protocol*). Este protocolo entrama los mensajes de longitud variable y provee confiabilidad en caso de ser necesario. Muchos protocolos utilizan L2CAP, como los dos protocolos utilitarios que se muestran. El protocolo de descubrimiento de servicios se utiliza para localizar servicios dentro de la red. El protocolo RFcomm (Comunicación de Radiofrecuencia, del inglés *Radio Frequency communication*) emula el puerto serial estándar que se encuentra en las computadoras para conectar el teclado, *mouse* y módem, entre otros dispositivos.

En la capa superior es donde se ubican las aplicaciones. El estándar Bluetooth define varios perfiles de aplicación, cada uno permite definir qué tipos de servicio ofrece un dispositivo. Algunos de los principales perfiles son: Perfil de distribución de audio avanzado (A2DP), Perfil de control remoto de audio y vídeo (AVRCP), Perfil básico de imagen (BIP), Perfil básico de impresión (BPP), Perfil de telefonía inalámbrica (CTP), Perfil de transferencia de archivos (FTP), Perfil de puerto serie (SPP) entre otros.

En la figura 2.2 los perfiles están representados mediante cuadros verticales debido a que cada uno define una porción de la pila de protocolos para un propósito específico. En la siguiente subsección abordaremos en detalles la capa de radio de Bluetooth de forma que sus fundamentos teóricos sirvan como base para la posterior simulación en el Matlab/Simulink.

## 2.4. La capa de radio de Bluetooth.

La capa de radio, o también podemos llamarla como la capa física, traslada los bits del maestro al esclavo, y viceversa. Es un sistema de baja potencia con un alcance de 10 metros que opera en la misma banda ISM de 2.4 GHz que el estándar 802.11. La banda se divide en 79 canales de 1 MHz cada uno. Para coexistir con otras redes que usan la banda ISM, se utiliza el espectro ensanchado por saltos de frecuencias. Puede haber hasta 1600 saltos/segundo sobre las ranuras con un tiempo de permanencia de 625 microsegundos. Todos los nodos en una *piconet* saltan frecuencias al mismo tiempo, siguiendo la sincronización de ranuras y la secuencia de salto pseudoaleatoria que dicta el maestro.

En las primeras versiones de Bluetooth existían interferencias entre sus transmisiones y las del estándar 802.11 (Wifi). La solución adoptada fue que el Bluetooth debe adaptar su secuencia de saltos para excluir los canales en los que haya otras señales de radiofrecuencia. Este proceso reduce la interferencia dañina y se le conoce como salto de frecuencia adaptativo.

Se utilizan tres formas de modulación para enviar bits en un canal. El esquema básico es usar la modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK, del inglés *Frequency Shift Modulation*) para enviar un símbolo de 1 bit cada microsegundo, con lo cual se obtienen tasas de datos brutas de 2 ó 3 Mbps. Las tasas mejoradas se introdujeron con la versión 2 de Bluetooth. Estas tasas utilizan modulación por desplazamiento de fase (PSK, del inglés

*Phase Shift Modulation*) para enviar dos o tres bits por símbolo, para tasas de datos brutas de 2 ó 3 Mbps. Las tasas mejoradas son usadas sólo en la porción de datos de las tramas.

## **2.5. Espectro ensanchado por saltos de frecuencia.**

En un sistema de comunicaciones con espectro ensanchado por saltos de frecuencia el ancho de banda del canal se subdivide en múltiples ranuras de frecuencias contiguas. En un determinado intervalo de señalización la señal transmitida ocupa una o más ranuras de frecuencias disponibles, dicho intervalo es inferior a 400 ms. Pasado este tiempo se cambia la frecuencia de emisión y se sigue transmitiendo a otra frecuencia. De esta forma, cada tramo de información se va transmitiendo en una frecuencia distinta durante un intervalo muy corto de tiempo.

La selección de la ranura de frecuencia en cada intervalo de señalización se realiza de forma pseudoaleatoria de acuerdo a la salida de un generador de secuencias PN. En la figura 2.3 se muestra un patrón particular de saltos de frecuencias en el plano tiempo – frecuencia. Los tonos portadores de información son contiguos y separados en frecuencia por  $1/T_c$ , donde  $T_c$  es el intervalo de señalización (Proakis & Salehi, 2008). Podemos observar que la frecuencia portadora salta pseudoaleatoriamente en cada intervalo de señalización. Este tipo de salto de frecuencias es llamado salto en bloques.



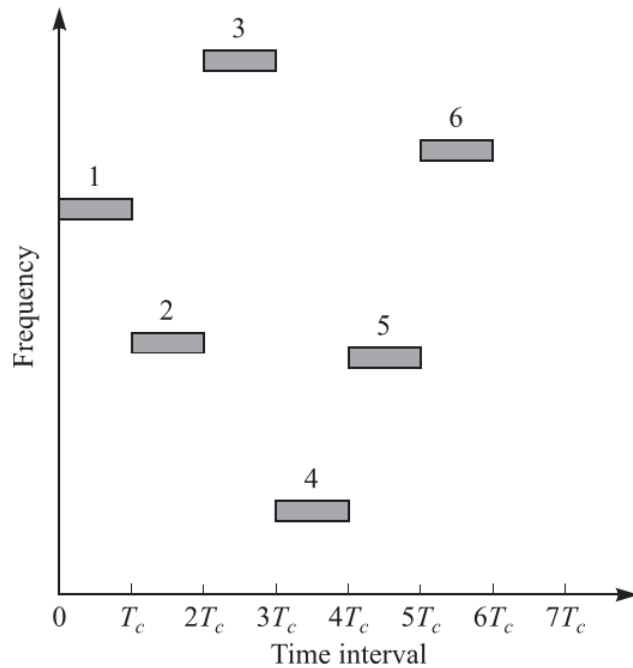


Figura 2. 3: Ejemplo de un patrón de saltos de frecuencia  
Fuente: **(Proakis & Salehi, 2008)**

En la figura 2.4 se muestra un diagrama en bloques del transmisor y receptor en un sistema con espectro ensanchado por saltos de frecuencia. Generalmente la modulación es o FSK binaria o M-FSK. Si se emplea la FSK binaria, el modulador selecciona una de dos frecuencias correspondientes a la transmisión de 1 o de 0. La señal FSK resultante se traslada en frecuencia según una cantidad determinada por la secuencia de salida del generador PN, el cual a la vez es usado para seleccionar una frecuencia que es sintetizada por el sintetizador de frecuencias. Esta frecuencia se mezcla con la salida del modulador y la señal trasladada en frecuencia resultante se transmite a través del canal. Pueden utilizarse  $m$  bits del generador PN para especificar  $2^m - 1$  posibles translaciones de frecuencia (Proakis & Salehi, 2008).

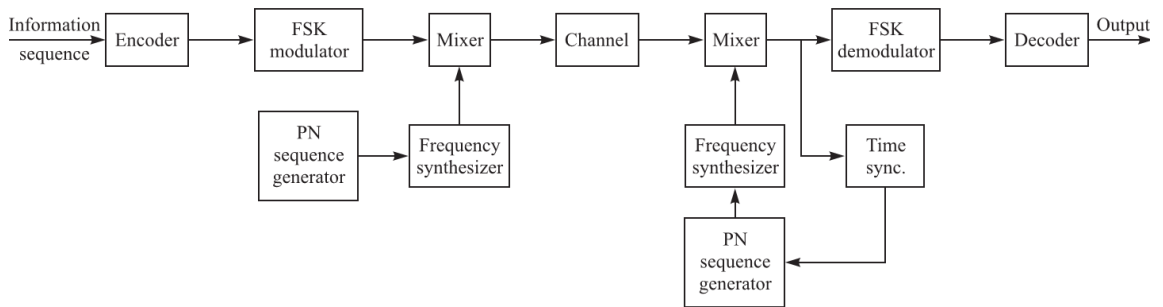


Figura 2. 4: Diagrama en bloques de un sistema con espectro ensanchado por saltos de frecuencia  
Fuente: (Proakis & Salehi, 2008)

En el receptor hay un generador PN idéntico, sincronizado con la señal, que se utiliza para controlar la salida del sintetizador de frecuencia. Por tanto, la translación de frecuencia pseudoaleatoria introducida en el transmisor se elimina en el receptor mezclando la salida del sintetizador con la señal recibida. La señal resultante se demodula por medio de un demodulador FSK. La señal para mantener el sincronismo del generador PN con la señal recibida trasladada en frecuencia se extrae usualmente de la señal recibida.

Aunque la modulación PSK posee mayor desempeño que FSK en un canal con ruido blanco gaussiano aditivo (AWGN, del inglés *Additive White Gaussian Noise*), a veces es difícil mantener la coherencia de fase en la síntesis de las frecuencias usadas en el patrón de saltos y también en la propagación de la señal a través del canal a medida que esta va saltando de una frecuencia a otra en el ancho de banda disponible. Consecuentemente, la modulación FSK con detección no coherente se emplea frecuentemente

con señales de espectro ensanchado por saltos de frecuencia (Proakis & Salehi, 2008).

## 2.6. Modulación FSK.

La modulación por desplazamiento de frecuencia es un tipo de modulación digital cuya señal moduladora es un tren de pulsos binarios que varía entre dos valores de tensión discretos. Como puede observarse en la figura 2.5, la señal moduladora hace variar la frecuencia de la portadora, de modo que en la señal modulada la información se codifica asociando el bit 0 y el bit 1 a valores de frecuencia diferentes  $f_0$  y  $f_1$ , respectivamente. O sea, se atribuyen frecuencias diferentes en la señal modulada en función del bit que se transmite (Proakis, 2001).

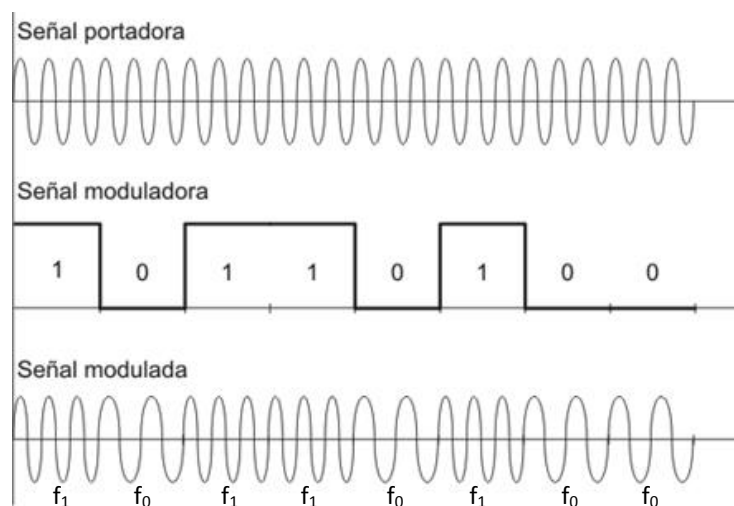


Figura 2. 5: Formas de onda en la modulación FSK.

Fuente: (Couch, 2008)

La señal modulada en FSK cuando la moduladora es binaria, puede describirse mediante la siguiente expresión:

$$v(t) = A \text{sen}(2\pi(f \pm \Delta f)t) \quad (1)$$

en que la amplitud  $A$  de la onda sinusoidal es constante. El signo  $\pm$  depende del bit a transmitir:  $f_1 = f + \Delta f$  para un '1' y  $f_0 = f - \Delta f$  para un '0'.

La variación de frecuencia  $\Delta f$  alrededor de la frecuencia central  $f$  de la portadora, se denomina genéricamente “desviación de frecuencia” y es un valor constante del que depende el ancho de banda de la señal modulada.

### CAPÍTULO 3: Simulación de la capa física del estándar Bluetooth

En este capítulo se desarrolla, en Matlab/Simulink, la simulación de un sistema de comunicaciones Bluetooth basado en espectro ensanchado por saltos de frecuencia y modulación GFSK. Serán explicadas las características y funcionamiento de los bloques que lo componen. Finalmente serán expuestos los resultados obtenidos en la simulación.

#### 3.1. Esquema general

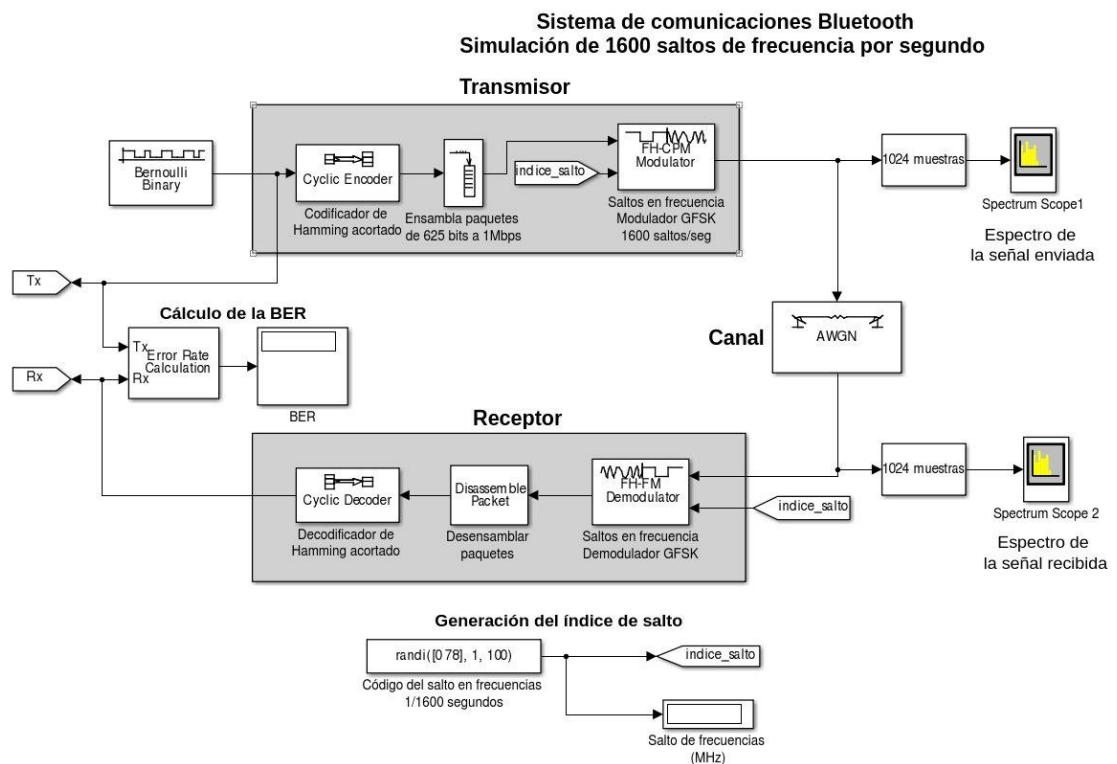


Figura 3. 1: Esquemático general para la simulación con modulación BPSK.  
Elaborado por: Autor

En la figura 3.1 se muestra el esquema general simulado. Además del sistema de comunicaciones Bluetooth basado en espectro ensanchado por

saltos de frecuencia que consta de transmisor, canal y receptor, están los instrumentos virtuales de medición que facilitan el estudio del comportamiento del sistema. En la parte inferior izquierda se encuentra la estructura que genera el código pseudoaleatorio para los saltos de frecuencia, el cual forma parte tanto del transmisor como del receptor.

### 3.2. Transmisor

En la figura 3.2 se muestran los bloques que componen el transmisor del sistema de comunicaciones, los cuales analizaremos a continuación. La fuente de información es representada usando un generador binario de Bernoulli el cual produce números binarios aleatorios siguiendo una distribución de Bernoulli.

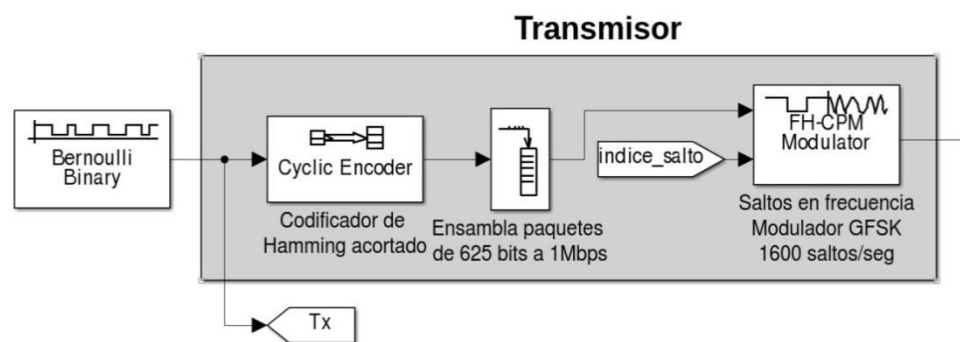


Figura 3. 2: Diagrama de bloques que componen el sistema transmisor  
Elaborado por: Autor

La distribución de Bernoulli produce ceros con probabilidad  $p$  y unos con probabilidad  $(1 - p)$ . Este parámetro  $p$  puede ser un número real entre 0 y 1 y se especifica en el cuadro de diálogo correspondiente en el Simulink según podemos observar en la figura 3.3.

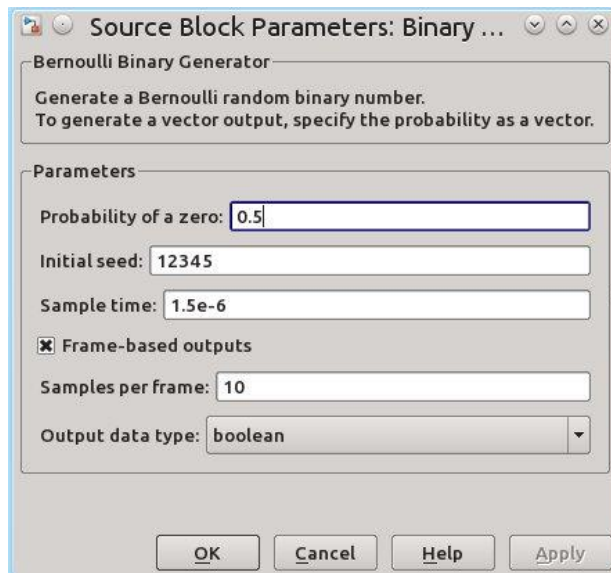


Figura 3. 3: Configuración de los parámetros del bloque generador binario de Bernoulli  
Elaborado por: Autor

La semilla inicial (*Initial seed*) es un valor arbitrario usado para la generación números aleatorios. La salida es una trama que contiene 10 bits. El tipo de dato de salida es *boolean* pues estamos simulando la transmisión de secuencias de bits al más bajo nivel, o sea, la capa física. El próximo bloque es un codificador que crea un código cíclico binario donde los desplazamientos circulares de cada palabra de código da lugar a otra palabra que pertenece al código. Este es un tipo de código de bloque que, gracias a sus propiedades algebraicas, pueden detectar y corregir errores de forma eficaz.

El codificador con corrección de error hacia adelante (FEC, del inglés *Forward Error Correction*) suma  $(n - k)$  bits al bloque de datos entrante de  $k$  bits. Como se observa en la figura 3.5, los  $k$  bits en la señal original se

transmiten en la palabra código (*codeword*) de  $n$  bits. Dentro de un bloque de código  $(n, k)$  hay  $2^k$  códigos válidos de los  $2^n$  códigos posibles. El radio de redundancia (es decir, redundancia) es  $\frac{(n-k)}{k}$ . La tasa del código es  $\frac{k}{n}$  y mide la cantidad adicional de ancho de banda que se necesita.

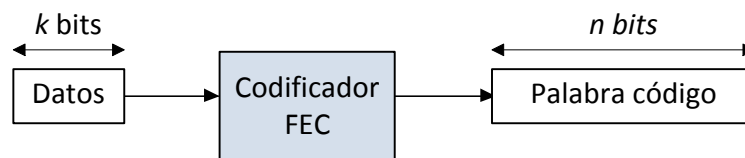


Figura 3. 4: Codificador FEC  
Elaborado por: Autor

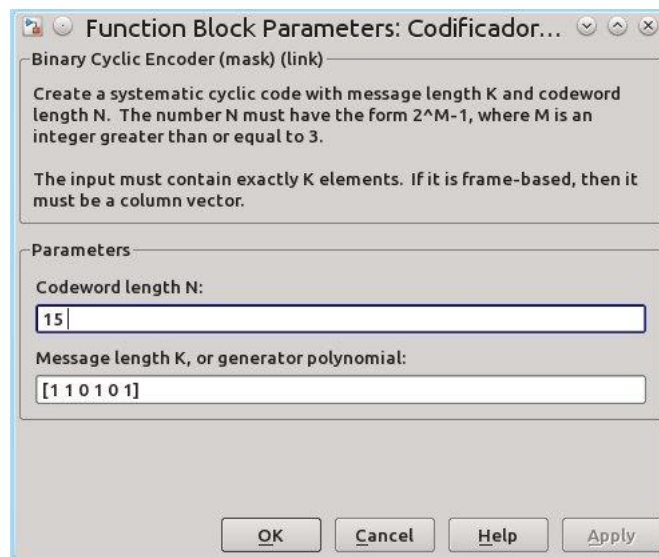


Figura 3. 5: Codificador cíclico binario  
Elaborado por: Autor

En este caso, generaremos un código  $(15,10)$ , es decir  $n = 15$  bits,  $k = 10$  bits,  $n - k = 5$  bits, la tasa de codificación obtenida es  $10/15 = 2/3$ . Esto puede ser representado en forma polinomial, usando una variable  $X$ , con los coeficientes binarios. Los coeficientes se corresponden con los bits en el número binario, o sea que para los valores anteriores, el polinomio



generador será  $P(X) = X^5 + X^4 + X^2 + 1$ , representado como 110101. Esta configuración puede observarse en la figura 3.5.

Un sistema de saltos en frecuencia es básicamente un modulador FSK que emplea un conjunto mayor de frecuencias. En el sistema Bluetooth los saltos de frecuencia se utilizan conjuntamente con la modulación por desplazamiento de frecuencia gaussiana (GFSK, del inglés *Gaussian Frequency Shift Keying*). En este tipo de modulación un 1w lógico es representado mediante una desviación positiva (incremento) de la frecuencia de la onda portadora, y un 0 mediante una desviación negativa (decremento) de la misma.

En la modulación de frecuencia FSK se puede realizar un filtrado previo de características particulares para obtener la eficiencia espectral más conveniente, por ejemplo, usando un filtro gaussiano que va a suavizar las transiciones en frecuencia. Esto se denomina modulación de fase continua (CP-FSK, del inglés *Continuous Phase Frequency Shift Keying*) y se produce filtrando la señal digital antes de alcanzar al modulador FSK.

Cuando el filtro cumple ciertas condiciones se tiene la modulación por desplazamiento mínimo (MSK, del inglés *Minimum Shift Keying*) que es una FSK de fase continua (Couch, 2008). MSK corresponde a una desviación máxima igual a la mitad de la tasa de bits (índice de modulación  $K$  de 0,3 en este caso). En MSK la palabra “Mínimo” significa que es el menor valor

(mínima separación de frecuencia) que es factible de ser demodulada coherentemente ortogonal. Cuando el tipo de filtro es Gaussiano la modulación se denomina GMSK.

Por lo explicado anteriormente, en el modelo simulado la modulación GFSK se implementó utilizando un modulador de fase continua (CPM) con el tipo de filtro gaussiano. Su salida se multiplica con una señal modulada en M-FSK, donde  $M$  son las diferentes frecuencias en las que se van a producir los saltos. La disposición de los bloques moduladores puede observarse en la figura 3.6.

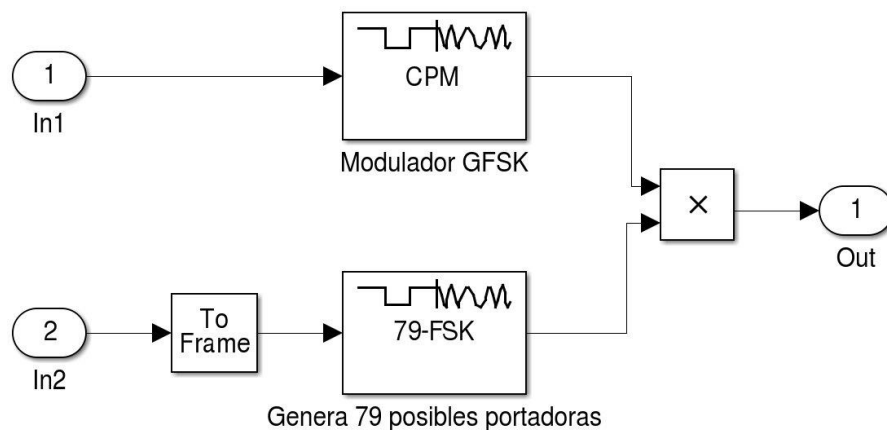


Figura 3. 6: Subsistema del modulador para los saltos de frecuencia sobre la modulación GFSK

Elaborado por: Autor

La entrada “In1” son los bits de datos, o sea la señal moduladora, a la cual se le aplica un filtro gaussiano e índice de modulación  $K = 0,3$  para lograr GFSK, como puede observarse en la ventana de configuración mostrada en la figura 3.7.

El flujo de datos modulado en GFSK se modula con un producto BT de 0.5 y un índice de modulación de 0.3 para hacer un uso eficiente del ancho de banda mientras se mantiene una probabilidad de error aceptable. El producto BT es el producto de la separación en frecuencia de la señal adyacente (0.5 MHz) y la duración del símbolo (1  $\mu$ s). Un producto BT de 0.5 corresponde a la mínima separación entre portadoras para asegurar la ortogonalidad entre señales en canales adyacentes (Bray & Sturman, 2001).

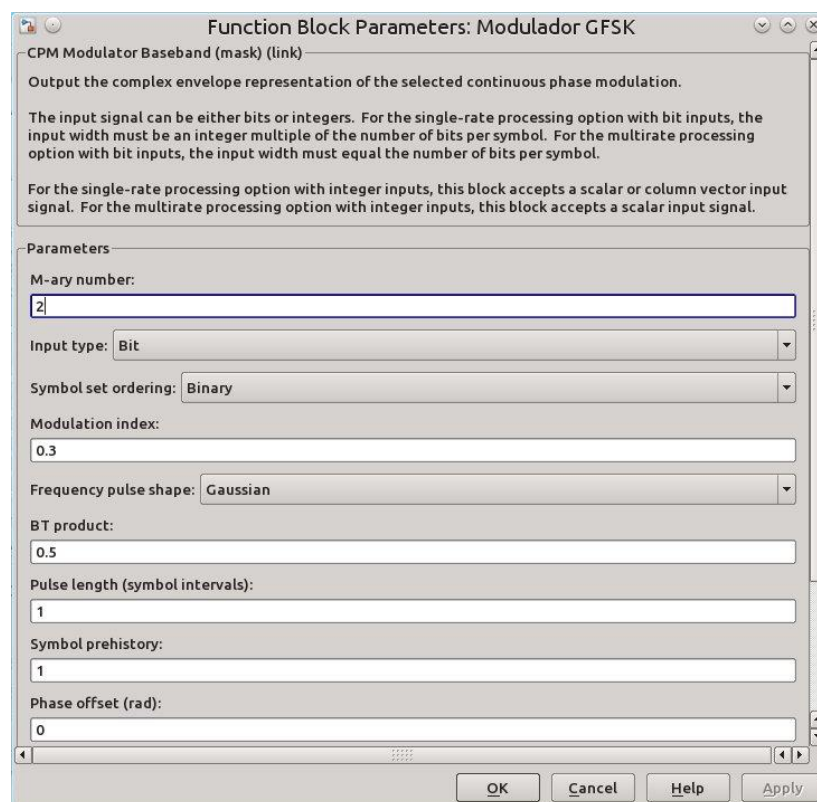


Figura 3. 7: Ventana de configuración del modulador GFSK  
Elaborado por: Autor

La entrada “In2” del subsistema mostrado en la figura 3.6 es proveniente de un generador aleatorio que establece las frecuencias en las que se producirán los saltos. En este sistema, los saltos de frecuencia se producen en un rango de 79 MHz con una separación de 1 MHz, para evitar

interferencias con otros dispositivos que transmiten en la banda ISM de 2.4 GHz. El modulador FSK, a partir de la frecuencia seleccionada, va a generar una onda portadora que multiplicada con la salida del modulador GFSK, desplazará en frecuencia la señal modulada que será transmitida por el canal.

En la figura 3.8 se presenta la configuración del modulador FSK. Estas muestras se encapsulan en tramas de 62500 muestras, resultando en una duración de ranura de 625 microsegundos. En cada ranura se realiza un nuevo salto de frecuencia.

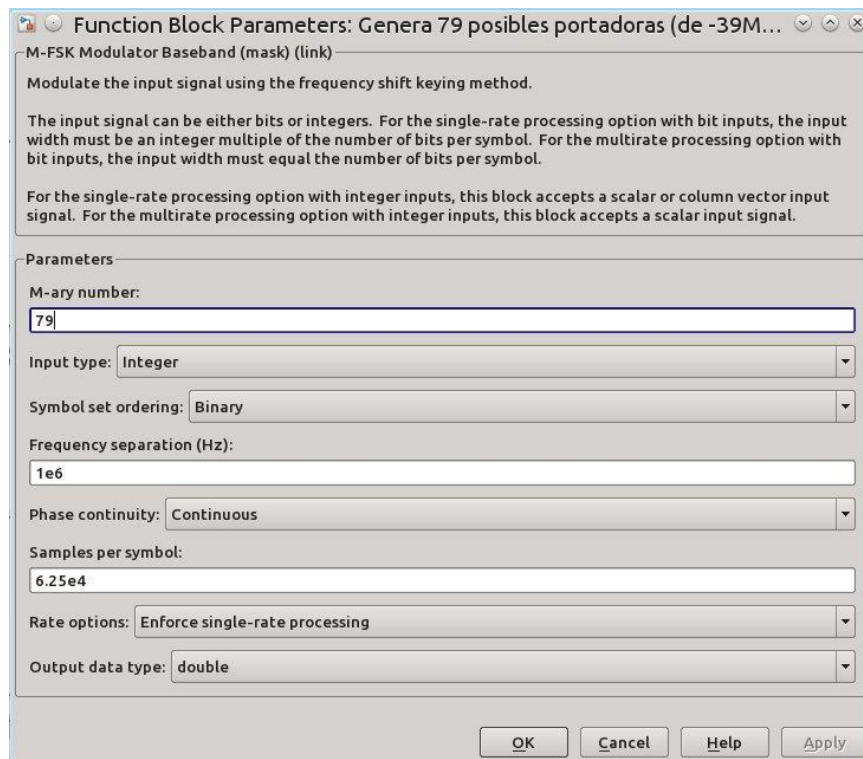


Figura 3. 8: Configuración de modulador FSK para generar la onda portadora a la frecuencia de salto seleccionada.

Elaborado por: Autor

El subsistema mostrado en la figura 3.9 genera de forma aleatoria 79 diferentes frecuencias para ser usadas en los saltos. De esta forma, se encarga de establecer el orden en el que se realizan los saltos sobre la banda de frecuencia. El índice de salto se envía al modulador FSK para generar una onda portadora a esa frecuencia. Igualmente se envía al demodulador para realizar la detección de la señal con la información.

### Generación del índice de salto

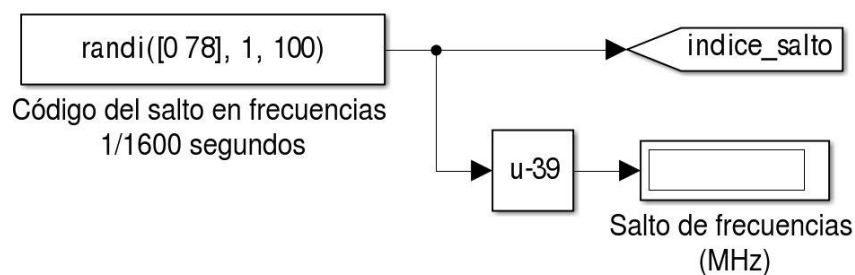


Figura 3. 9: Sistema para la generación aleatoria de 79 frecuencias diferentes para ser usadas en los saltos.

Elaborado por: Autor

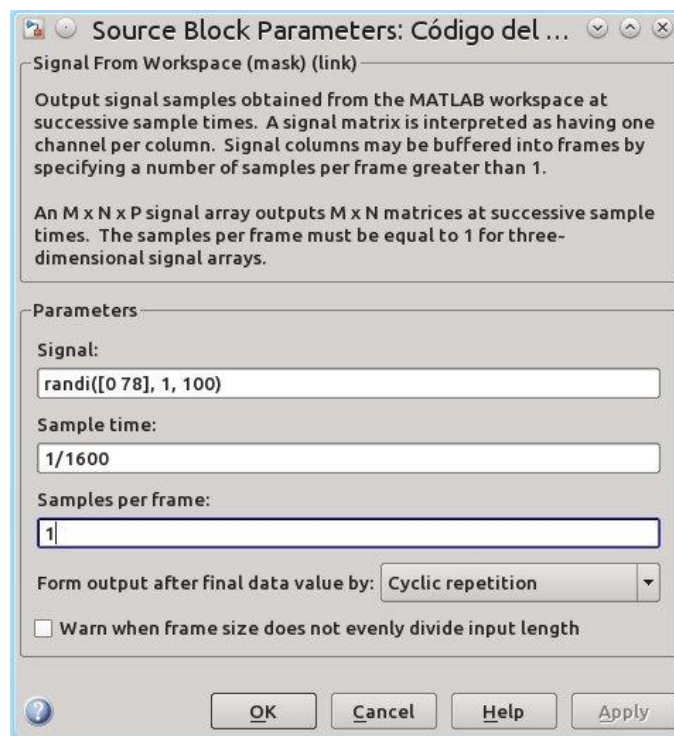


Figura 3. 10: Configuración de la generación de la secuencia de índices de salto.

Elaborado por: Autor

Mediante la función “randi” se genera un vector con números aleatorios entre 0 y 78. El período de la muestra a la salida es 1/1600 para lograr 1600 saltos en un segundo. Esta configuración puede observarse en la figura 3.10.

El canal considerado es afectado por Ruido Blanco Gaussiano Aditivo (AWGN, del inglés *Additive White Gaussian Noise*). Este es un modelo usado a menudo en el que se adiciona un ruido de banda ancha (o ruido blanco) con una densidad espectral constante y una amplitud con distribución gaussiana (Carlson, Crilly, & Rutledge, 2002). En la figura 3.11 se muestra la configuración que se le dio al canal.

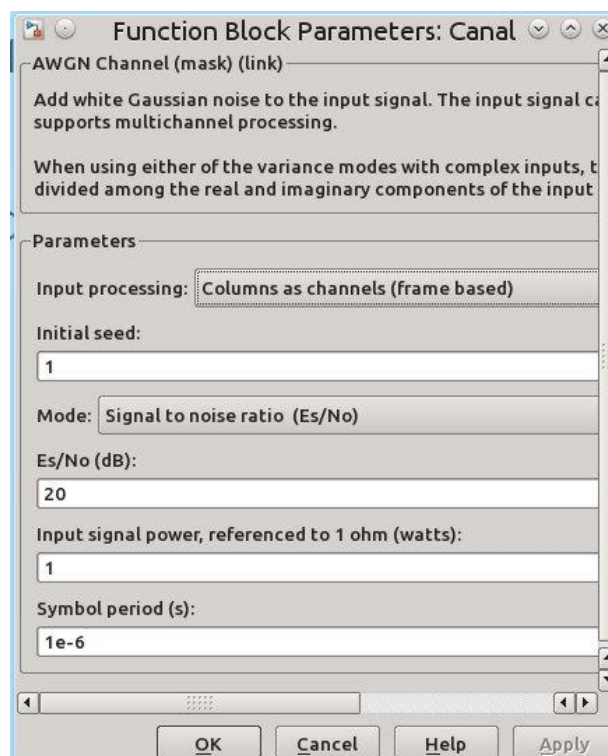


Figura 3. 11: Configuración del canal AWGN.  
Elaborado por: Autor

El objetivo del receptor es recuperar la información contenida en la señal de radio recibida, él realiza las mismas tareas que el transmisor pero en orden inverso. En la figura 3.12 se muestran los bloques que componen el receptor.

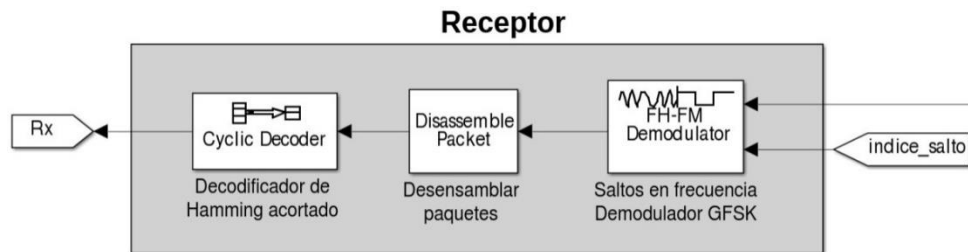


Figura 3. 12: Bloques que componen el Receptor  
Elaborado por: Autor

En la figura 3.13 se muestra el subsistema para realizar la demodulación. Con la información del índice de salto se crea un señal portadora con una frecuencia tal que va a permitir la demodulación para recuperar la información en banda base.

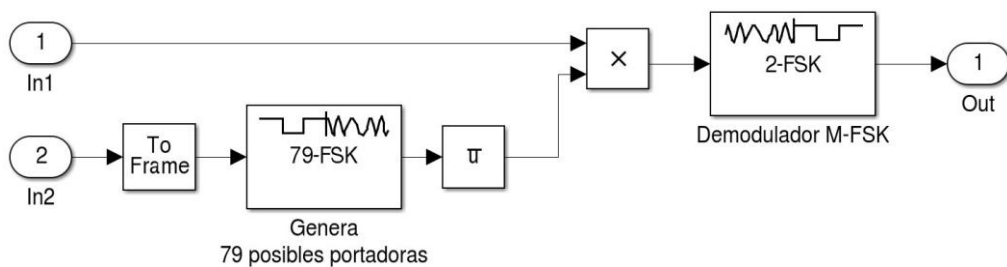


Figura 3. 13: Subsistema del demodulador  
Elaborado por: Autor

Posteriormente, el bloque Decodificador cíclico binario recupera el mensaje original a partir de un vector de palabra de código de 15 bits. Para una adecuada decodificación los valores de los parámetros en este bloque deben coincidir con los del correspondiente codificador cíclico binario, o sea, debe poseer el mismo polinomio generador. En la figura 3.14 se muestra la

configuración del Decodificador para obtener la información enviada originalmente.

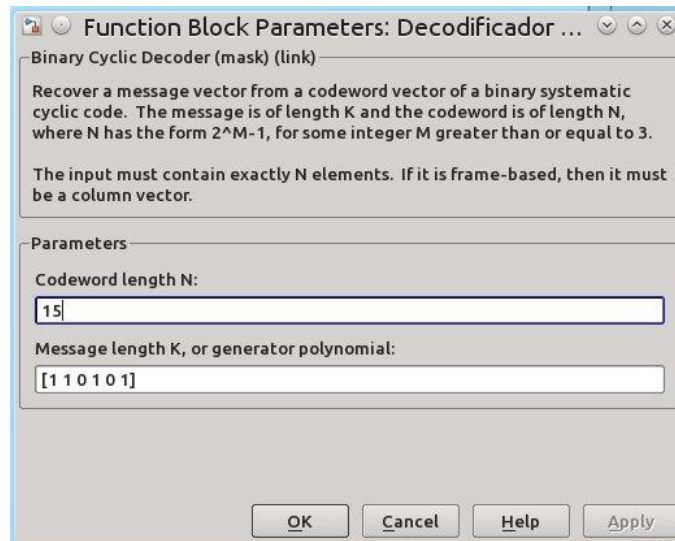


Figura 3. 14: Configuración del Decodificador cíclico binario.  
Elaborado por: Autor

### 3.3. Resultados de la simulación

En la figura 3.15 se muestra el espectro de la señal enviada y en la figura 3.16 se muestra el espectro de la señal recibida para un determinado intervalo de tiempo.

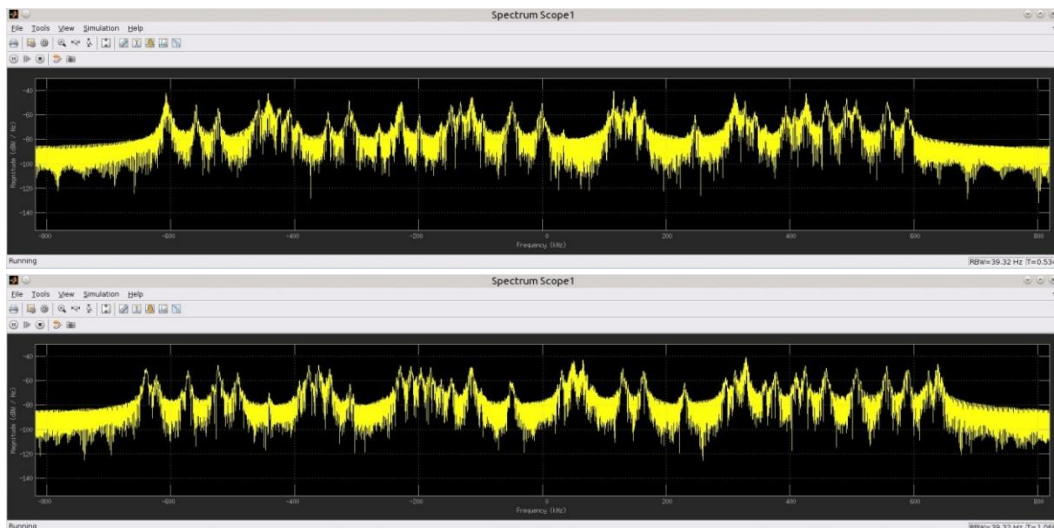


Figura 3. 15: Espectro de la señal enviada.  
Elaborado por: Autor



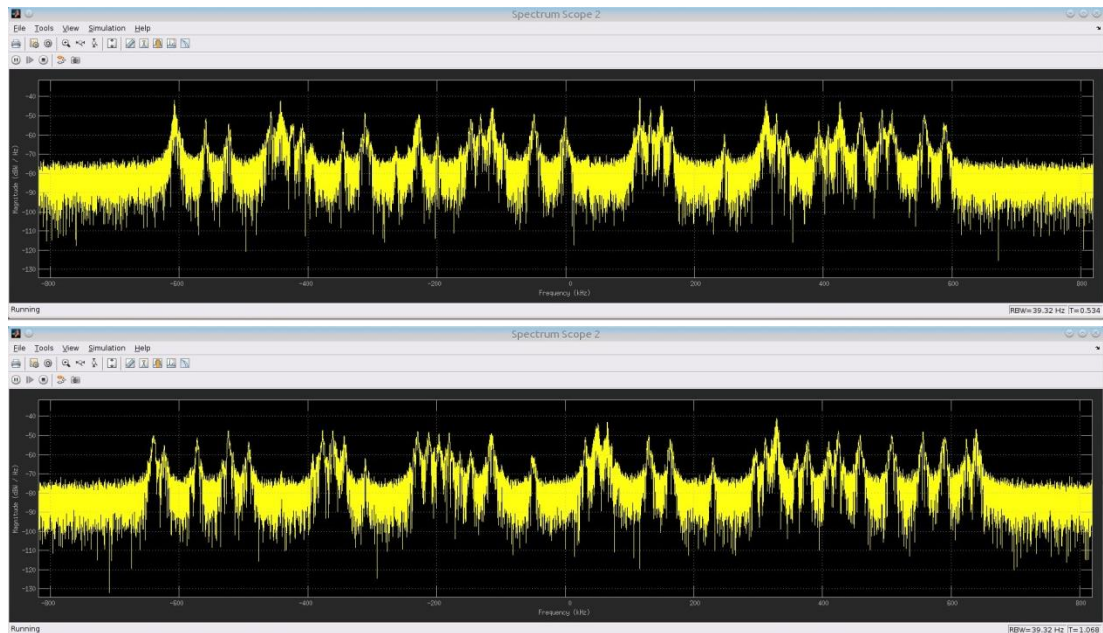


Figura 3. 16: Espectro de la señal recibida.

Elaborado por: Autor

- **Tasa de bits erróneos**

En una transmisión digital, el flujo de datos recibidos generalmente se ve afectado en su paso por el canal debido a factores como el ruido, interferencia, distorsión o errores de sincronización.

Un indicador empleado comunmente para analizar el comportamiento de los sistemas de comunicaciones digitales es la tasa de bits erróneos (BER, del inglés *Bit Error Rate*). Esta se define como el número de bits recibidos de forma incorrecta respecto al total de bits enviados durante un intervalo de tiempo.

En la figura 3.17 se muestra el componente que calcula la BER a partir de los bits enviados y los recibidos, mostrada utilizando un Display. Para

analizar el comportamiento del sistema, se calculó este indicador para un conjunto de valores de relación señal a ruido (SNR, del inglés *Signal to Noise Ratio*) (en dB) en el canal.

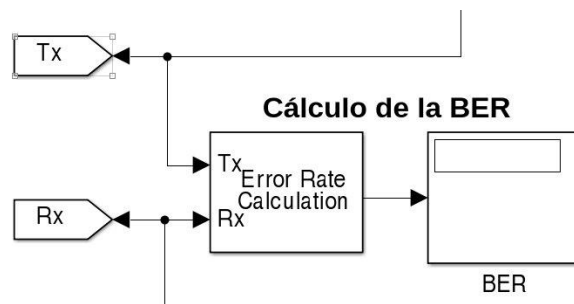


Figura 3. 17: Cálculo de la tasa de bits erróneos en el Simulink.  
Elaborado por: Autor

En la figura 3.18 se muestra una gráfica con la tasa de bits erróneos obtenida para diferentes valores de relación señal a ruido de 1 a 20 dB. Podemos observar que conforme aumenta la SNR van disminuyendo los errores en los bits recibidos, de manera que a partir de 16 dB la BER es considerablemente pequeña, en el orden de  $10^{-3}$ . Ya a partir de los 18 dB la BER cae a valores extremadamente pequeños que se aproximan a cero. Esto demuestra el correcto funcionamiento del modelo simulado.

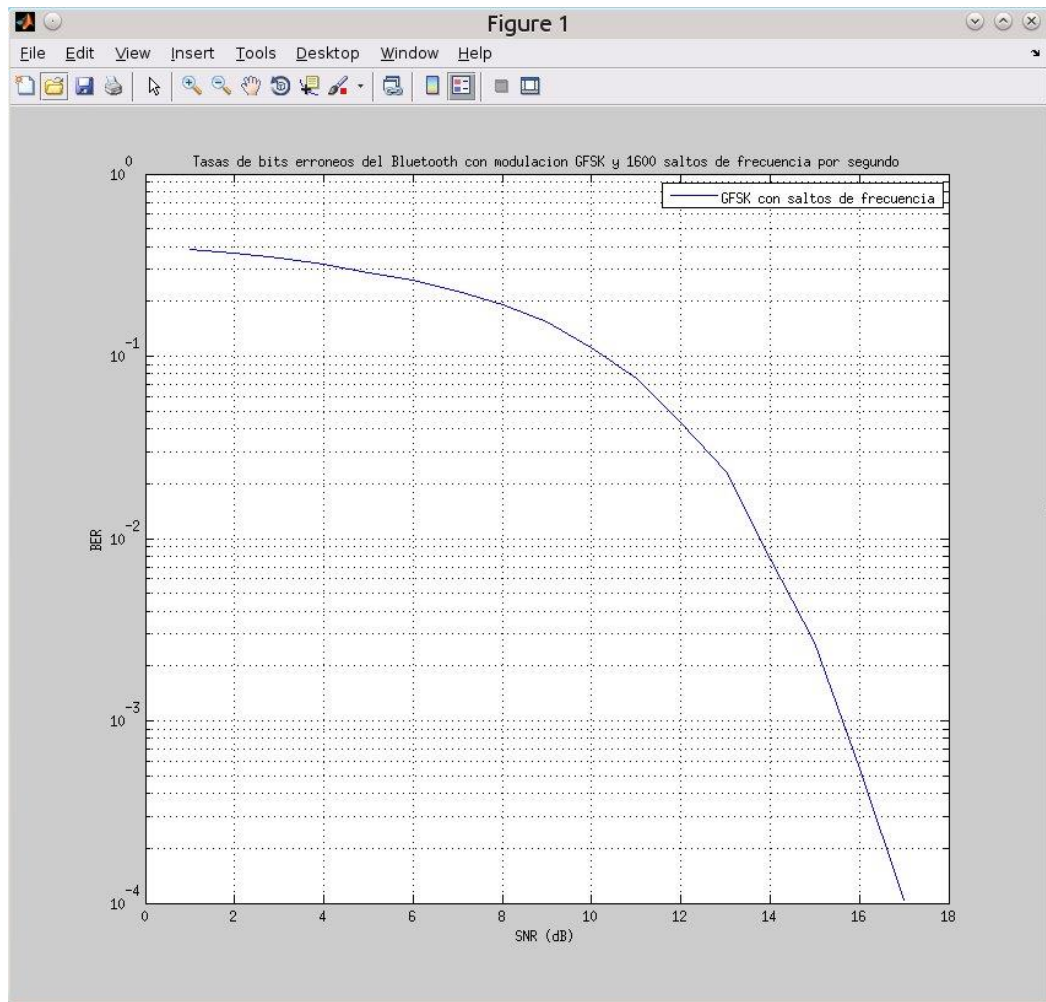


Figura 3. 18: Tasa de bits erróneos para varios valores de relación señal a ruido.  
Elaborado por: Autor

## **CAPÍTULO 4: Conclusiones y Recomendaciones**

### **4.1. Conclusiones.**

En este trabajo se realizó un estudio de la capa física de la tecnología inalámbrica para redes de área personal Bluetooth. Por la importancia que tiene, se le prestó especial atención al esquema de saltos en frecuencia, el cual es una característica fundamental. Podemos concluir que el uso del espectro ensanchado por saltos de frecuencia confiere robustez al sistema debido a que dificulta la acción de posibles interceptores de la señal ya que estos no poseen la secuencia de saltos usada por los dispositivos involucrados en la transmisión. Otra ventaja es que en caso de que exista una fuente de ruido en un cierto canal, ese ruido solamente afectará la transmisión en la frecuencia específica de aquel canal.

El estudio de la base teórica mencionada anteriormente permitió la implementación en Matlab/Simulink del sistema de comunicaciones Bluetooth con modulación GFSK y espectro ensanchado por saltos de frecuencia. Las configuraciones de los bloques fueron hechas de acuerdo a lo establecido en la literatura sobre el estándar en cuestión. Fueron obtenidas imágenes de los espectros de las señales enviadas y recibidas, lo que permitió validar el correcto funcionamiento del modelo simulado. Además se obtuvo un gráfico a partir de la tasa de bits erróneos en función de niveles de relación señal a ruido en el intervalo de 1 a 20 dB,

comprobándose como a partir de 16 dB esta cae significativamente a valores bien próximos a cero.

#### **4.2. Recomendaciones.**

Promover el uso de plataformas de simulación para modelar sistemas de comunicaciones inalámbricos con diferentes variantes que ocurren en el ámbito profesional de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, sin necesidad de realizar inversión alguna en equipos modernos y también de instrumentos de medición.

Desarrollar cursos de actualización de MatLab/Simulink y otras plataformas de simulación para que los estudiantes de Telecomunicaciones puedan proponer posibles temas de titulación.

## Bibliografía

- Bluetooth Specification website. (2016). Recuperado el 1 de diciembre de 2016, a partir de [www.bluetooth.com/news/pressreleases](http://www.bluetooth.com/news/pressreleases)
- Bray, J., & Sturman, C. F. (2001). *Bluetooth 1.1: Connect with out cables*. Pearson Education.
- Carlson, A. B., Crilly, P. B., & Rutledge, J. C. (2002). *Communication Systems. An Introduction to Signals and Noise in Electrical Communication* (FOURTH EDI). McGraw-Hill.
- Chakraborty, G., Naik, K., Chakraborty, D., Shiratori, N., & Wei, D. (2010). Analysis of the Bluetooth device discovery protocol. *Wireless Networks*, 16(2), 421–436. <https://doi.org/10.1007/s11276-008-0142-1>
- Couch, L. W. (2008). *Sistemas de comunicación digitales y analógicos* (Séptima ed, Vol. 1). Pearson Prentice Hall.
- Cuadrado Barquilla, C. (2016). *Aplicación móvil Bluetooth para almacenar credenciales de usuario*. Universidad Carlos III de Madrid. Recuperado a partir de [http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/24305/TFG\\_Carlos\\_Cuadrado\\_Barquilla\\_2016.pdf?sequence=1](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/24305/TFG_Carlos_Cuadrado_Barquilla_2016.pdf?sequence=1)
- D'mello, S., Aalam, Z., & Mishra, B. K. (2015). Modeling, Simulation & Performance Analysis of Bluetooth. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Managemen*, 4(2), 189–192.
- Golmie, N., Dyck, R. E. V., Soltanian, A., Tonnerre, A., & Rébala, O. (2003). Interference Evaluation of Bluetooth and IEEE 802.11b Systems. *Wireless Networks*, 9(3), 201–211. <https://doi.org/10.1023/A:1022821110023>

- Grange García, G. (2014). *Desarrollo de una aplicación Android para el control automático de la asistencia a clase*. Recuperado a partir de <https://repositorio.uam.es/handle/10486/662279>
- James, B. A. (2016). Design and Simulation of a Low Signal Wireless Communication System: An Application to Biomedical Engineering. *Journal of Biomedical Systems & Emerging Technologies*, 3(1), 1–6. <https://doi.org/10.4172/2090-5092.1000109>
- Proakis, J. G. (2001). *Digital Communications* (4th edition). McGraw-Hill.
- Proakis, J. G., & Salehi, M. (2008). *Digital Communication* (5th edition). McGraw-Hill.
- Singh, P., Sharma, D., & Agrawal, S. (2011). Study of Bluetooth Wireless Technology using Java. *Indian Journal of Computer Science and Engineering*, 2(3), 295–307.
- Tanenbaum, A. S. (2003). *Redes de computadoras* (Cuarta edi). Pearson Prentice Hall.
- Wazir. (2017). Design & Simulation of Turbo Decoder for BER Calculation. *International Journal Of Engineering And Computer Science*, 6(3), 20427–20431. <https://doi.org/10.18535/ijecs/v6i3.04>



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **ANZULES MORA, CRISTHIAN ANDRES** con C.C: # 0923910079 autor del Trabajo de Titulación: **Simulación de la capa física del sistema de comunicaciones Bluetooth** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 16 de Marzo de 2017

f. \_\_\_\_\_

Nombre: ANZULES MORA, CRISTHIAN ANDRES

C.C: 0923910079





Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	SIMULACIÓN DE LA CAPA FÍSICA DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES BLUETOOTH		
<b>AUTOR(ES)</b>	ANZULES MORA, CRISTHIAN ANDRES		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	M. Sc. EDWIN FERNANDO PALACIOS MELÉNDEZ		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería en Telecomunicaciones		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero en Telecomunicaciones		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	16 de Marzo de 2017	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	47
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Comunicaciones Inalámbricas y Sistemas de Comunicación		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Capa física, Comunicaciones inalámbricas, estándar, Redes de área personal, Bluetooth, Protocolos.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>			
<p>El presente componente práctico del examen complejo consiste en modelar la capa física de Bluetooth. La tecnología inalámbrica Bluetooth consiste en un sistema de comunicaciones de corto alcance creado para reemplazar las conexiones por cables entre dispositivos electrónicos sean portables o fijos. Sus características principales son la robustez, bajo consumo de potencia y bajo costo. Sus múltiples aplicaciones, que incluso llegan a las ramas de la biomedicina, domótica y otras, hacen del estudio de sus fundamentos teóricos una tarea de relevancia. En el presente trabajo se aborda el surgimiento del estándar, la arquitectura de una red Bluetooth y su modo de operación. Se analiza de manera general la pila de protocolos para luego profundizar en los aspectos teóricos de la capa física, sus principales características y parámetros usados. Además, se implementa en el Matlab/Simulink un sistema de comunicaciones Bluetooth basado en saltos de frecuencia y se analizan los resultados obtenidos.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-993876142	E-mail: <a href="mailto:cristhiananzules@hotmail.es">cristhiananzules@hotmail.es</a>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE</b>	<b>Nombre:</b> Palacios Meléndez Edwin Fernando		
	<b>Teléfono:</b> +593-9-68366762		
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec">edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec</a>		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			