

Estudio, Modelamiento y Simulación de Sistemas de Espectro Ensanchado Secuencia Directa y Salto De Frecuencia

Hernán Córdova, Patricia Chávez
Departamento de Investigación de Sistemas de Telecomunicaciones.
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Km. 30.5 vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador
Director del Proyecto, Investigador
hcordova@fiec.espol.edu.ec, pchavez@fiec.espol.edu.ec

Resumen

Este documento realiza el estudio, modelamiento e implementación de un Sistema de Espectro Ensanchado (SS), ampliamente utilizada en sistemas actuales de comunicación inalámbrica. Se revisan los conceptos básicos de Espectro Ensanchado para dar una sólida base al modelamiento realizado de las dos principales modalidades de esta tecnología, Espectro Ensanchado de Secuencia Directa (DSSS) y Espectro Ensanchado de Salto de Frecuencia (FHSS). Se muestran los resultados de las simulaciones de sistemas de Espectro Ensanchado trabajando en sus dos modalidades, para lo cual se utilizó la herramienta Simulink del software MATLAB. Además, el análisis de los resultados obtenidos a partir de las simulaciones permite comparar el rendimiento de ambos sistemas y permite revisar las ventajas y desventajas de cada uno de ellos. De igual manera se resume la implementación de un Enlace Inalámbrico punto-punto empleando tecnología de Espectro Ensanchado cuya modalidad se seleccionó en base al estudio realizado y a los resultados obtenidos en las simulaciones.

Palabras Claves: Espectro Ensanchado, Comunicaciones Inalámbricas, Análisis Secuencia Directa/Salto de Frecuencia.

Abstract

This document delivers a complete study, including the modeling and deployment of a spread spectrum (SS) system, widely used in wireless communications systems. Basic Spread Spectrum concepts are reviewed as a solid base for the realized modeling of the two main variants of this technology: Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) and Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS). The results of the simulations are shown and discussed working on their variants. The Simulink tool of the simulation software package MATLAB was used to perform the simulations. Further, an analysis of the results that were obtained from the simulations is delivered and the advantages and drawbacks of those systems are also discussed. In addition, the implementation of a practical point to point wireless link using Spread Spectrum Technology is summed up; the Spread Spectrum variant of this backup link was selected in base of the realized study and the obtained simulations results.

1. Introducción

Los sistemas de Espectro Ensanchado son usados como soluciones inalámbricas punto-punto y punto-multipunto, debido al bajo costo de los equipos y a sus características de protección contra el bloqueo y las perturbaciones y el encubrimiento de la señal. Dependiendo de la aplicación del enlace y de las condiciones existentes en el entorno, se selecciona una de sus modalidades: Secuencia Directa (DSSS), Salto de Frecuencia (FHSS) o Híbrido.

Por este motivo se seleccionó la tecnología Espectro Ensanchado para un enlace redundante necesario en el Centro de Investigación de Sistemas de Telecomunicaciones de la ESPOL. Para determinar la modalidad de Espectro Ensanchado que se

emplearía en este enlace, se inició un profundo estudio y análisis de estos sistemas. Posteriormente se procedió a modelar y simular sus dos principales modalidades: Secuencia Directa y Salto de Frecuencia, con el objetivo de comparar su desempeño ante el ruido y la interferencia.

2. Conceptos de Espectro Ensanchado

La tecnología de Espectro Ensanchado (SS) es una técnica que maximiza el uso del ancho de banda del canal, permite a múltiples señales utilizar el mismo canal sin colisiones y es altamente resistente a la interferencia y al bloqueo. [1], [2], [3].

Cuando se combina con un sistema complejo de encriptación, puede ser utilizada para elaborar redes

Recibido: Junio, 2005

Aceptado: Agosto, 2005

inalámbricas de área local (WLAN) seguras y robustas. [4]

En estos sistemas, un código pseudo-aleatorio, denominado secuencia de pseudo-ruido (PN), es generado independientemente de la señal y se emplea para modular los datos. En el receptor se demodula la

señal empleando la secuencia PN generada en el emisor, pero debidamente sincronizada. [3], [4], [5]

En el caso de la modalidad Secuencia Directa, la señal de datos y la secuencia PN se multiplican. Como la secuencia tiene una frecuencia superior a la de los datos, la información se expande sobre un ancho de banda mayor. [3], [4], [5].

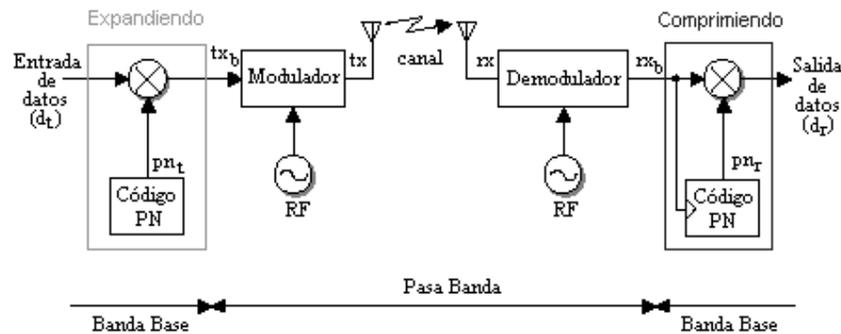


Figura 1. Sistema Espectro Ensanchado de Secuencia Directa Simplificado

En el caso de la modalidad Salto de Frecuencia, la secuencia PN alimenta un sintetizador de frecuencias, cuya salida se multiplica con la señal de datos modulada. La señal obtenida salta de frecuencia en el tiempo, por lo cual esta modalidad

recibe su nombre; esta señal se considera de Espectro ensanchado puesto que estos saltos se realizan dentro de un ancho de banda superior al de la señal original. [6]

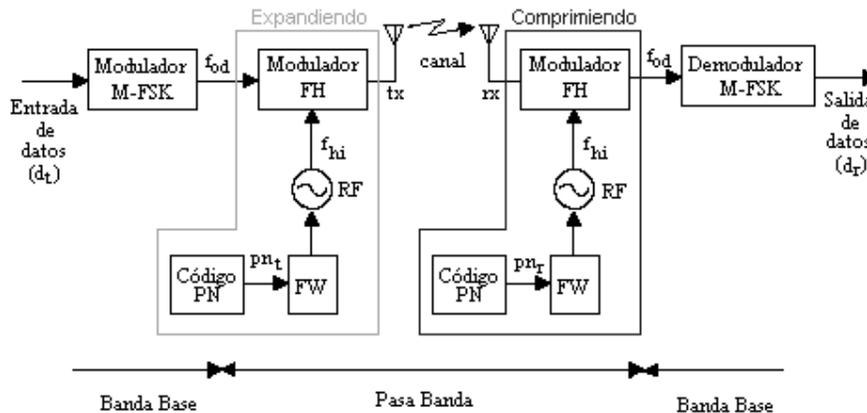


Figura 2. Sistema Espectro Ensanchado de Salto de Frecuencia Simplificado

3. Simulaciones

A continuación se muestran las simulaciones de las modalidades: Secuencia Directa y Salto de Frecuencia.

Se empezó con el Sistema Ideal para explicar como operan estas modalidades. Al diagrama de bloques obtenido se agregaron dos de los factores externos presentes en un Sistema de comunicaciones, estos son: Ruido Blanco e Interferencia de otros Sistemas, lo cual dio como resultado un Sistema de Espectro Ensanchado Complejo para cada modalidad.

3.1. Sistema DSSS Ideal

En el caso de los sistemas DSSS la Fase de Expansión puede darse antes o después de la modulación, dependiendo del tipo de señales que se estén empleando: unipolar o bipolar. [7], [8].

En el bloque de expansión se multiplica la señal de datos con una secuencia pseudo-aleatoria de mayor frecuencia, generada independientemente. La señal resultante, Señal de Espectro Ensanchado (señal SS), posee la información de la señal de datos expandida en un mayor ancho de banda, por lo cual recibe su nombre. [7], [8]

En la simulación se decidió emplear un Sistema con Fase de Expansión previa a la modulación, cuyo

diagrama se puede a en la figura 3.

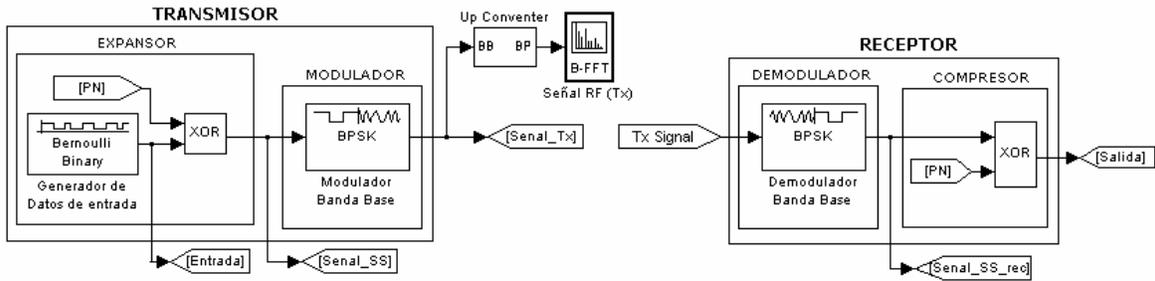


Figura 3. Diagrama de bloques de un Sistema DSSS con fase de expansión previa a la modulación

Se realizaron varias simulaciones de Sistemas DSSS ideales con diferentes secuencias PN, de tal manera que se analizó diferencia entre código largo y corto. Para todas ellas se empleó datos binarios de un generador Bernoulli a 1MHz ($f_s=1\text{MHz}$) como datos de entrada, mientras que para la secuencia

seudo-aleatoria se utilizaron Generadores de secuencia PN de 63 bits a 63Mcps y a 9Mcps.

Al emplear los códigos PN tenemos una expansión considerable de la señal de datos en el dominio de la frecuencia. Esta expansión se puede apreciar en las figuras 4 y 5.

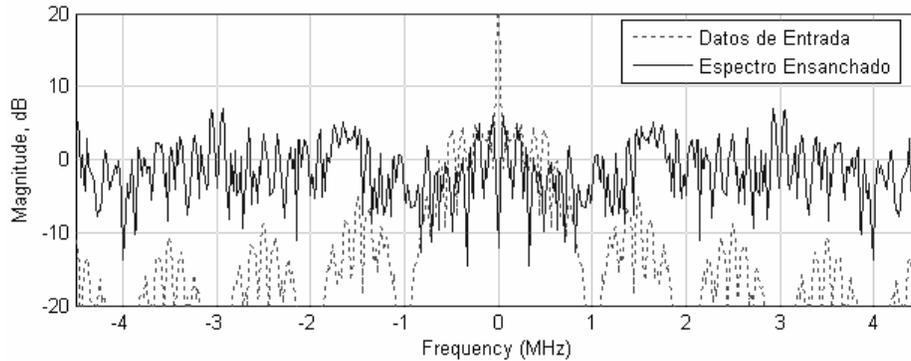


Figura 4. Señales en el dominio de la frecuencia de un Sistema DSSS empleando secuencia PN de 9Mcps

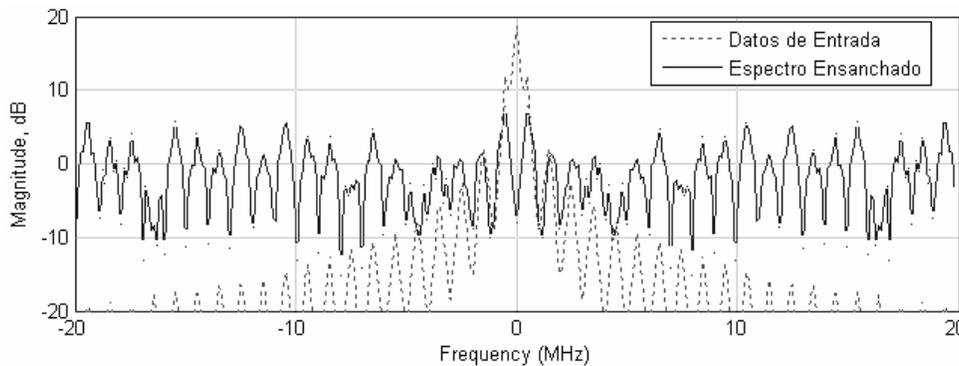


Figura 5. Señales en el dominio de la frecuencia de un Sistema DSSS empleando secuencia PN de 63Mcps

En la figura 6 podemos observar que la secuencia PN de 9Mcps es un código largo con $T_s/T_c=9$. Mientras que en la figura 7 apreciamos que la secuencia PN de 63Mcps es un código corto, puesto que la señal se repite para cada símbolo con $T_s/T_c=63$.

La señal SS se modula y posteriormente se multiplica por una frecuencia RF para la transmisión.

En la simulación se ha empleado modulación B-PSK y un bloque "Up converter" para obtener la señal en RF.

En el receptor se demodula la señal recibida y se la multiplica nuevamente por la secuencia pseudo-aleatoria en la Fase de Compresión. Debido a las propiedades de esta secuencia, la señal resultante de esta operación es la señal original de datos.

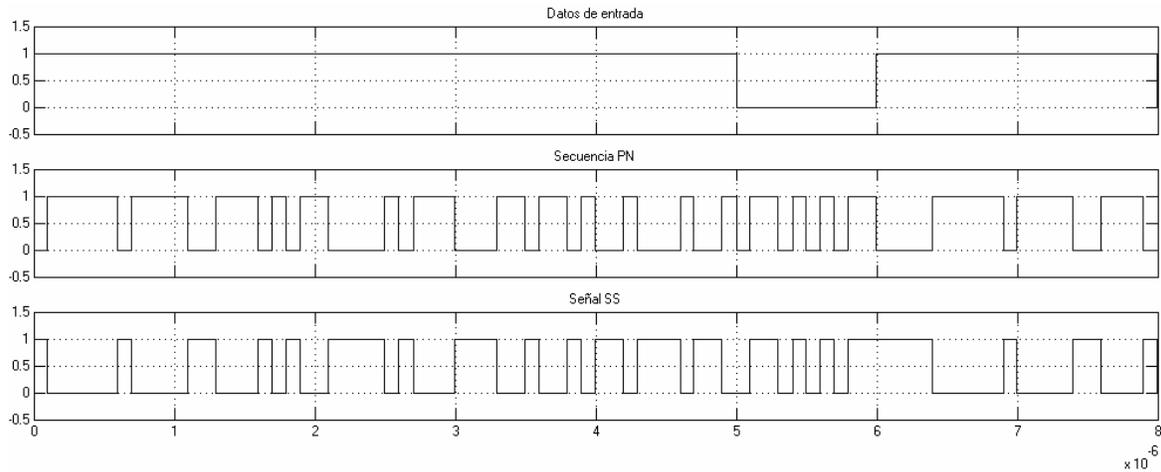


Figura 6. Señales en el dominio del tiempo de un Sistema DSSS empleando secuencia PN de 9Mcps

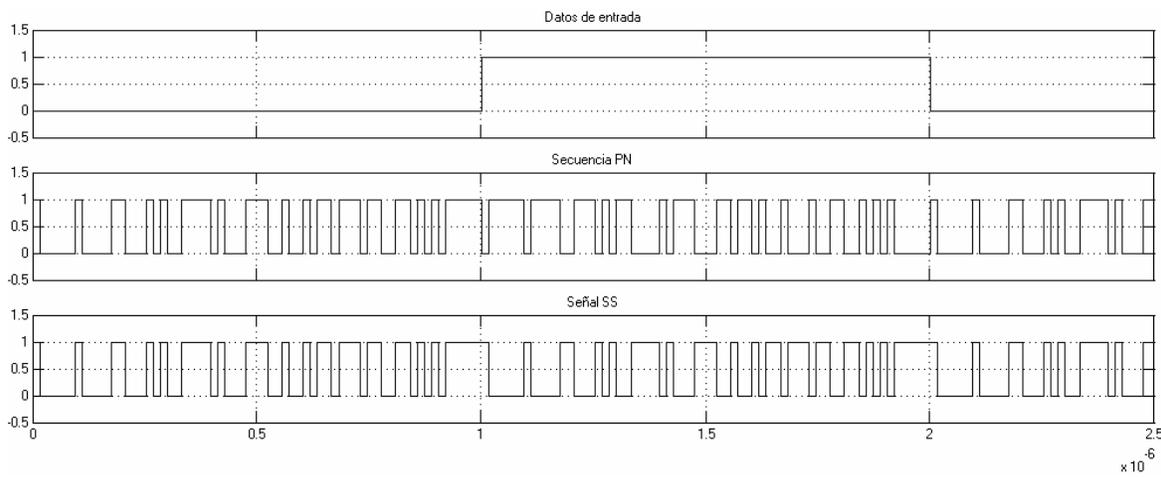


Figura 7. Señales en el dominio del tiempo de un Sistema DSSS empleando secuencia PN de 63Mcps

3.2 Sistema DSSS con Ruido Blanco

Al sistema ideal le añadimos un canal de ruido blanco Gaussiano, lo cual produce una diferencia entre la señal transmitida y la señal recibida. Por este motivo, en los sistemas reales se añade un filtro

Pasa Banda a la entrada del sistema receptor de tal forma que se atenúe el efecto del ruido.

En esta simulación no se emplearon filtros, pero los resultados obtenidos fueron satisfactorios, como se puede apreciar en la figura 13.

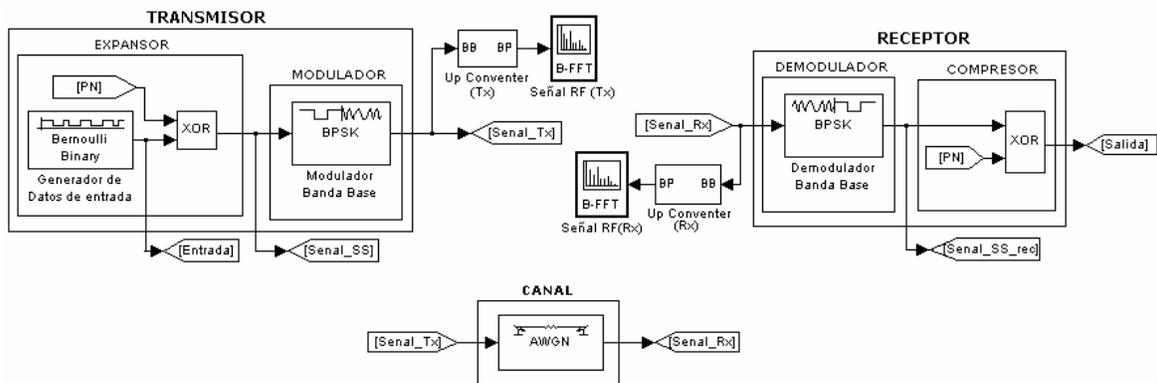


Figura 8. Diagrama de Bloque de un Sistema DSSS con canal de Ruido Blanco Gaussiano

3.3 Sistema DSSS con Ruido Blanco e Interferencia

Para este sistema se añadió interferencia de otros sistemas DSSS operando en la misma frecuencia, pero con diferentes secuencias PN.

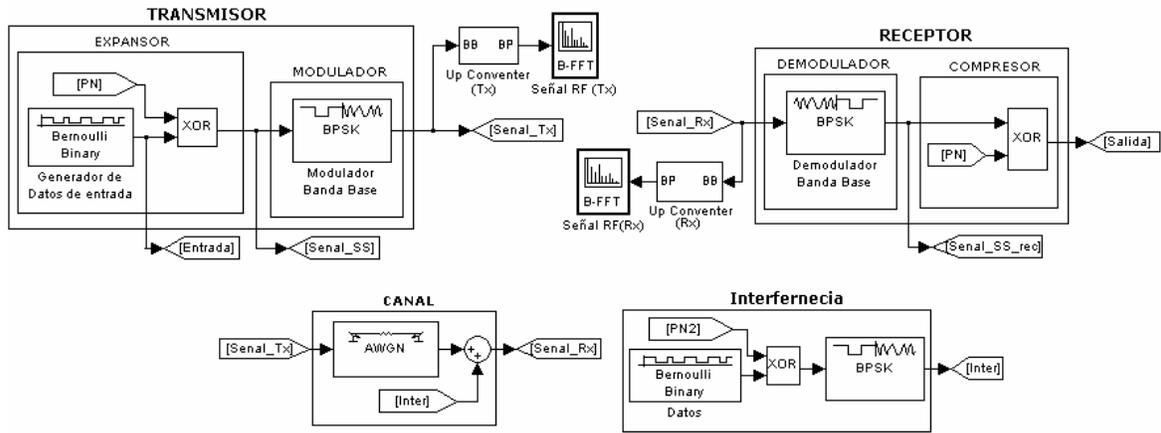


Figura 9. Diagrama de Bloque de un Sistema DSSS con Ruido Blanco Gaussiano e Interferencia

En la figura 15 podemos apreciar como la Tasa de Error de Bits aumenta conforme aumenta el número de sistemas que interfieren, pero que la señal original se recupera con relativa satisfacción.

3.4 Sistema FHSS Ideal

En los sistemas FHSS la fase de Expansión requiere de una señal modulada. El bloque expansión multiplica la señal modulada y la salida de un

sintetizador de frecuencia, alimentado por la secuencia pseudo-aleatoria, de tal forma que la frecuencia central se desplaza en el tiempo, pero en función de la secuencia de pseudo-ruido. [8].

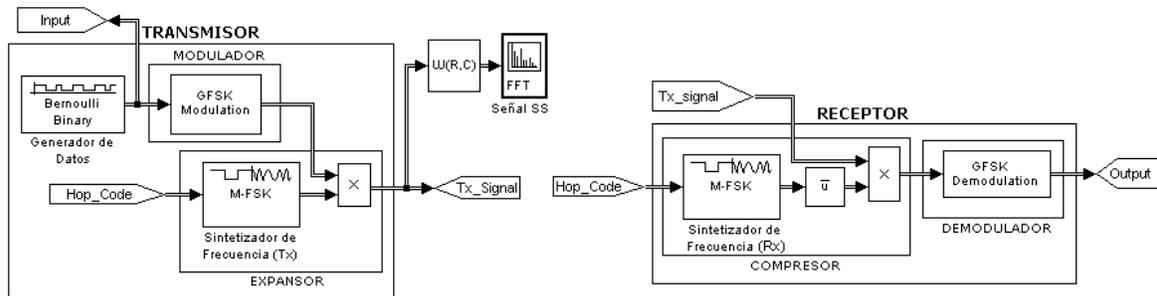


Figura 10. Diagrama de Bloques de un Sistema FHSS

Para esta simulación se ha empleado una señal Bernoulli de 1.6kHz para la entrada y modulación GFSK. Se empleó un generador cíclico de números aleatorios con rango 1 a 78 (79 canales) y frecuencia de 1600Hz para generar el código de salto. En el caso del sintetizador de Frecuencia se empleó un modulador M-FSK con separación entre frecuencias de 1MHz. [8]

En la figura 11 podemos apreciar como la señal va “saltando” de frecuencia en función del tiempo, es decir, se desplaza la frecuencia central de la portadora dependiendo del código de salto. Es por esto que los sistemas FHSS reciben su nombre.

Adicionalmente observamos que los saltos se dan dentro de un ancho de banda de aproximadamente 78MHz, el cual es superior al ancho de banda de la señal modulada, es decir, se produjo una expansión del ancho de banda.

La señal recibida es multiplicada nuevamente por la salida del sintetizador de frecuencia y se obtiene la señal original modulada, puesto que la entrada del sintetizador es la misma secuencia de códigos de salto que en el transmisor, pero debidamente sincronizado. Esta señal se demodula y se recuperan los datos.

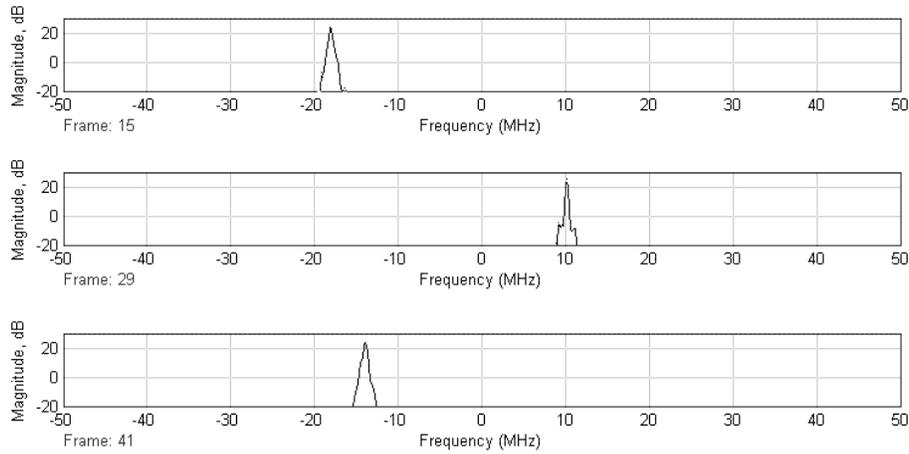


Figura 11. Señales SS en función de la frecuencia tomadas en diferentes tiempos de la Simulación

3.5 Sistema FHSS con Ruido Blanco

Al sistema ideal se le añadió un canal de Ruido Blanco similar al empleado en el sistema DSSS. En

esta simulación tampoco se incluyeron filtros, pero los resultados obtenidos fueron relativamente satisfactorios, tal como se puede apreciar en la figura 13.

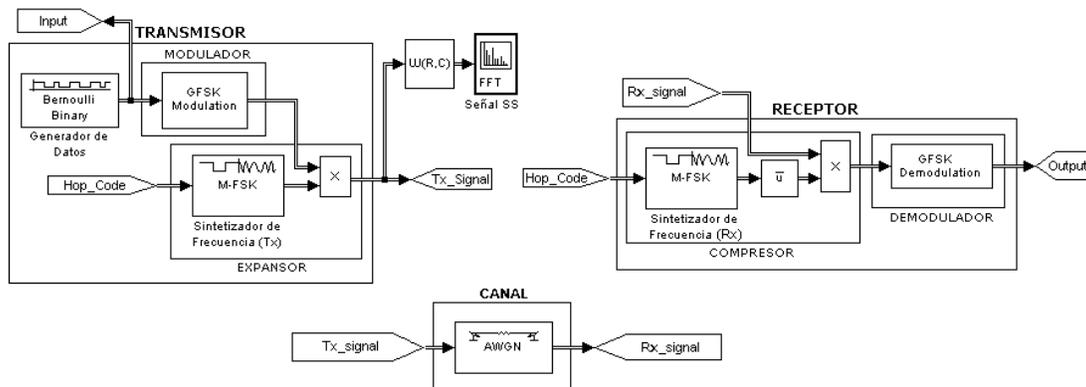


Figura 12. Diagrama de bloques de un Sistema FHSS con Ruido Blanco Gaussiano

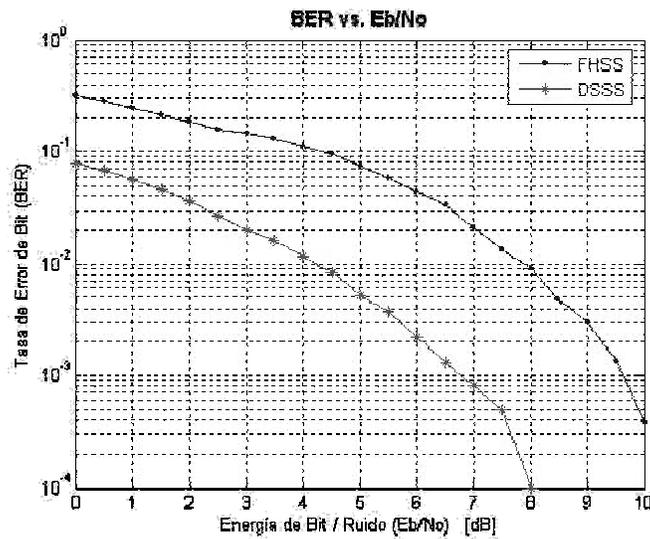


Figura 13. Relación entre la Tasa de Error de Bit (BER) y la Energía de Bit sobre Ruido (Eb/No)

3.6 Sistema FHSS con Ruido Blanco e Interferencia

En este caso el canal tiene ruido blanco e interferencia de otros sistemas FHSS que operan en la misma frecuencia pero con diferentes códigos de saltos.

En la figura 15 podemos apreciar como la Tasa de Error aumenta conforme se insertan más señales que interfieren con nuestro sistema, pero que a pesar de ello puede recuperarse la señal original satisfactoriamente. Esto se debe a que los sistemas FHSS pueden coexistir con otros sistemas similares y su rendimiento depende del número de sistemas que interfieren

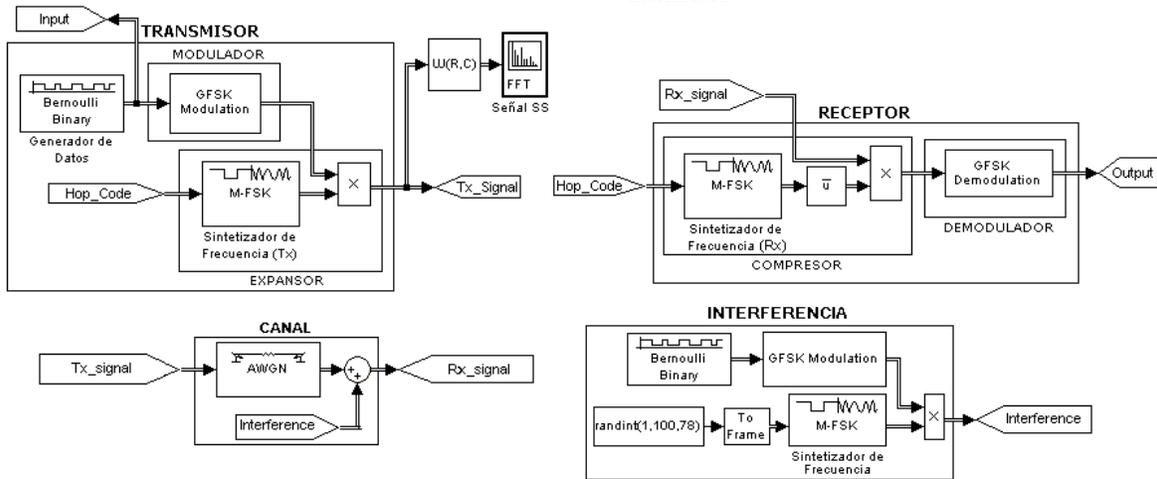


Figura 14. Diagrama de bloques de un Sistema FHSS con Ruido Blanco e Interferencia de otros Sistemas FHSS

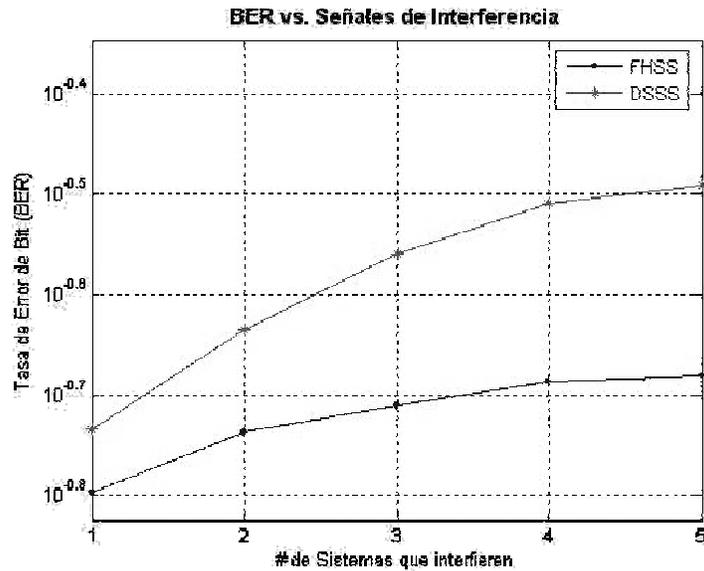


Figura 15. Relación entre la Tasa de Error de Bit (BER) y el número de señales que componen la interferencia, en presencia de Ruido Blanco E_b/N_0 3dB

4. Implementación del Enlace

Basándose en el estudio de tutoriales y en los resultados de las simulaciones se decidió emplear equipos que utilicen la modalidad DSSS debido a las características del área donde se encuentra instalado físicamente el enlace, en la cual no existe interferencia de otros sistemas similares.

Para la instalación de los equipos, en primera instancia se comprobó la existencia de línea de vista entre los dos puntos del enlace, para lo cual se realizaron los revelamientos pertinentes. Se decidió aprovechar la torre existente en el Laboratorio de Telecomunicaciones para la instalación de la primera antena, pero en la del Centro de Cómputo se procedió a instalar un mástil de dos metros en el techo.

Cuando se terminó la instalación de las antenas y los equipos de Transmisión/Recepción que las acompañan, se procedió a pasar los cables por las canaletas e instalar un switch en el rack del Laboratorio de Telecomunicaciones para poder conectar las computadoras a este enlace redundante. En el centro de cómputo se pasaron de igual manera los cables y se conecto al puerto asignado para nuestro enlace.

5. Conclusiones y Recomendaciones

Al analizar la relación RAW BER vs Eb/No de ambas modalidades, es evidente que el Sistema DSSS tiene un mejor desempeño ante el ruido blanco puesto que para un valor de RAW BER= 10^{-3} , el Sistema FHSS requiere de un Eb/No superior a los 9.5dB, mientras que el Sistema DSSS alcanza este valor con menos de 7dB.

Por el contrario, en el caso de la interferencia proveniente de otros sistemas en la misma banda, podemos concluir que FHSS presenta una mejor reacción ante el incremento del número de sistemas que interfieren la señal, lo cual se desprende del análisis de los gráficos correspondientes.

FHSS se aplica más en ambientes de trayectorias múltiples, puesto que se obtiene un mejor desempeño; por el contrario, DSSS se emplea en entornos con línea de vista y de gran alcance.

En DSSS para incrementar la Tasa de Datos, se aumenta la tasa del reloj, pero en FHSS se necesitaría un mayor ancho de banda para no disminuir el número de canales para saltar.

Desde el punto de vista económico, el costo de implementar el diseño con DSSS es menor que la solución con FHSS; tanto en lo que implica a equipos como en lo correspondiente a los pagos de solicitud de operación y homologación (caso estrictamente aplicable a Ecuador).

6. Referencias Bibliográficas

- [1] Hafizee F., "Spread Spectrum Communications", IEEE Short Circuit Magazine, Nov-Dic 1998, (<http://ewh.ieee.org/r10/bombay/news2/story10.htm>)
- [2] Randy R., "Introduction to Spread Spectrum", Spread Spectrum Scene, <http://www.sss-mag.com/ss.html>
- [3] Glas J.P.F. "On the Multiple Access Interference in a DS/FFH Spread Spectrum Communication system", in the Proceedings of the Third IEEE International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications, Oulu, Finland, July 4-6, 1994.
- [4] Randy R. "Which is Better, DS or FH Spread Spectrum?", Spread Spectrum Scene Magazine, Vol3, No3, pag8.
- [5] Berder, Olivier et al Bounder, Céline et al Burel, Pilles. Identification of Frequency Hopping Communications. Université de Bretagne Occidentale
- [6] Flikkema, P. "Introduction to Spread Spectrum: Direct Sequence", <http://www.sss-mag.com/sstech.html>
- [7] Meel, J. "Spread Spectrum (SS): Introduction", Spread Spectrum Project 1997-1999, DE NAYER Institute, http://www.sss-mag.com/pdf/Ss_jme_denayer_intro_print.pdf
- [8] Meel, J. "Spread Spectrum (SS): Applications", Spread Spectrum Project 1997-1999, DE NAYER Institute, http://www.sss-mag.com/pdf/Ss_jme_denayer_appl_print.pdf
- [9] Ejemplos de simulaciones empleando la herramienta Simulink de Matlab. <http://www.mathworks.com>