

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

“Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones”

TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO DEL PROYECTO

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN
INALÁMBRICO UTILIZANDO PROCESAMIENTO DIGITAL APLICADO AL
USO DE TIC.**

AUTORES:

Iván Antonio Calero Calle

María Fernanda Pilco Carrión

TUTOR

Mgs. Deysi Vilma Inca Balseca

Riobamba - Ecuador

Año 2019

Los miembros del tribunal de graduación del proyecto de investigación de título: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN INALÁMBRICO UTILIZANDO PROCESAMIENTO DIGITAL APLICADO AL USO DE TIC**, presentado por: **Iván Antonio Calero Calle** y **María Fernanda Pilco Carrión**, dirigida por **Mgs. Deysi Vilma Inca Balseca**.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman.

Phd. Yesenia Cevallos

Presidenta del Tribunal



Firma

Mgs. José Jinez

Miembro del Tribunal



Firma

Mgs. César Palacios

Miembro del Tribunal



Firma

DECLARACIÓN EXPRESA DE TUTORÍA

En calidad de tutor del tema de investigación: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN INALÁMBRICO UTILIZANDO, PROCESAMIENTO DIGITAL APLICADO AL USO DE TIC.** Realizado por la Srta. María Fernanda Pilco Carrión y el Sr. Iván Antonio Calero Calle, para optar por el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, considero que reúnen los requisitos y méritos suficientes para ser sustentada públicamente y evaluada por el jurado examinador que se designe.

Riobamba, Abril 2019


.....
Mgs. Deysi Vilma Inca Balseca
C.I. 060381048-2
TUTORA

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, corresponde exclusivamente a: Iván Antonio Calero Calle y María Fernanda Pilco Carrión, bajo la dirección de la Mgs. Deysi Inca en calidad de tutora; y al patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.

Riobamba, Abril 2019



.....
María Fernanda Pilco Carrión

C.I: 060426510-8



.....
Iván Antonio Calero Calle

C.I: 060415006-0

DEDICATORIA

Este estudio está dedicado de todo corazón:

*A **mi madre** Narcisa, quien es mi fuente de inspiración y que continuamente me brinda su apoyo moral, emocional y económico; además que me enseñó a creer que no hay límite para lo que quiera lograr en mi vida y que todo sacrificio tiene su recompensa.*

*A **mis hermanos** Gissel y Christian, por la orientación, la fuerza, la protección y por estar siempre a mi lado.*

*A **mis familiares** en especial a mi primo Lenin y mi tía Elita, quienes de una u otra forma me apoyaron y fueron parte de este logro.*

Y finalmente pero no menos importante, a mi novia Mafer, quien aparte de ser mi compañera, es mi amiga y ahora mi colega; fuiste mi gran apoyo en el transcurso de la carrera y además me brindaste fuerza y motivación para terminar este trabajo; espero compartir muchos logros más.

Iván A. Calero

DEDICATORIA

“El éxito en la vida no se mide por lo que logras, sino por los obstáculos que eres capaz de superar”

Por ello, dedico este proyecto:

A Dios, por ser mi fortaleza en todo momento y en tiempos de obscuridad no permitirme decaer antes los obstáculos de la vida.

A mis queridos padres Mauro y Grey por ser mi mayor motivación y quienes guiaron mi camino con mucho esfuerzo y dedicación, pero más que nada por su amor y apoyo incondicional; además por sus ejemplos de perseverancia y constancia que es lo que los caracteriza y me han infundado siempre. Gracias porque siempre estuvieron apoyándome para continuar y culminar mi formación académica, todo esto se los debo a ustedes.

A mis hermanos Roxana, Gabriela y Ángel a quienes amo infinitamente, por siempre estar presentes, acompañándome y apoyándome además por siempre confiar en mí, en todo momento de mi vida.

A mis abuelitos Gustavo y María por haberme brindado apoyo en todo momento, por sus consejos, valores y sobre todo su cariño.

A toda mi familia en especial a mí querida tía Jaqueline, por sus consejos y palabras de aliento que hicieron de mí una mejor persona y que de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

A Iván, quien a más de ser mi pareja es mi mejor amigo, quien siempre ha estado ahí para brindarme su apoyo durante nuestra etapa universitaria, y en especial por los ánimos y motivación para juntos haber culminado este trabajo de investigación.

María Fernanda Pilco

AGRADECIMIENTO

Este trabajo de tesis realizado en la Universidad Nacional de Chimborazo es un esfuerzo en el cual, indirecta o directamente, distintas personas participaron aconsejando, corrigiendo, dándonos ánimo, teniéndonos paciencia, acompañándonos en los momentos de dificultad y en momentos de felicidad. Este trabajo nos ha permitido aprovechar la competencia y la experiencia de muchas personas que deseamos agradecer en este apartado.

A nuestros queridos padres y familiares, por ser nuestros pilares fundamentales, gracias por todo el apoyo y ánimo brindado día a día que hicieron que sigamos luchando por alcanzar nuestras metas y sueños, para ellos nuestro reconocimiento, gratitud e infinito amor.

A la Universidad Nacional de Chimborazo por habernos dado la oportunidad de formarnos profesionalmente y sobre todo ser grandes seres humanos.

A toda la carrera de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, y de forma especial a nuestros docentes quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos permitieron que día a día podamos crecer profesionalmente, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional, pero sobre todo por su grata amistad

A nuestra tutora la Ingeniera Deysi Inca, oradora de esta tesis y una fuente inagotable de conocimiento, gracias por habernos guiado a realizar este trabajo, nos transmitió la pasión y el entusiasmo necesario para que este trabajo tomara forma día tras día y lograrlo culminar de manera eficaz.

A todos ustedes, nuestro mayor reconocimiento y gratitud.

Iván y Fernanda

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	3
1.2. OBJETIVOS.....	4
1.2.1. GENERAL.....	4
1.2.2. ESPECÍFICOS.....	4
CAPÍTULO II	5
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. ANTECEDENTES.....	5
2.2. SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICO	5
2.3. TECNOLOGÍA PARA TRANSMISIONES INALÁMBRICAS.....	7
2.3.1 TRANSMISIÓN INFRARROJA	7
2.3.2 TRANSMISIÓN POR RADIOFRECUENCIA (RF)	7
2.4. PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES	7
2.5. MODULACIÓN DIGITAL.....	8
2.5.1 MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE AMPLITUD (ASK)	8
2.5.2 MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE FRECUENCIA (FSK)	9
2.5.3 MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE FRECUENCIA GAUSSIANA (GFSK).....	10
2.5.4 MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE FRECUENCIA MÚLTIPLE (MFSK)	11
2.6. ANTECEDENTES ELECTRÓNICOS	12
2.6.1 CHIP AX5043	12
2.6.2 MICROCONTROLADOR AX8052F100.....	13
2.6.3 CONEXIÓN DEL AX5043 AL MICROCONTROLADOR AX8042F100	14
2.6.4 DVK-2-BASE KIT	14
2.6.5 ADAPTADOR DE DEPURACIÓN AXDB	15
2.6.6 AXCÓDIGO: BLOCOS.....	16
2.6.7 COMPILADOR SDCC	17
2.6.8 MATLAB	18
CAPÍTULO III.....	19
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
3.1 TIPO DE ESTUDIO	19
3.1.1 INVESTIGACIÓN CUALITATIVA	19
3.2 MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	19
3.2.1 MÉTODO INVESTIGATIVO EXPERIMENTAL.....	19
3.3 TÉCNICAS	19
3.3.1 OBSERVACIÓN.....	19

3.4	INSTRUMENTOS	19
3.5	POBLACIÓN Y MUESTRA	20
3.5.1	POBLACIÓN	20
3.6	PROCEDIMIENTOS	20
3.7	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	20
3.7.1	DISEÑO DEL SISTEMA AUTÓNOMO	22
3.7.1.1	SPI REGISTRO DE ACCESO.....	22
3.7.1.2	OPERACIÓN FIFO.....	23
3.7.1.3	AUTORANGO	24
3.7.1.4	TRANSMISOR	25
3.7.1.5	RECEPTOR.....	27
3.7.2	IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO TRANSMISOR	28
3.7.3	IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO RECEPTOR	30
3.7.4	DISEÑO DE LA INTERFAZ GRÁFICA DE CONTROL DEL SISTEMA	32
CAPÍTULO IV		35
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1.	RESULTADOS EXPERIMENTALES	35
4.2.	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	35
4.3.	ANÁLISIS DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICO.....	35
4.4.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	38
4.5.	DISCUSIÓN.....	41
CAPÍTULO V.....		42
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
5.1.	CONCLUSIONES	42
5.2.	RECOMENDACIONES	43
BIBLIOGRAFÍA.....		44
ANEXOS.....		46

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de un enlace de comunicación	6
Figura 2. Modulación ASK.....	9
Figura 3. Generación de FSK	10
Figura 4. Modulación FSK	10
Figura 5. Filtro Gaussiano para datos	11
Figura 6. (a) Señal Binaria (b) Modulación 4FSK.....	12
Figura 7. Diagrama de Bloques de AX5043	13
Figura 8. Conexión del módulo RF con el microcontrolador	14
Figura 9. DVK2-Base	15
Figura 10. Adaptador de depuración AXDBG	16
Figura 11. Entorno de desarrollo de AXCode::Blocks	17
Figura 12. Diagrama general del sistema de transmisión inalámbrico	21
Figura 13. Acceso a la lectura y escritura a una dirección larga de SPI de 8 bits	23
Figura 14. Acceso a la lectura y escritura de SPI de 8 bits.....	23
Figura 15. Puntero FIFO	24
Figura 16. Diagrama de Flujo del proceso de auto-rango.....	25
Figura 17. Diagrama de Flujo del Transmisor	26
Figura 18. Diagrama de Flujo del Receptor.....	27
Figura 19. Líneas de comandos en el Software AxCode::Blocks.....	28
Figura 20. Implementación del módulo Transmisor.....	28
Figura 21. Diagrama de Flujo de Funcionamiento del módulo Transmisor	29
Figura 22. Líneas de comandos de Slave en el Software AxCode::Blocks	30
Figura 23. Implementación del módulo Receptor	30
Figura 24. Diagrama de Flujo de Funcionamiento del módulo Receptor.....	31
Figura 25. Pantalla principal.....	32
Figura 26. (a) Interfaz de parámetros de Transmisión (b) Mensaje de configuración exitoso	33
Figura 27. Interfaz de gráficas en la Transmisión	33
Figura 28. (a) Interfaz de parámetros de Recepción (b) Control de errores	34
Figura 29. Interfaz de gráficas en la Recepción.....	34
Figura 30. Módulos del sistema de comunicación.....	36
Figura 31. Elaboración del chasis para los módulos TX y RX.....	46
Figura 32. Adaptación de los módulos en el chasis.....	46
Figura 33. Implementación de los módulos TX y RX en el chasis	47
Figura 34. Sistema de Comunicación Inalámbrico	47
Figura 35. Guía de Práctica aplicada al Grupo 1	48
Figura 36. Explicación del manejo de la aplicación de control	48
Figura 37. Pruebas del sistema de comunicación con el Grupo 1	49
Figura 38. Guía de práctica aplicada al Grupo 2	49
Figura 39. Explicación del manejo de la aplicación de control	50
Figura 40. Manipulación de la aplicación de control, configuración de TX	50
Figura 41. Configuración de RX.....	51
Figura 42. Verificación de datos obtenidos en el software.....	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de RSSI medidos para diferentes distancias con la modulación ASK	36
Tabla 2. Valores de RSSI medidos para diferentes distancias con la modulación FSK	37
Tabla 3. Valores de RSSI medidos para diferentes distancias con la modulación GFSK	37
Tabla 4. Valores de RSSI medidos para diferentes distancias con la modulación 4FSK	38
Tabla 5. Constante de perdida para cada modulación digital.	38
Tabla 6. Tabla de contingencia de Chi- cuadrado, valores observados.	39
Tabla 7. Tabla de contingencia de Chi- cuadrado, valores esperados.	39
Tabla 8. Tabla de contingencia de Chi- cuadrado, calculado.	40
Tabla 9. Porcentaje de adquisición de habilidades de aprendizaje.	40
Tabla 10. Detalles de los puntos a evaluar	81
Tabla 11. Resultados sin el uso del sistema de comunicación Inalámbrico	81
Tabla 12. Resultados con el uso del sistema de comunicación Inalámbrico	82

RESUMEN

La comunicación es un aspecto esencial en la vida de la humanidad, desde los inicios el hombre se ha visto en la necesidad de mantenerse comunicado e informado del mundo que lo rodea, gracias a los avances tecnológicos el ser humano disfruta de los servicios de comunicación electrónica. Los sistemas de comunicación digital, posee notables ventajas sobre los sistemas analógicos tradicionales pues permite la facilidad de procesamiento, facilidad de multiplexado e inmunidad al ruido.

El presente Proyecto presenta el diseño e implementación de un sistema de transmisión inalámbrico utilizando el procesamiento digital de señales, que permita consolidar el conocimiento teórico con el práctico desarrollando en los estudiantes competencias y habilidades específicas en el área de las comunicaciones digitales en la carrera de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones.

El proyecto está compuesto por dos módulos transceptores, los que fueron programadas en el IDE de AxCode::Blocks, definiendo así el transmisor y receptor. Además, permiten la vinculación mediante puerto serial con la aplicación de control, que muestra diferentes gráficas en el dominio de tiempo y frecuencia, que tiene por objetivo mostrar la señal en cada proceso.

El monitoreo del sistema se realiza mediante una aplicación desarrollada en la interfaz gráfica de GUIDE en Matlab en su versión ®2015b, que permite la interacción de los módulos con el estudiante, a la vez los resultados se muestran en dicha aplicación. Además, permite al usuario observar el dato recibido y comprobar que es el correcto, en el caso de que exista algún error mostrará en pantalla un mensaje de advertencia que alertará al estudiante si es el caso en que los parámetros de sincronismos sean erróneos.

Finalmente, las pruebas del sistema de transmisión inalámbrico, utilizando procesamiento digital de señales, se realizaron con la ayuda de una guía práctica en donde se podrá evaluar la mejora de competencias y habilidades de un grupo de estudiantes de la Universidad Nacional de Chimborazo de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones.

ABSTRACT

The communication is an essential aspect in the human's life, from the beginning the human being has to stay communicated and informed into the world that surrounds it, thanks to the technological advances the human nature enjoys the services of electronic communication. The digital communication systems own remarkable advantages on the traditional analogical systems because it allows the facility processing, multiplexed facility, and immunity noise. This project presents the design and implementation of a wireless transmission system using the digital processing signal, that it allows consolidating the theoretical knowledge with the practical developing in the students with specific competitions and abilities in the area of the digital communications in the Electronic Engineering and Telecommunications career. It is compound by two transceiver modules, which had been programmed in the IDE of AxCode: Blocks, defining like that the transmitter and receiver. Also, they permit the link with the serial port with the application of control, that shows different graphics in the domain of time and frequency, that has a goal to show the signal in each process. The monitoring of the system is made among a developed application in the graphics interface of GUIDE in Matlab in its version ®2015b, that allows the interactions of the modules with the student; meanwhile the results are shown in the named application. Besides, it will enable the user to observe the received data and verify that it is the correct one, in case that some error exists it will show you a warning message in the screen that will alert to the student if it is the case that the parameters of synchronisms are erroneous. Finally, the tests of the wireless system transmission, using digital signal processing, were performed by a practical guide where the improvement of competitions and abilities of in a group of students of the Universidad Nacional de Chimborazo in the career of Electronics and Telecommunications will be able to be evaluated.



Translation reviewed by: Trujillo, Myriam

Language Center Teacher



INTRODUCCIÓN

En la actualidad la humanidad se desenvuelve mediante los diferentes medios de comunicación, por ello la gran importancia de la comunicación inalámbrica, misma que se ha convertido en un servicio público, que se logra a través de la emisión de ondas de radio frecuencia, permitiendo así mayor flexibilidad y movilidad del sistema inalámbrico. Uno de los factores más importantes de la comunicación inalámbrica son las técnicas de modulación; estos sistemas se usan para facilitar la radiación del campo electromagnético en el espacio.

En el proyecto de investigación se pretende diseñar e implementar un sistema de transmisión y recepción inalámbrico utilizando métodos de procesamiento de señales, para generar técnicas de modulación en el canal de comunicación.

La modulación de las señales permite un mejor aprovechamiento del canal de comunicación, se dividen en dos grupos, como es, las modulaciones analógicas las cuales fueron las primeras en transmitir información de una antena Transmisora a una Receptora, entre estas existen AM, FM y PM. También, existen las modulaciones digitales que tienen por objetivo el transmitir la información en código binario, entre estas se tiene las modulaciones ASK, FSK, GFSK y MFSK.

El objetivo principal del sistema es el de mejorar el aprendizaje y habilidades de los estudiantes en el ámbito de los sistemas de comunicación inalámbrico, y procesamiento de señales, que mediante el sistema de transmisión y recepción inalámbrico basado en una aplicación de control del sistema de comunicación, permite obtener la medición de una señal en tiempo y frecuencia, logrando así mostrar si existen distorsiones en el canal, además de que el estudiante puede captar y poner en práctica todo lo aprendido en clase mediante la experimentación del sistema, adquiriendo un conocimiento sólido, activo e innovador.

El presente proyecto de investigación viene estructurado de la siguiente manera:

En el capítulo 1 se presentan los objetivos a desarrollarse en este proyecto, en el capítulo 2 se detalla las definiciones, utilización y funcionamiento de los elementos empleados en este proyecto, definiciones de comunicaciones inalámbricas, tecnologías de comunicaciones inalámbricas, modulaciones digitales, en el capítulo 3 se presenta diseño y construcción del

transmisor y receptor inalámbrico digital. La metodología implementada y diagramas de flujo que indican la estructura del sistema, en el capítulo 4 se darán a conocer los resultados que se obtuvo de las pruebas realizadas en la Universidad Nacional de Chimborazo de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones y el capítulo 5 se expone las conclusiones a las que se llegó y las recomendaciones adecuadas para el manejo correcto del sistema de transmisión inalámbrico.

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

No cabe duda que, con el avance de la tecnología se encuentran en boga los laboratorios virtuales que resultan ser un espacio interactivo, incorporando así todos los aspectos tecnológicos, pedagógicos y humanos, con el fin de realizar actividades prácticas adaptables al estudiante y a las necesidades del maestro en un entorno virtual de aprendizaje.

El laboratorio de electrónica no cuenta con los equipos necesarios para el aprendizaje en el área de las comunicaciones digitales, por lo que el estudiante no puede poner en práctica todo lo aprendido en clase, quedando el conocimiento adquirido solo en forma teórica

La mejor forma para que las personas puedan aprender es mediante la experimentación lo que permite que vayan adquiriendo un conocimiento sólido, activo e innovador, por ello se ha visto la necesidad de diseñar e implementar un transmisor y receptor inalámbrico utilizando un procesamiento digital de señales que permita consolidar el conocimiento teórico con el práctico en el área de las comunicaciones digitales en la carrera de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Que basado en una aplicación para el control del sistema de comunicación permite obtener la medición de una señal en el tiempo y frecuencia, logrando mostrar la señal en cada proceso. Además, el proyecto es una herramienta útil para la experimentación de sistemas de comunicaciones digitales, para el laboratorio de electrónica.

El propósito general de este sistema, es el de ayudar a mejorar habilidades y aprendizaje de los estudiantes en el ámbito de los sistemas de comunicación inalámbrico, y procesamiento de señales.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. GENERAL

- Diseñar e implementar un sistema de transmisión inalámbrico utilizando procesamiento digital de señales aplicado al uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación.

1.2.2. ESPECÍFICOS

- Diseñar e implementar el transmisor y receptor inalámbrico utilizando métodos de procesamiento de señales para generar modulaciones digitales.
- Generar una aplicación para el control del sistema de comunicaciones a través de herramientas de software para evaluar el desempeño del transmisor y receptor inalámbrico.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Se han desarrollado algunos proyectos con el fin de dar un aporte en la construcción de sistemas de radiofrecuencia digital inalámbrica, estos dispositivos se basan en circuitos integrados específicos para cada función y también son de gran robustez. Al ser instrumentos de laboratorio, están sometidos a extensas jornadas de trabajo. Su aplicación se basa para el envío de datos digitales que garanticen un bajo costo consumo de potencia y tamaño reducido.

En la Universidad Técnica Particular de Loja se realizó un Transmisor y Receptor digital de corto alcance para la transmisión de datos de mandos de control, telemetría de baja potencia, sistema de automatización de alarma, sensores inalámbricos. El sistema modular está formado en base a microcontroladores y su respectiva visualización y obtención de datos en el Software Labview. (Íñiguez Pineda & Íñiguez Pineda, 2008)

La Universidad Simón Bolívar realizó un Transmisor y Receptor con la tecnología de multiplexación por división de Frecuencias Ortogonales (OFDM), en la que dispusieron de un equipo de radio frecuencia PXI-1042Q de National Instruments y del software de Labview para su respectivo manejo. (Contreras, 2012)

Los beneficios que se obtiene al utilizar este sistema es que está dirigido a estudiantes, el mismo que les ayuda a mejorar el aprendizaje y habilidades en el ámbito de los sistemas de comunicación inalámbrico, procesamiento de señales. Además, de que el estudiante puede captar y poner en práctica todo lo aprendido en clase mediante la experimentación del sistema, adquiriendo un conocimiento sólido.

2.2. SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICO

En la actualidad la humanidad está inmersa en la denominada revolución tecnológica de las comunicaciones inalámbricas, una de las principales ventajas es la movilidad al no depender de cables.

Favorece su expansión y es más rápido que otro tipo de tecnología, un ejemplo claro de ello es la telefonía móvil en la que muchas personas tienen la oportunidad de conectarse a la red desde cualquier lugar y momento, lo que ha facilitado la aparición de nuevas aplicaciones y servicios sobre los dispositivos.

Un enlace de comunicación, es el trayecto que debe recorrer la información para transmitirse de un lugar origen a un destino, en donde influyen tres elementos importantes:

- Transmisor
- Medio de Comunicación (canal)
- Receptor

Los elementos transmisor y receptor se pueden subdividir en otros elementos. En el transmisor, se incluye la fuente de información (digital), un codificador y un modulador. En el receptor, incluye un demodulador, decodificador y un enlace de comunicación. (García Rojas & Paba Suarez, 2009)

La estructura descrita puede ser representada mediante la figura 1.

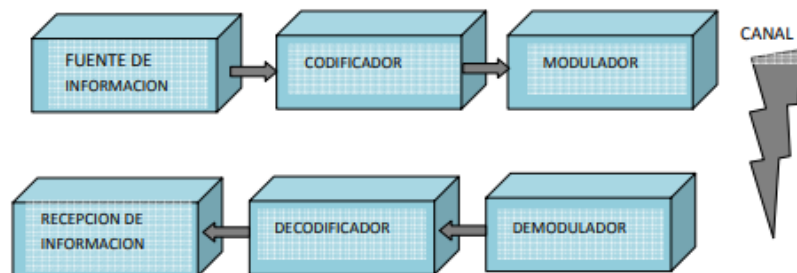


Figura 1. Estructura de un enlace de comunicación

Fuente: <https://docplayer.es/80262297-Analisis-de-modulacion-y-demodulacion-en-telecomunicaciones-por-medio-del-software-vissim-comm-dirigido-hacia-metodos-de-deteccion-de-errores.html>

En un sentido amplio y general, se puede decir que las comunicaciones inalámbricas son aquellas comunicaciones entre dispositivos o entre personas que intercambian información utilizando el espectro electromagnético. Las comunicaciones inalámbricas engloban desde una comunicación Bluetooth entre un móvil y un ordenador, hasta una comunicación entre dos terminales de telefonía móvil. (Blázquez)

2.3. TECNOLOGÍA PARA TRANSMISIONES INALÁMBRICAS

Las principales tecnologías utilizadas para la transmisión inalámbrica son infrarrojo y radiofrecuencia.

2.3.1 TRANSMISIÓN INFRARROJA

Esta tecnología está basada en rayos luminosos que se movilizan en el espectro infrarrojo, cuenta con una comunicación bidireccional entre dos extremos con velocidades que oscilan entre los 9600 bps y los 4 Mbps. (Preciado Romero, Lopez Rubiano, & Méndez Murillo, 2011) Infrared Data Association (IrDA) define un estándar en la forma de transmisión y recepción de datos por infrarrojo. Permiten la comunicación para pequeñas distancias, los puntos de conexión para la comunicación siempre deben ser visibles; el campo de aplicación es limitado y su uso es muy extendido.

2.3.2 TRANSMISIÓN POR RADIOFRECUENCIA (RF)

Radiofrecuencia también denominado espectro de radiofrecuencia se aplica en el rango del espectro electromagnético situado entre unos 3 KHz y unos 300 GHz, es decir permite comunicaciones de corto y medio alcance, la región del espectro se puede transmitir aplicando corriente alterna a una antena.

Para el uso de radiofrecuencia en comunicaciones es necesario disponer de un dispositivo transmisor encargado de emitir una señal electromagnética y el receptor es el encargado de recoger la señal electromagnética que emite el transmisor. Esta tecnología también es capaz de atravesar obstáculos y paredes, su campo de aplicación es muy amplio.

La transmisión en radio frecuencia permite una gran variedad de aplicaciones como las radiocomunicaciones, radioastronomía y radar, además este tipo de transmisión permite mayor alcance en comparación a la tecnología de infrarrojo. (Preciado Romero, Lopez Rubiano, & Méndez Murillo, 2011)

2.4. PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES

Harry Nyquist (1928) en su artículo “Certain topics in Telegraph Transmission Theory”, mostró el efecto producido en el espectro de frecuencia de una señal análoga al ser discretizada en el tiempo, y se dio cuenta que, para preservar la información original, la tasa de muestreo debía ser mayor que el doble de la máxima componente de frecuencia contenida en la señal análoga.

Posteriormente, en 1949, Claude Shannon publicó el artículo “Communications in the Presence of Noise”, donde demostró que es posible reconstruir perfectamente una señal análoga a partir de sus muestras, si se dispone de un filtro pasa bajos análogo ideal. (Si bien no es posible fabricar un filtro de este tipo, es posible aproximarse bastante a él en muchas situaciones prácticas).” (Barchiesi, 2008)

Así es que el procesamiento de Señales en el área de Ingeniería Electrónica se basa en la representación, transformación, manipulación de señales e información que contienen. El primer modelo de procesamiento electrónico que se desarrolló y se aplicó fue el procesamiento analógico, el cual se lleva a cabo mediante circuitos compuestos por resistores, capacitores, inductores, amplificadores operacionales. Procesamiento Digital de Señales (DSP), maneja la amplitud en forma discreta, ya que es una condición necesaria para que la señal pueda ser procesada en un computador digital. La amplitud de la señal debe tener un número finito de valores diferentes.

2.5 MODULACIÓN DIGITAL

La comunicación digital se basa en movilizar la información digital de un punto a otro por medio de un canal, más específicamente la comunicación digital de banda de paso implica una modulación de amplitud, fase o frecuencia de una señal portadora analógica que posee una señal de banda base portadora de información.

La frecuencia es la derivada de fase con respecto al tiempo, se puede generalizar la modulación de fase para así incluir la modulación de frecuencia, normalmente la frecuencia de la portadora es mucho mayor que la velocidad de símbolos. En muchos sistemas de comunicaciones digitales la portadora es una frecuencia de radio (RF) a cientos o miles de MHz, alcanzando velocidades de símbolos de información de mega baudios, al contrario, en sistemas donde la portadora es una frecuencia de audio tiene símbolos de unos pocos cientos a unos miles de baudios. (Santiana, 2014)

2.5.1 MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE AMPLITUD (ASK)

ASK es una forma de modulación, en la que los datos digitales se representan como variaciones de amplitud de la onda portadora, mientras tanto la frecuencia y la fase permanecen constantes.

El nivel de amplitud puede ser utilizado para representar el 1 o el 0 como se observa en la figura 2, se puede pensar en la señal portadora como un interruptor ON/OFF.

El ancho de banda mínimo de una señal ASK para la transmisión es igual a la tasa de baudios, aunque tiene únicamente una frecuencia portadora, el proceso de modulación produce una señal compleja que es la combinación de muchas señales sencillas. (Trinidad, 2011)

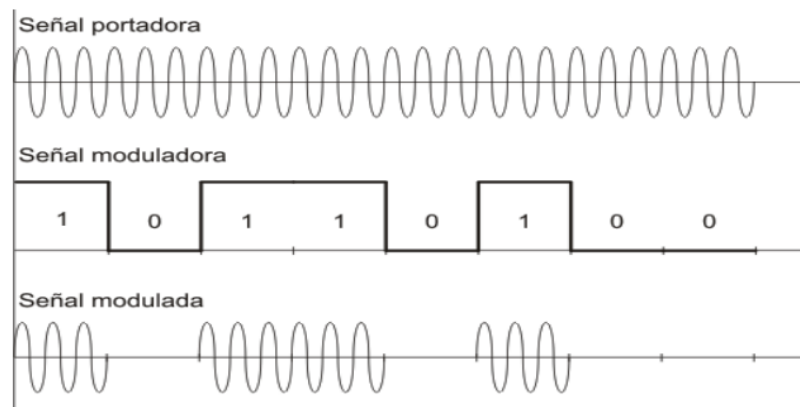


Figura 2. Modulación ASK

Fuente: <https://www.textoscientificos.com/redes/modulacion/ASK>

2.5.2 MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE FRECUENCIA (FSK)

FSK es una modulación por desplazamiento de frecuencia, que puede caracterizarse en dos tipos dependiendo del método empleado. Uno de ellos consiste en el conmutar la salida del transmisor entre dos osciladores diferentes como se observa en la figura 3 (a), lo que genera una forma de onda discontinua en tiempos de conmutación, se la conoce como FSK no coherente.

La señal FSK coherente se genera al alimentar la señal de datos a un modulador de frecuencia como se observa en la figura 3 (b), en donde la fase de función es continua. (Couch, 2008)

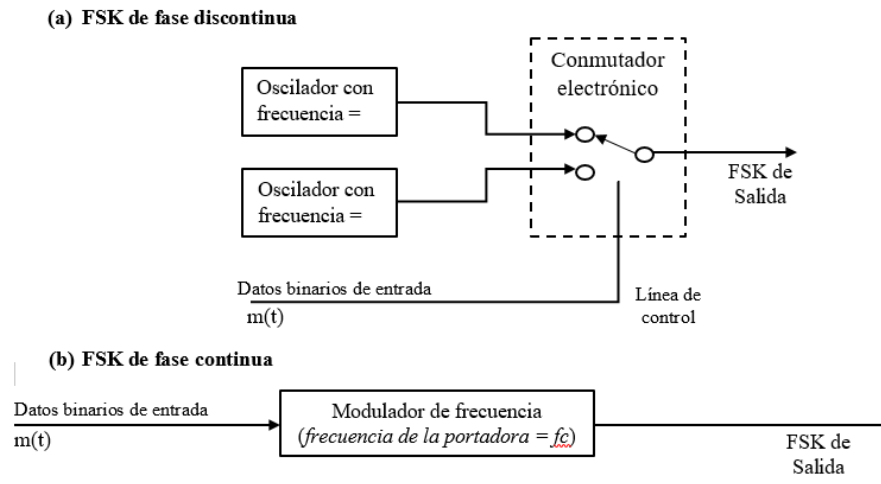


Figura 3. Generación de FSK

Fuente: Autores

La señal moduladora es digital y los valores digitales se representan mediante dos frecuencias diferentes (f_1 y f_2) que están próximas a la frecuencia de la señal portadora. La frecuencia de la señal en el transcurso de la duración del bit permanece constante y su valor depende de un bit (0 o 1), tanto la fase como la amplitud permanecen constantes. La señal modulada se representa gráficamente en la Figura 4. (Trinidad, 2011)

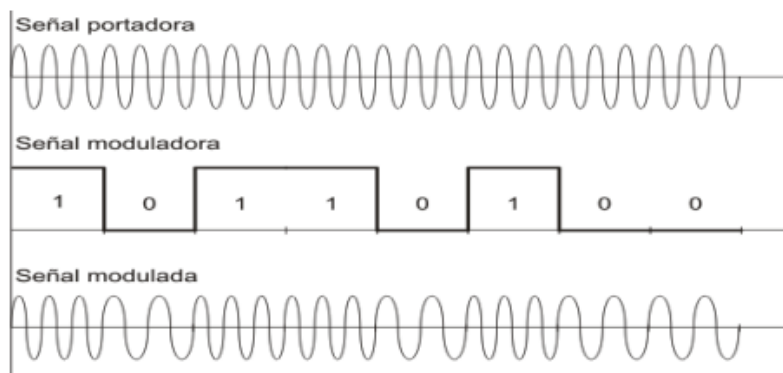


Figura 4. Modulación FSK

Fuente: <https://www.textoscientificos.com/redes/modulacion/FSK>

2.5.3 MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE FRECUENCIA GAUSSIANA (GFSK)

La modulación por desplazamiento de frecuencia gaussiana, es un tipo de modulación donde el 1 lógico es representado mediante una desviación positiva de la frecuencia de onda portadora, mientras que un 0 a través de una desviación negativa de la misma.

GFSK es una versión mejorada de la modulación FSK, en GFSK la información se pasa por un filtro gaussiano antes de modular la señal, lo que traduce en un espectro de energía mucho más estrecho de la señal modulada, y con ello permitiendo obtener mayores velocidades de transferencias de datos en un mismo canal. (Torres Garcés & Lozano Granda, 2010)

La Figura 5 muestra un filtro gaussiano para los datos, que se utiliza para que las señales de altas frecuencias al pasar al modulador no incrementen el ancho del pulso en un periodo mayor que la duración de un bit.

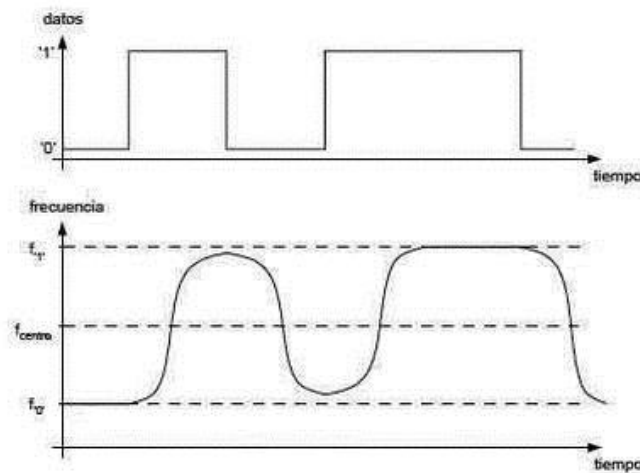


Figura 5. Filtro Gaussiano para datos

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_desplazamiento_de_frecuencia_gausiana

2.5.4 MODULACIÓN POR DESPLAZAMIENTO DE FRECUENCIA MÚLTIPLE (MFSK)

MFSK es un método de modulación de señal en el cual diferentes ráfagas discretas de tonos de audio de varias frecuencias transmiten datos digitales. Fue utilizado originalmente por agencias gubernamentales europeas y británicas a mediados del siglo XX. En ese momento se llamaba Picollo, el nombre del instrumento musical cuyos tonos agudos suenan similares a una señal MFSK que llega a través del altavoz de un receptor de radio. (Rouse, 2005)

El número de frecuencias que maneja este esquema de modulación, depende del número de bits por símbolo de la información a transmitir, por ejemplo si cada símbolo se compone de 2 bits, se empleará un total de 4 frecuencias que permitan modular la señal, es decir $M=2^n$ frecuencias y cada una de ellas separadas en Δf . (Universidad Tecnica Federico Santa Maria, 2016). Un ejemplo de funcionamiento de esta técnica de modulación, para símbolos de dos bits se muestra en la figura 6.

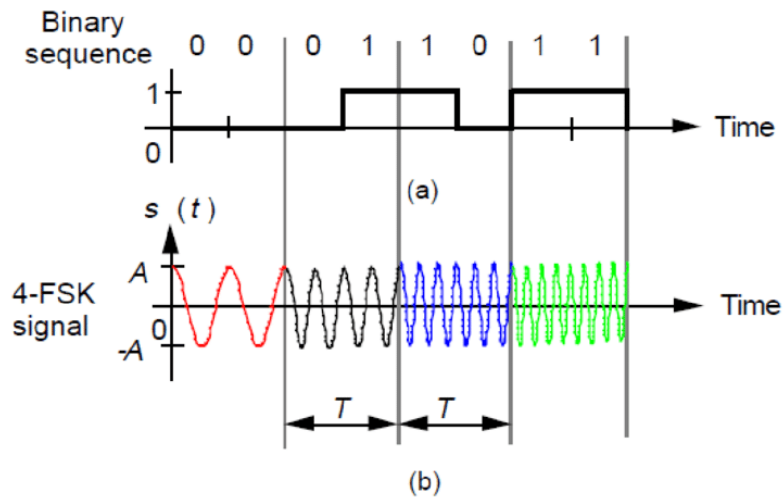


Figura 6. (a) Señal Binaria (b) Modulación 4FSK

Fuente: https://www.researchgate.net/figure/4-FSK-modulations-a-binary-signal-and-b-4-FSK-signal_fig7_321097403

2.6 ANTECEDENTES ELECTRÓNICOS

2.6.1 CHIP AX5043

Es un chip de baja potencia (transceptor) para aplicaciones de banda estrecha, es un integrado que soporta frecuencias portadoras en el rango de 433 MHz, banda ISM de 868MHz y 915 MHz. Además, contiene un inductor de un oscilador controlado por tensión (VCO) externo permitiendo frecuencias de portadoras de 27 MHz a 1050 MHz. En la figura 7 se puede observar el diagrama de bloques del chip, además se puede observar que función cumple cada uno de sus pines.

El transceptor en el chip consta de una completa interfaz RF integrado con modulador y demodulador. (On Semiconductor, 2017)

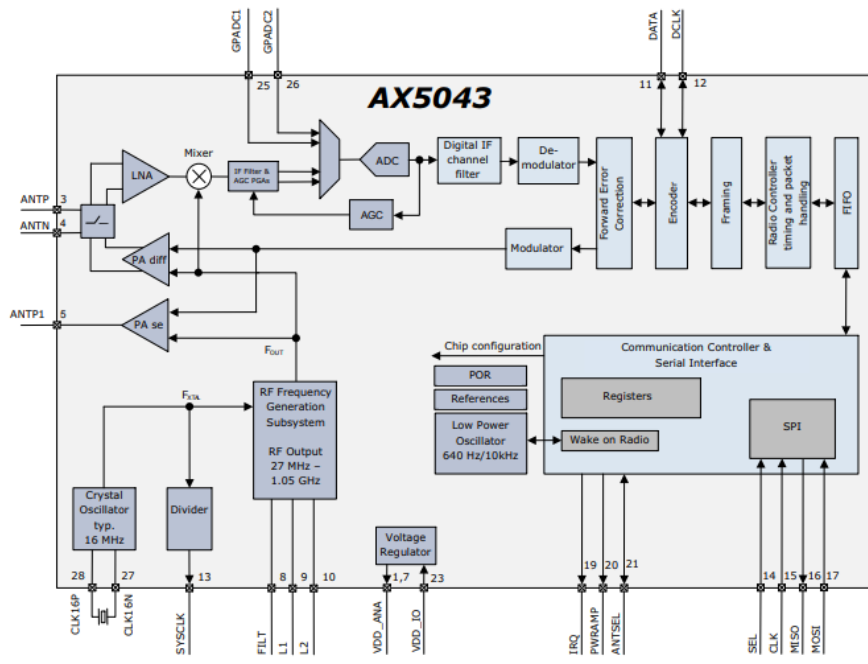


Figura 7. Diagrama de Bloques de AX5043

Fuente: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/AX5043-D.PDF>

2.6.2 MICROCONTROLADOR AX8052F100

El AX8052F100 es un microcontrolador RF de baja potencia y consumo de un solo chip utilizado en las bandas de 400-470MHz y 800-940MHz. Está optimizado para su uso en aplicaciones alimentadas por batería junto con IC de RF, también ofrece una alta integración de bloques periféricos, espacio reducido, fácil comunicación con circuitos integrados de RF con un tiempo de establecimiento ultra rápido para un bajo consumo de energía. El microcontrolador posee una alta velocidad que es altamente compatible con los estándares de la industria.

Contiene 28 pines para la conexión de módulos de RF, alimentación de 1.8V – 3.6V, frecuencia máxima de reloj de 20.2 MHz, ofrece un ancho de bus de datos de 8 bits y el rango de operación de -40°C a +85°C. Para la programación y procesamiento de información se cuenta con la interfaz SPI, UART. (Mousers Electronics, 2018)

El AX8052F100 tiene una interfaz maestra SPI especializada para el uso como una interfaz para los IC de radio. Mapea los registros del chip de radio directamente en el espacio de direcciones del X-bus.

2.6.3 CONEXIÓN DEL AX5043 AL MICROCONTROLADOR

AX8042F100

El AX5043 puede ser fácilmente conectado a un AX8052F100 o cualquier otro microcontrolador. Como se observa en la figura 8, el microcontrolador se comunica con el AX5043 a través de un archivo de registro que se implementa en el AX5043 y que se puede acceder en serie a través de un protocolo estándar Serial Peripheral Interface (SPI) industria.

El AX5043 envía y recibe datos a través del puerto SPI en los marcos. Este modo de operación estándar se denomina modo de marco. (On Semiconductor, 2017)

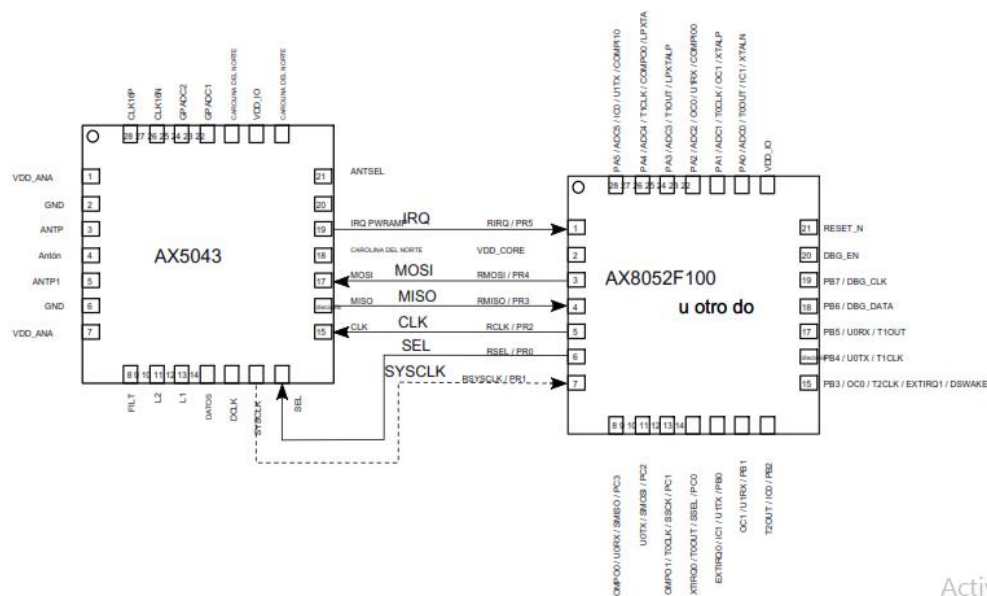


Figura 8. Conexión del módulo RF con el microcontrolador

Fuente: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/AND9347-D.PDF>

2.6.4 DVK-2-BASE KIT

La placa Base es un inicio rápido de desarrollo en aplicaciones con microcontroladores AX y chips de radio, es la plataforma de desarrollo para aplicaciones basadas en la familia de microcontroladores AX8052F1xx. El DVK es compatible con AXCode:Blocks, software de desarrollo para el PC. (On Semiconductor, 2018)

Como se observa en la figura 9 la DVK-2-Base-kit viene con:

- Placas de conector para módulos de radio
- AX8052F100 microcontrolador de ultra baja potencia
- Pantalla LCD

- botones
- Led's
- Conector de depuración AX
- Conector para 3 pilas AA
- 1 Adaptador de depuración AXDBG
- 1 cable mini USB
- 1 cable de depuración



Figura 9. DVK2-Base

Fuente: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/AND9698-D.PDF>

2.6.5 ADAPTADOR DE DEPURACIÓN AXDB

El adaptador de depuración AXDBG es la interfaz entre las placas base y la PC, es utilizado para la programación y depuración de la familia de microcontroladores AX8052F1xx. También, se conecta con el PC a través de controladores de Windows y la interfaz de software AXSDB, que luego se utiliza por otros productos de software.

AXDBG es un depurador de línea de comandos, totalmente programable gracias a las secuencias de comandos incorporado del lenguaje de control de herramientas (TCL).

Los comandos específicos de AX8052 vienen en dos formas:

- Comandos centrales implementados en la DLL del depurador, libaxsdb – 0-dll

- Comandos de conveniencia implementados en TLC en la parte superior de los comandos principales, contenidos en axbdb.tcl.

Como se observa en la figura 10 el AXDBG tiene las siguientes interfaces e indicadores:

1. Conector de enlace de depuración
2. Conector RJ45 o sistemas AX DVK heredados
3. LED verde que indica que un programa se ejecuta en el MCU
4. LED rojo que indica que el enlace de depuración está activo, MCU en modo de depuración
5. Mini interfaz de PC USB

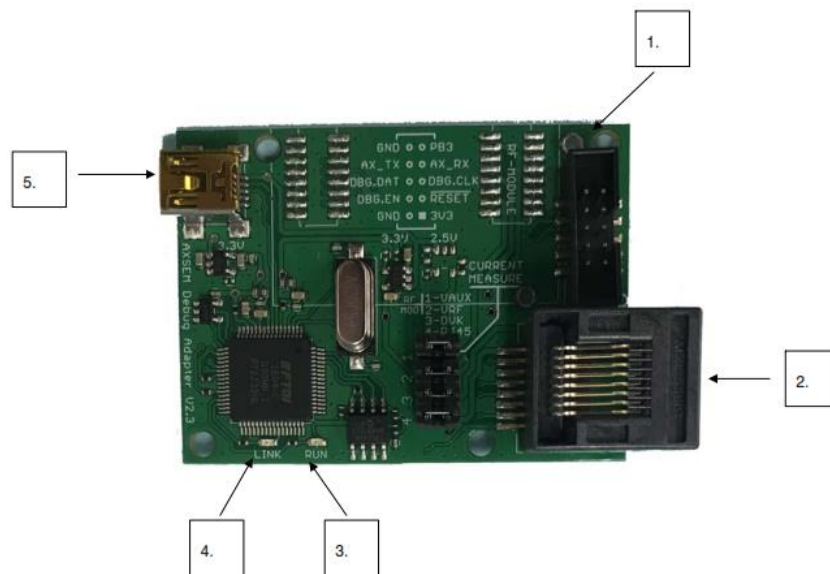


Figura 10. Adaptador de depuración AXDBG

Fuente: Autores

2.6.6 AXCODE: BLOCKS

AxCode::Blocks es el IDE gráfico gratuito de C, C++, para código de desarrollo de microcontroladores AX, creado para satisfacer las necesidades más exigentes de sus usuarios, también permite al desarrollador la opción de acceder a todas las características de depuración de los microcontroladores AX, en particular:

- Número ilimitado de puntos de quiebre.
- Acceso a todos los registros MCU AX8052F1xx, así como todos los registros del chip de radio.

- Depurar enlace UART en una ventana de depuración, sin necesidad de hardware adicional.
- SDCC C-compilador preinstalado y listo para funcionar.
(On Semiconductor, 2016)

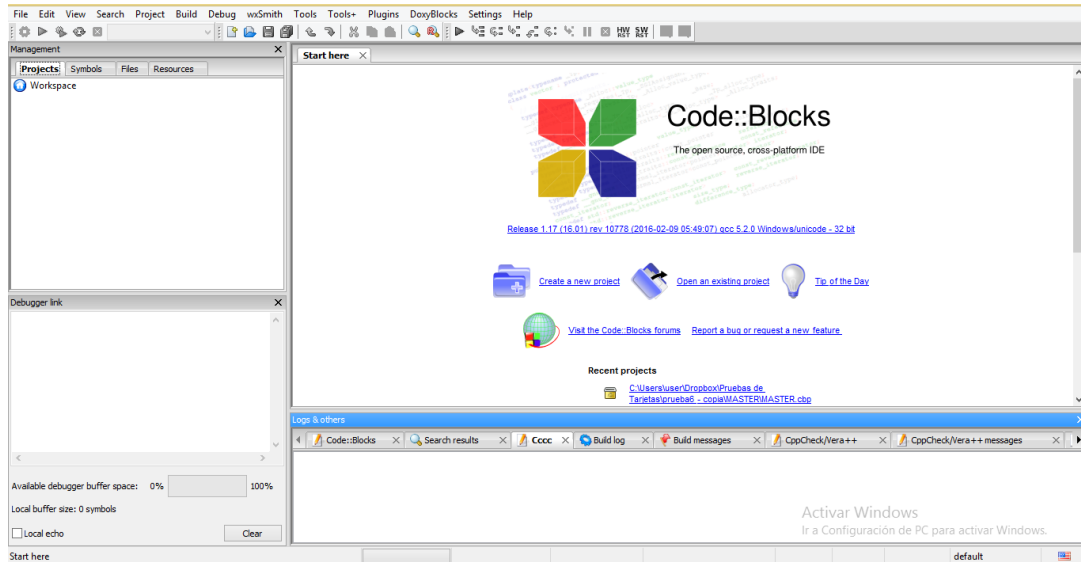


Figura 11. Entorno de desarrollo de AXCode::Blocks

Fuente: Autores

2.6.7 COMPILADOR SDCC

SDCC (Small Device C Compiler) es un compilador de código abierto distribuido bajo la licencia GPL que compila código en lenguaje C, diseñado para microprocesadores de 8 bits. La versión actual apunta a Intel microprocesadores basados en MCS51 (8031, 8032, 8051, 8052), variantes Dallas, MCU basadas en Zilog Z80, ST Microelectronics SRM8 y los PIC16 Y PIC18 de Microchips.

SDCC tiene variedad de lenguaje adecuado para utilizar varios microcontroladores y hardware subyacente de manera efectiva.

Es un compilador multiplataforma, por lo que se puede instalar en Windows, Linux y MAC.
(SOURCE FORGE, 2018)

Además, de las optimizaciones específicas de MCU, SDCC también realiza una serie de optimizaciones estándar como:

- Eliminación de la sub expresión global.

- Optimizaciones de bucle (invariante del bucle, reducción de la intensidad de las variables de inducción e inversión del bucle).
- Plegamiento y propagación constante.
- Propagación de la copia.
- Eliminación de código muerto.
- Tablas de salto para las instrucciones de cambio.

Para el back-end, SDCC utiliza un esquema de asignación de registro global que debería ser adecuado para otras MCU de 8 bits.

El optimizador de orificios ocultos utiliza un mecanismo de sustitución basado en reglas que es independiente de MCU. También permite que el código de ensamblador en línea sea introducido en cualquier lugar de una función. SDCC proporciona una opción (cyclomatic) para reportar la complejidad de una función, las mismas que pueden optimizarse aún más o codificarse de forma manual en ensamblaje de ser necesario. (SOURCE FORGE, 2018)

2.6.8 MATLAB

Matlab es un software de alto nivel, diseñado para proveer facilidades de cálculos numéricos, visualización y su programación se desarrolla en un entorno muy sencillo de utilizar. También, ofrece un entorno de desarrollo integrado IDE muy versátil con un propio lenguaje de programación (lenguaje M).

Su poder reside en el manejo eficiente de matrices, incluye su propio compilador lo cual permite extender su uso, permitiendo al usuario la capacidad de crear sus propios comandos, funciones y clases. Además, es compatible con uno de los lenguajes de programación más utilizados: C y Fortran. (Flores, 2012)

Matlab es un software matemático muy eficiente para el cálculo científico basado en matrices. Además, gracias a GUI permite la creación de interfaces de usuario.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO DE ESTUDIO

3.1.1 INVESTIGACIÓN CUALITATIVA

La utilización y aplicación de los conocimientos adquiridos, según los avances y resultados de la investigación, en donde se evalúan los datos obtenidos a partir de la evaluación aplicada a los estudiantes.

3.2 MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

3.2.1 MÉTODO INVESTIGATIVO EXPERIMENTAL

- Diseñar la interfaz gráfica de control del sistema de transmisión inalámbrico para poder brindar facilidad en el uso de los módulos respectivamente.
- Realizar las pruebas finales de la interfaz gráfica de control junto al sistema de transmisión inalámbrico.

3.3 TÉCNICAS

3.3.1 OBSERVACIÓN

En este proyecto se empleó la técnica de la observación que consiste en capturar y visualizar de forma detallada, cualquier situación o fenómeno que se produzca, en función a los objetivos de la investigación planteados con anterioridad.

3.4 INSTRUMENTOS

Para realizar este proyecto de investigación los instrumentos utilizados son los siguientes: software de diseño, paper, tesis, libros, datasheets, páginas web y materiales electrónicos adicionales para el desarrollo del sistema de transmisión inalámbrico.

3.5 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.5.1 POBLACIÓN

La población para este proyecto es un grupo de estudiantes de la Universidad Nacional de Chimborazo de la Facultad de Ingeniería de la Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la asignatura de Comunicaciones Analógicas.

3.6 PROCEDIMIENTOS

Para el desarrollo del diseño e implementación de un sistema de transmisión inalámbrico utilizando procesamiento digital aplicado al uso de TIC se efectuará el siguiente proceso a seguir en la investigación propuesta:

1. Análisis documental.
2. Evaluar las características electrónicas de chip de RF capaz de soportar modulaciones digitales.
3. Programación del sistema de transmisión y recepción inalámbrico en el software AXCode:Blocks.
4. Implementación de los recursos necesarios para el desarrollo y puesta en marcha del sistema inalámbrico.
5. Desarrollo de una aplicación para el control del sistema de comunicaciones a través de herramienta de software MATLAB.
6. Comprobación del funcionamiento completo del sistema.
7. Evaluar el desempeño del sistema con la ayuda de la medición de una señal en el tiempo y frecuencia, logrando mostrar la señal en cada proceso.

3.7 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

El sistema de transmisión inalámbrico que se planteó para mejorar el aprendizaje y habilidades de los estudiantes en el ámbito de los sistemas de comunicación digital está conformado por: desarrollo del sistema autónomo para el sistema de comunicación inalámbrico, una interfaz gráfica de control y visualización de datos desarrollada por los autores, módulo transmisor, módulo receptor y adaptador de depuración.

ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN INALÁMBRICO

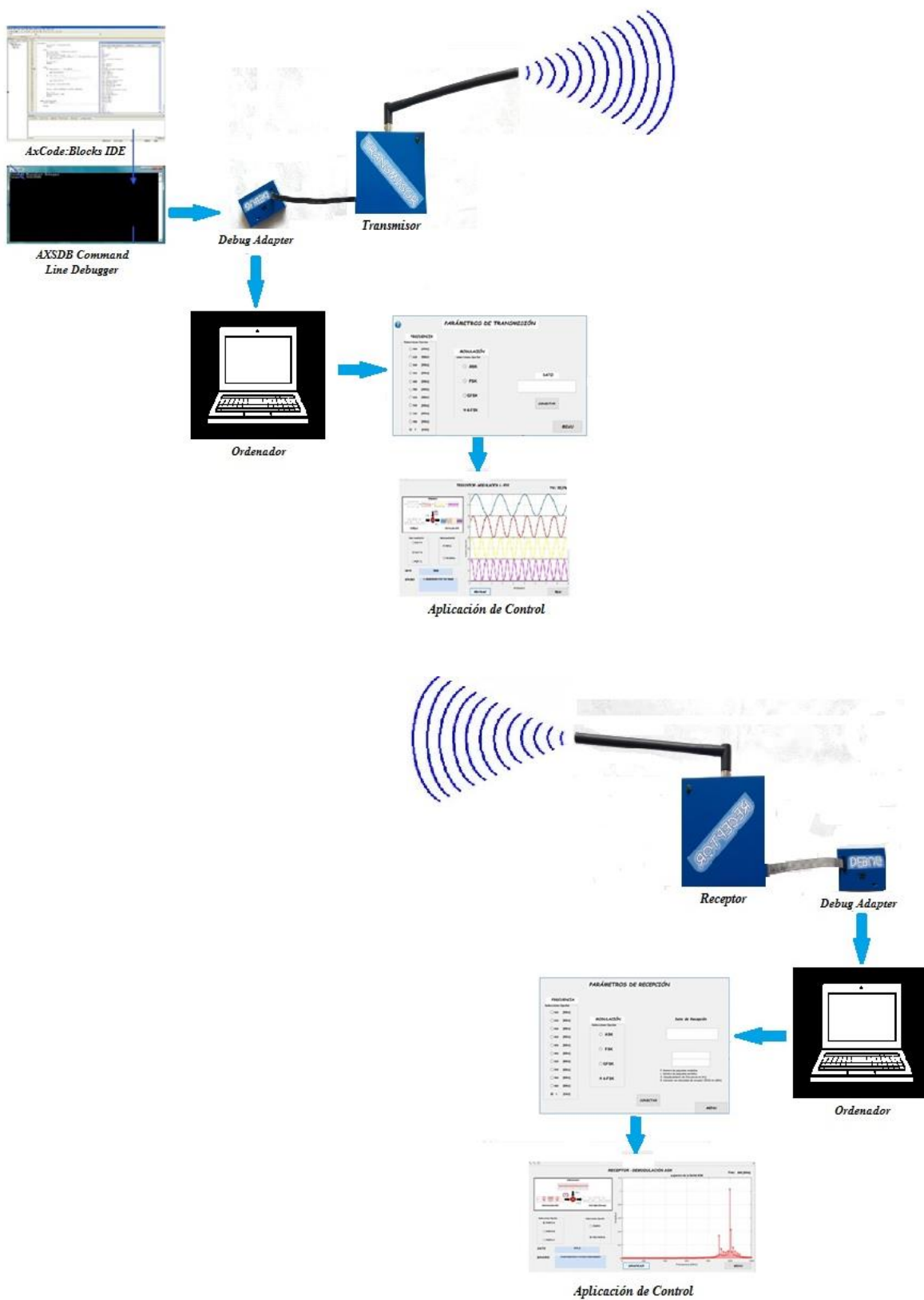


Figura 12. Diagrama general del sistema de transmisión inalámbrico

Fuente: Autores

El primer paso fue el seleccionar el transceptor de Radio Frecuencia adecuado para lograr el objetivo planteado, después de una investigación se llegó a la conclusión del uso del chip AX5043 es el apropiado ya que soporta modulaciones digitales. También se utilizó la tarjeta de evaluación DVK-2-Base como una solución de inicio rápido para el desarrollo de aplicaciones con microcontroladores y chips RF.

Como se observa en la figura 12, se muestra el diagrama general del sistema inalámbrico que cuenta con los módulos de transmisión y recepción, además de la interfaz gráfica de control que por medio del puerto serial y con la ayuda del adaptador de depuración permite la conexión entre los módulos y el ordenador, por consiguiente, la interfaz gráfica desarrollada en Matlab permite ingresar el valor de frecuencia, modulación y dato a transmitir. Además, una vez configurado el sistema se puede obtener las gráficas en función de tiempo y frecuencia en cada proceso.

3.7.1 DISEÑO DEL SISTEMA AUTÓNOMO

El sistema autónomo se desarrolló en la plataforma AxCode::Blocks, herramienta que soporta la programación en lenguaje C, C++ embebida, en la que se implementó código necesario para el funcionamiento adecuado del módulo transmisor y receptor.

3.7.1.1 SPI REGISTRO DE ACCESO

Se logra acceder a los registros a través de un periférico serial síncrono, Interfaz (SPI). La mayoría de los registros cuentan con 8 bits y se accede a ellos.

Utilizando las formas de onda como se detalla en la Figura 13, estas formas de onda son compatibles con la mayoría de los controladores maestros SPI de hardware, y se pueden generar fácilmente en el software. MISO cambia en el borde descendente de CLK, mientras que MOSI está bloqueado en el borde ascendente de CLK.

CLK (*Clock*): Es el pulso que marca la sincronización, con cada pulso de este reloj, se lee o se envía un bit.

MOSI (*Master Output Slave Input*): Salida de datos del Master y entrada de datos al Esclavo.

MISO (*Master Input Slave Output*): Salida de datos del Esclavo y entrada al Master.

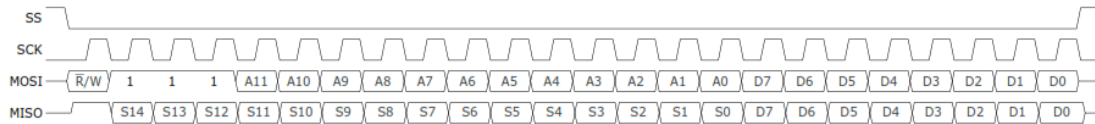


Figura 13. Acceso a la lectura y escritura a una dirección larga de SPI de 8 bits

Fuente: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/AND9347-D.PDF>

Los registros más importantes se encuentran al inicio del espacio de direcciones, es decir, en direcciones menores de 0x70 y se puede acceder a estos registros de manera más eficiente utilizando el formulario de dirección corta, que se detalla en la Figura 14.

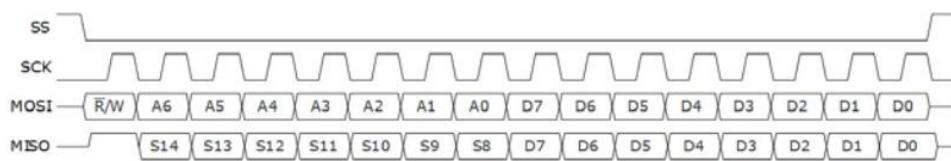


Figura 14. Acceso a la lectura y escritura de SPI de 8 bits

Fuente: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/AND9347-D.PDF>

Durante la fase de dirección del acceso, el chip genera los bits de estado más importantes, ésta característica está diseñada para acelerar la decisión del software sobre el controlador de interrupciones.

3.7.1.2 OPERACIÓN FIFO

El Chip AX5043 cuenta con un FIFO de 256 bytes. El mismo FIFO se utiliza tanto para la recepción como para la transmisión. Durante la transmisión, solo el puerto de escritura es accesible por el microcontrolador y durante la recepción, solo el puerto de lectura es accesible por el microcontrolador de lo contrario, ambos puertos son accesibles, a través del archivo de registro.

Para evitar la transmisión de datos prematuros, la FIFO está conformado por 3 punteros:

- Los datos se leen en el puntero de lectura, hasta el puntero de escritura.
- Los datos se escriben en el puntero de escritura anticipada.
- El puntero de escritura no se actualiza cuando se escriben los datos, por lo tanto, los nuevos datos no son visibles inmediatamente para el consumidor.

Al escribir el comando COMMIT en el registro FIFOSTAT se copia el puntero de escritura anticipada al puntero de escritura, haciendo que los datos escritos sean visibles para el receptor. Al escribir el comando ROLLBACK en el registro FIFOSTAT se establece el puntero de escritura anticipada en la escritura del puntero, descartando así los datos escritos a la FIFO. Durante la transmisión, el transmisor considerará datos escritos en el FIFO después del comando COMMIT y en la recepción, esta característica es utilizada por el receptor para almacenar datos de paquetes antes de que se sepa si pasa la verificación CRC.

- FIFOCOUNT reporta el número de bytes que se pueden leer sin causar un desbordamiento.
- FIFOFREE informa el número de bytes que se pueden escribir sin causar un desbordamiento.
- FIFOCOUNT y FIFOFREE no agregan hasta 256 bytes cuando hay bytes no confirmados en el FIFO, ver figura 15.

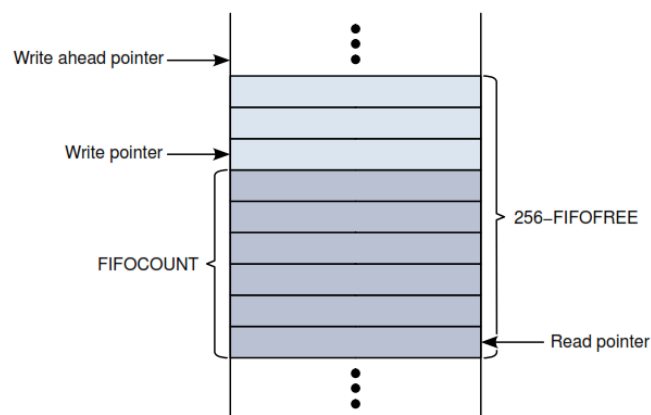


Figura 15. Puntero FIFO

Fuente: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/AND9347-D.PDF>

3.7.1.3 AUTORANGO

Como se observa en la Figura 16 muestra el diagrama de flujo del proceso de auto-rango. El rango automático comienza en el ajuste VCOR (registrar PLLRANGINGA o PLLRANGINGB); si el rango VCO del sintetizador es correcto, se debe configurar el valor de VCORA / VCORB antes de comenzar el rango automático. Se debe evitar comenzar con VCORA / VCORB <6, ya que la frecuencia del sintetizador inicial puede exceder la especificación de frecuencia máxima.

El hardware borra el bit de RNG STAR automáticamente tan pronto como finaliza el rango; el dispositivo puede estar programado para entregar una interrupción al restablecer el bit de RNG STAR.

La espera hasta que finalice el auto-rango se puede realizar al sondear el registro PLLRANGINGA o PLLRANGINGB para que RNG START sea bajo, o habilitar la interrupción IRQMPLLNRNGDONE en el registro IRQMASK1.

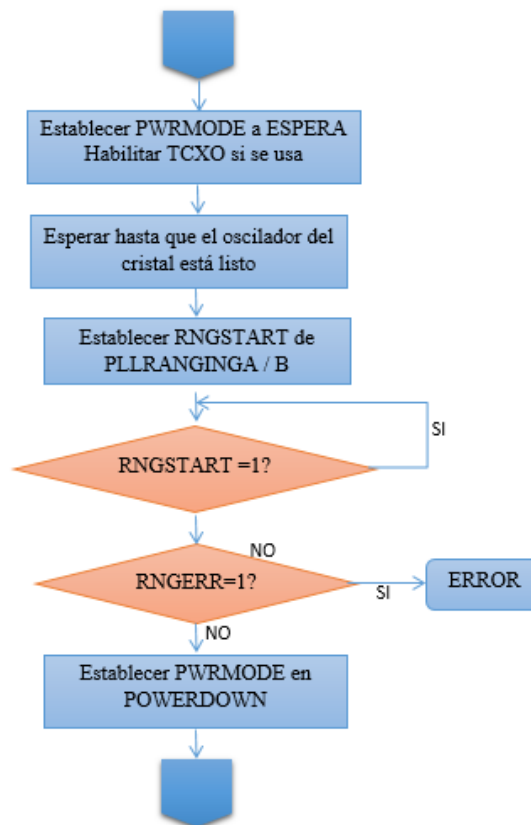


Figura 16. Diagrama de Flujo del proceso de auto-rango

Fuente: Autores

3.7.1.4 TRANSMISOR

El microprocesador primero coloca el chip en modo FULLTX, para una futura transmisión que permite la FIFO en la dirección de transmisión, pero aún no enciende el sintetizador ni ningún otro circuito de transmisión. El microprocesador ahora puede escribir el preámbulo y el paquete real en la FIFO. Otro parámetro es el preámbulo que al programar permite que se implementen estándares que especifican un preámbulo específico para ser utilizado. Ver figura 17.

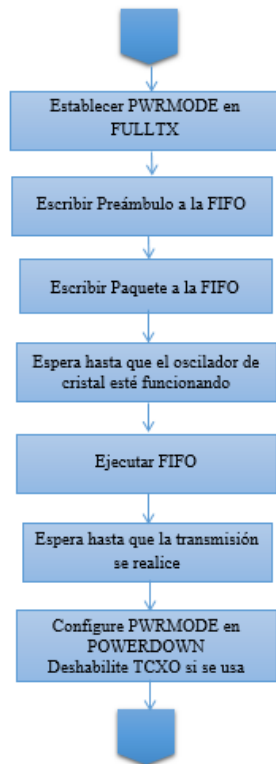


Figura 17. Diagrama de Flujo del Transmisor

Fuente: Autores

La espera de que se inicie el oscilador de cristal puede realizarse revisando el registro XTALSTATUS, o habilitando la interrupción IRQMXTALREADY en el registro IRQMASK1.

Una vez que se confirma el contenido de FIFO (escribiendo el comando Commit en el registro FIFOSTAT), el transmisor advierte que FIFO ya no está vacío. A continuación, enciende el sintetizador y lo instala (los registros TMGTXBOOST y TMGTXSETTLE determinan el tiempo). Luego, se transmiten el Preámbulo y el (los) Paquete (s), seguido del apagado del transmisor y del sintetizador. El tiempo de rampa es normalmente un tiempo de bit, pero puede ser más largo cambiando el campo SLOWRAMP del registro MODCFG4.

El registro PWRMODE debe permanecer en FULLTX hasta que la transmisión está totalmente completada. El final de la transmisión puede determinarse revisando el registro RADIOSTATE hasta que indique que está inactivo, o habilitando la interrupción del controlador de radio (bit IRQMRADIOCTRL) en el registro IRQMASK0 y configurando el controlador de radio para señalar una interrupción al final de la transmisión (bit REVMDONE del registro RADIOEVENTMASK0).

3.7.1.5 RECEPTOR

La figura 18 muestra el diagrama de flujo del receptor. Cuando el microprocesador coloca el chip en modo FULLRX, el AX5043 enciende inmediatamente el sintetizador, para lo cual resuelve los registros TMGRXBOOST y TMGRXSETTLE, estos determinan el tiempo y comienza a recibir. La recepción continúa hasta que el microprocesador cambia el registro PWRMODE.

Los datos de paquetes reales en el FIFO pueden estar precedidos y seguidos de meta-datos. Los meta-datos pueden ser una marca de tiempo al comienzo del paquete, y la intensidad de la señal, el desplazamiento de frecuencia y el desplazamiento de la velocidad de datos al final del paquete. Los metadatos que se escriben en el FIFO están controlados por el registro PKTSTOREFLAGS.

El modo Wake-on-Radio permite al AX5043 sondear periódicamente el canal de radio para una transmisión mientras usa solo muy poca energía.

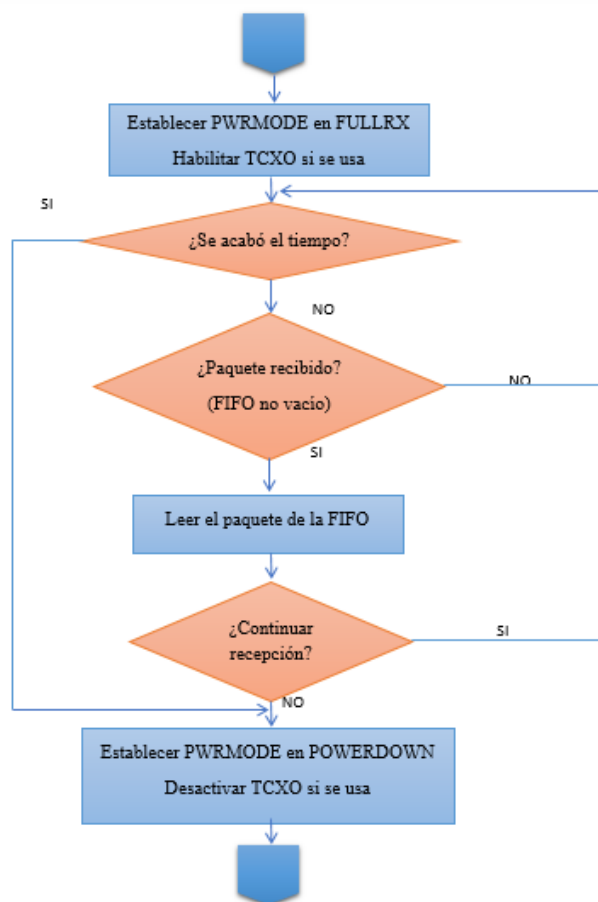
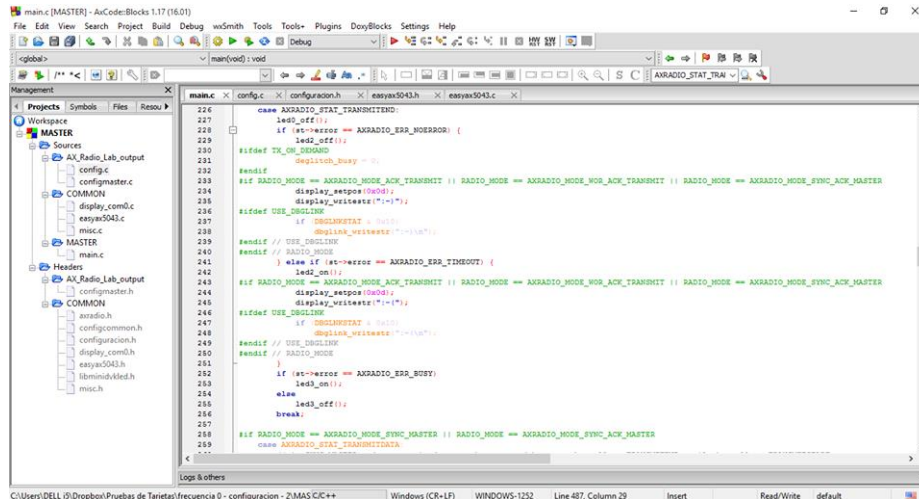


Figura 18. Diagrama de Flujo del Receptor

Fuente: Autores

3.7.2 IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO TRANSMISOR

El funcionamiento del módulo inicia con la conexión al adaptador de depuración, que permite la comunicación con la PC y por medio del puerto serial permite cargar la programación desarrollada en el software AxCode::Blocks como se observa en la figura 19, al módulo transmisor, permitiendo así su funcionamiento de forma autónoma.



```
main.c configuration.h easyx5043.h easyx5043.c
226 case AXRADIO_STAT_TRANSMITTING:
227     led3_off();
228     if (rs->error == AXRADIO_ERR_NOERROR) {
229         led3_on();
230     }
231     #ifdef TX_ON_DEBUG
232         digitalWrite(LED3, 1);
233     #endif
234     #if RADIO_MODE == AXRADIO_MODE_ACR_TRANSMIT || RADIO_MODE == AXRADIO_MODE_WOR_ACR_TRANSMIT || RADIO_MODE == AXRADIO_MODE_SYNC_ACR_MASTER
235         display_response(0x00);
236         display_welcome("1");
237     #endif
238     #ifdef USE_INTERRUPT
239         if (DIGITALSTAT == HIGH)
240             digitalWrite(LED3, 1);
241     #else if (rs->error == AXRADIO_ERR_TIMEOUT) {
242         led3_on();
243     }
244     #if RADIO_MODE == AXRADIO_MODE_ACR_TRANSMIT || RADIO_MODE == AXRADIO_MODE_WOR_ACR_TRANSMIT || RADIO_MODE == AXRADIO_MODE_SYNC_ACR_MASTER
245         display_response(0x00);
246         display_welcome("1");
247     #endif
248     #ifdef USE_INTERRUPT
249         if (DIGITALSTAT == HIGH)
250             digitalWrite(LED3, 1);
251     #endif
252     #if RADIO_MODE == AXRADIO_MODE_SYNC_MASTER || RADIO_MODE == AXRADIO_MODE_SYNC_ACR_MASTER
253         led3_on();
254     #else
255         led3_off();
256     #endif
257     #if RADIO_MODE == AXRADIO_MODE_SYNC_MASTER || RADIO_MODE == AXRADIO_MODE_SYNC_ACR_MASTER
258         case AXRADIO_STAT_TRANSMITTING:
259     #endif
260 }
```

Figura 19. Líneas de comandos en el Software AxCode::Blocks

Fuente: Autores

Transmisión y Recepción de datos

Para la comunicación entre el módulo y la Matlab se realiza por medio del puerto serial COM, junto a la conexión de adaptador de depuración. Para la recepción de datos, que permite la configuración del módulo se realiza por medio de la interfaz gráfica de control de MATLAB, que envía los parámetros elegidos para el funcionamiento del mismo. Y a la vez que el módulo es configurado con éxito inicia la transmisión del dato ingresado por el usuario.

Implementación



Figura 20. Implementación del módulo Transmisor

Fuente: Autores

Diagrama de Flujo

Como se observa en la Figura 21, cuando se conecta el módulo transmisor al depurador, internamente se inicia un proceso de condición en el cual al existir comunicación por medio del puerto serial con la aplicación de control desarrollada en Matlab, el módulo está a la espera de recibir los valores de modulación, frecuencia y dato a transmitir; caso contrario si no existe comunicación por el puerto serial, se indica un mensaje de error. Otro proceso de condición se aplica al ingreso del dato el mismo que debe estar en un rango de 1 a 20 caracteres, en caso de no cumplir se indica un mensaje de error, si la condición es verdadera la trama que contiene la información de frecuencia, modulación y dato, pasa al módulo transmisor por medio del depurador y a su vez queda configurado con éxito y listo para operar.

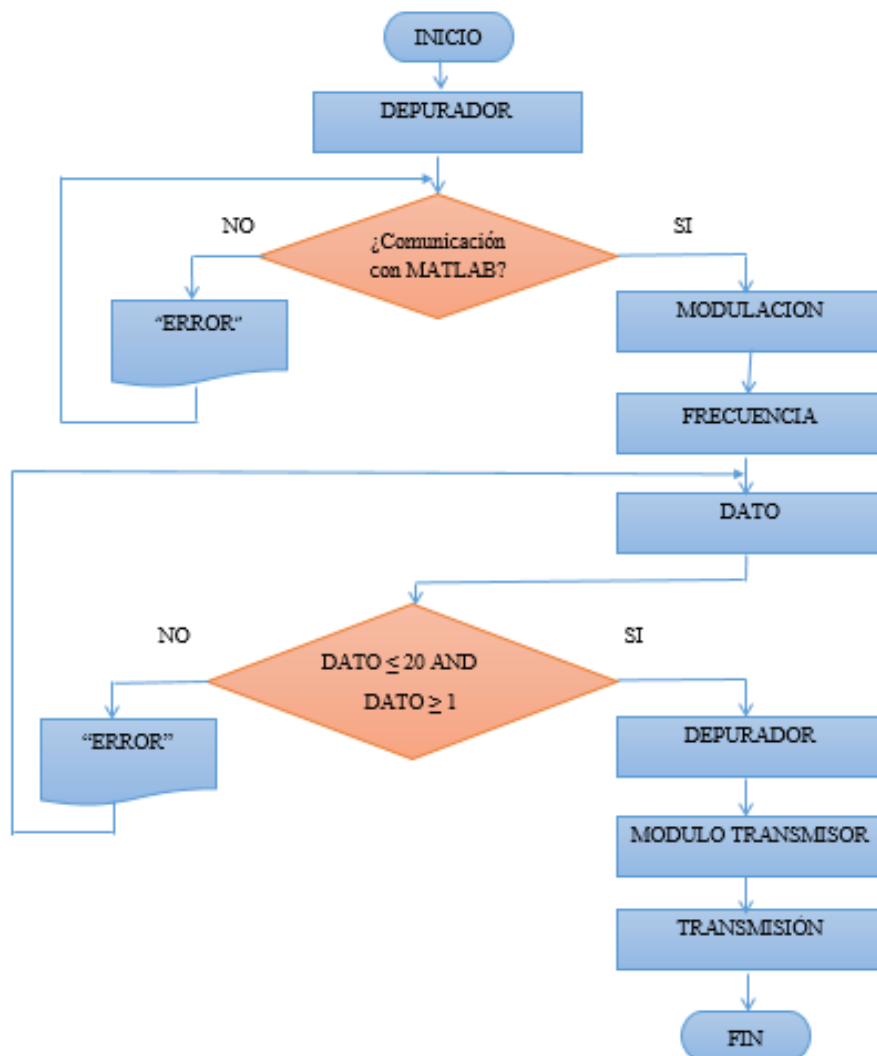


Figura 21. Diagrama de Flujo de Funcionamiento del módulo Transmisor

Fuente: Autores

Diagrama de Flujo

Como se observa en la Figura 24, cuando se conecta el módulo receptor al depurador, internamente se inicia un proceso de condición en el cual al existir comunicación por medio del puerto serial con la aplicación de control desarrollada en Matlab, el módulo está a la espera de recibir los valores de modulación y frecuencia; caso contrario si no existe comunicación por el puerto serial, se indica un mensaje de error. Otro proceso de condición se da en los parámetros de frecuencia y modulación que deben ser iguales a los del transmisor para que exista sincronismo y por ende la comunicación, si este es el caso se inicia la recepción de datos, caso contrario indica al usuario un mensaje de error solicitando un ingreso nuevamente de los parámetros de frecuencia y modulación.

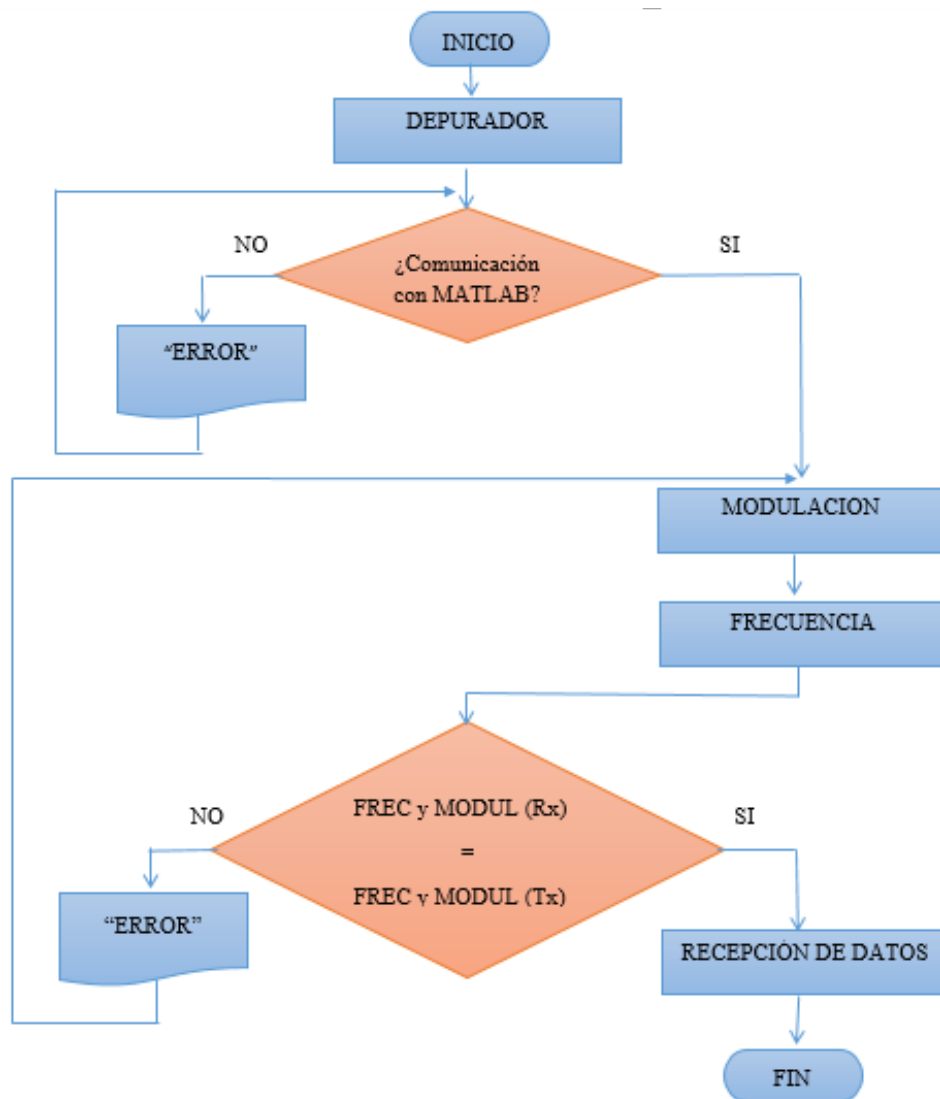


Figura 24. Diagrama de Flujo de Funcionamiento del módulo Receptor

Fuente: Autores

3.7.4 DISEÑO DE LA INTERFAZ GRÁFICA DE CONTROL DEL SISTEMA

En la interfaz se visualiza los datos y el respectivo control del sistema, se utilizó el software GUIDE MATLAB, una interfaz gráfica muy útil y eficiente.

Por medio de comandos y botones propios del software se puede realizar las diferentes interfaces para poder visualizar datos obtenidos de los módulos.

La pantalla principal cuenta con dos botones: Transmisor y Receptor. Al seleccionar cualquiera de ellos les va a transportar a otras ventanas que se puede ingresar parámetros de configuración del transmisor o receptor, como se indica en la figura 25.



Figura 25. Pantalla principal

Fuente: Autores

El sistema cuenta con una interfaz de configuración de parámetros de transmisión como se observa en la figura 26, en la cual el usuario puede ingresar el valor de frecuencia, modulación y dato a enviar. Además, una vez seleccionado las opciones escogidas, se visualizará un mensaje de “configuración exitosa”.



Figura 26. (a) Interfaz de parámetros de Transmisión (b) Mensaje de configuración exitoso

Fuente: Autores

Por otra parte, se activará un botón graficar al lado de la modulación elegida, al seleccionar se mostrará otra ventana en la cual se podrá obtener diferentes gráficas en función del tiempo y frecuencia, como se indica en la figura 27.

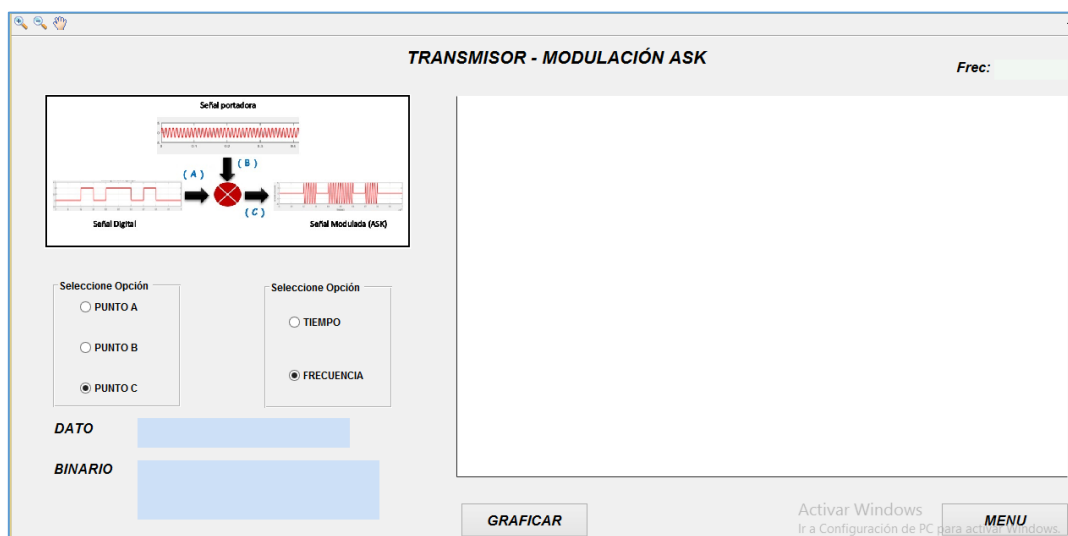


Figura 27. Interfaz de gráficas en la Transmisión

Fuente: Autores

El sistema cuenta con otra interfaz de configuración de recepción, en la cual el usuario ingresa el valor de frecuencia y modulación, de modo que en la ventana se observará el dato que se recibe en ese instante como se indica en la figura 28. También se tiene un control de errores sobre los parámetros de recepción, que, en caso de ser erróneos se puede decir que no coinciden con los del transmisor se indica un mensaje: “LOS PARÁMETROS INGRESADOS NO

COINCIDEN CON LOS DEL TRANSMISOR, ELIJA LOS CORRECTOS”, por lo cual el usuario deberá volver a elegir los correctos, para iniciar con la recepción.

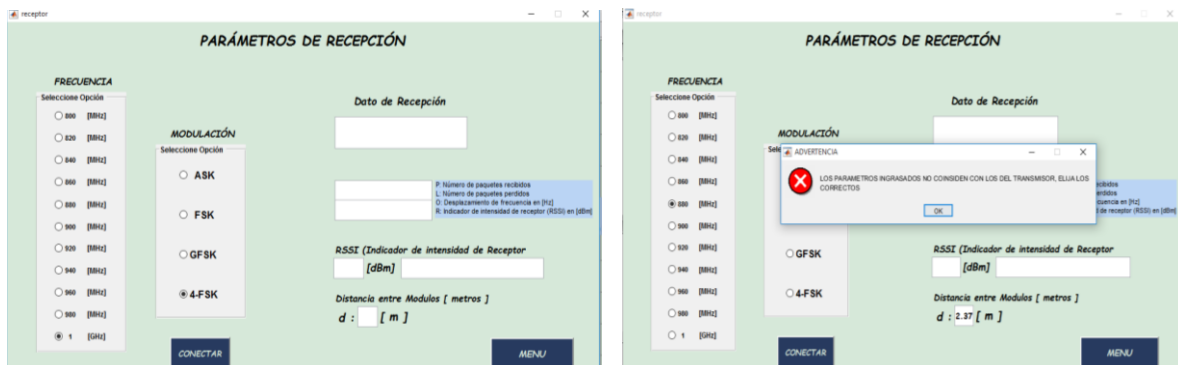


Figura 28. (a) Interfaz de parámetros de Recepción (b) Control de errores

Fuente: Autores

Además, se activará un botón graficar al lado de la modulación elegida, al seleccionar dicho botón, se mostrará otra ventana en la cual se podrá obtener diferentes gráficas en función del tiempo y frecuencia, como se indica en la figura 29.

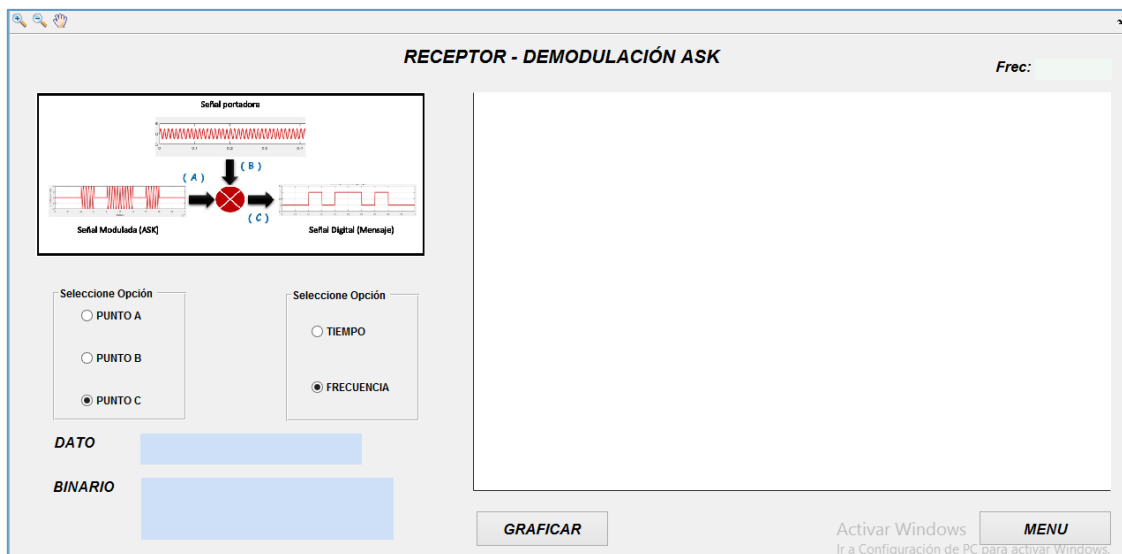


Figura 29. Interfaz de gráficas en la Recepción

Fuente: Autores

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS EXPERIMENTALES

El presente capítulo muestra las pruebas a las que se expuso el sistema, para determinar el alcance de los módulos a las diferentes modulaciones y pruebas para determinar la eficiencia del sistema de comunicación inalámbrico con la ayuda de una evaluación a la cual se sometieron los estudiantes de la Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de Quinto semestre.

4.2. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Para poder comprobar la eficiencia del sistema de comunicación inalámbrico, se utilizó una guía de práctica, basada en la modulación FSK en la que se planteó 12 literales a evaluar a los estudiantes de la carrera de electrónica y telecomunicaciones.

Para poder analizar el sistema completo se utilizó dos grupos de estudiantes, donde los módulos fueron examinados y manipulados, por los mismos.

4.3. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICO

El análisis empieza con las características del sistema, opera un rango de frecuencias de 800 MHz a 1GHz, con la ayuda de la aplicación de control. Además, se puede determinar la distancia de alcance del sistema en función del valor de indicador de fuerza de señal recibida (RSSI).

Soporta las siguientes modulaciones digitales:

- ASK
- FSK
- GFSK
- 4-FSK

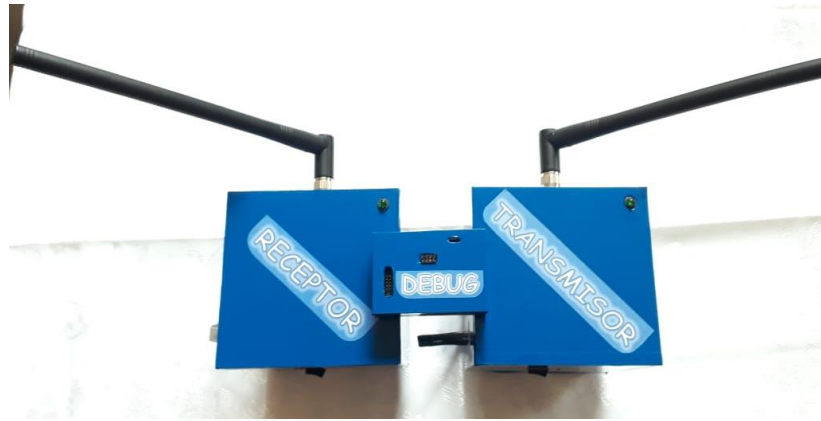


Figura 30. Módulos del sistema de comunicación

Fuente: Autores

La potencia de la señal recibida será:

$$RSSI[dBm] = -10n \log_{10}d + A[dBm] \quad (1)$$

Donde n es la constante de perdida, d es la distancia entre el transmisor y el receptor en metros y A es el valor del RSSI de la antena receptora a una distancia de 1m con respecto al transmisor.

Despejando:

$$d = 10^{-\frac{RSSI - A}{10n}} \quad (2)$$

De las mediciones de RSSI a diferentes distancias con la ayuda del sistema de comunicación inalámbrico, se obtuvieron los siguientes resultados:

- **ASK**

En la tabla 1, se muestran los valores de RSSI obtenidos a 5 diferentes distancias con la modulación ASK, cuyos valores permiten determinar el valor de n (constante de perdida), dicho valor permite calcular un valor aproximado de la distancia entre los dos módulos.

Distancia en metros [m]	1	2	3	4	5
RSSI (dBm) - ASK	-53	-66	-71	-72	-84
	-53	-67	-74	-73	-84
	-51	-64	-74	-75	-82
	-55	-65	-75	-74	-84
	-54	-67	-75	-75	-81

Tabla 1. Valores de RSSI medidos para diferentes distancias con la modulación ASK

Fuente: Autores

- **FSK**

En la tabla 2, se muestran los valores de RSSI obtenidos a 5 diferentes distancias con la modulación FSK, cuyos valores permiten determinar el valor de n (constante de pérdida), dicho valor permite calcular un valor aproximado de la distancia entre los dos módulos.

Distancia en metros [m]	1	2	3	4	5
RSSI (dBm) - FSK	-44	-51	-61	-62	-66
	-45	-56	-61	-61	-65
	-44	-56	-61	-62	-67
	-45	-57	-62	-61	-66
	-44	-56	-63	-63	-66

Tabla 2. Valores de RSSI medidos para diferentes distancias con la modulación FSK

Fuente: Autores

- **GFSK**

En la tabla 3, se muestran los valores de RSSI obtenidos a 5 diferentes distancias con la modulación GFSK, cuyos valores permiten determinar el valor de n (constante de pérdida), dicho valor permite calcular un valor aproximado de la distancia entre los dos módulos.

Distancia en metros [m]	1	2	3	4	5
RSSI (dBm) - GFSK	-42	-52	-67	-62	-66
	-42	-56	-73	-62	-65
	-43	-56	-74	-64	-64
	-43	-55	-75	-63	-66
	-43	-56	-77	-63	-64

Tabla 3. Valores de RSSI medidos para diferentes distancias con la modulación GFSK

Fuente: Autores

- **4FSK**

En la tabla 4, se muestran los valores de RSSI obtenidos a 5 diferentes distancias con la modulación 4FSK, cuyos valores permiten determinar el valor de n (constante de pérdida), dicho valor permite calcular un valor aproximado de la distancia entre los dos módulos.

Distancia en metros [m]	1	2	3	4	5
RSSI (dBm) - 4FSK	-46	-62	-73	-66	-67
	-44	-62	-72	-66	-66
	-43	-62	-71	-67	-66
	-45	-62	-72	-67	-67
	-45	-62	-73	-65	-67

Tabla 4. Valores de RSSI medidos para diferentes distancias con la modulación 4FSK

Fuente: Autores

En nuestro caso el valor de n se obtiene a partir de los valores de RSSI que se muestran en las tablas mencionadas anteriormente y con ayuda de la ecuación 3 se obtiene la constante de pérdida, dichos resultados se muestran en la tabla 5.

$$n = -\frac{RSSI-A}{10 \log(d)} \quad (3)$$

Modulaciones	n
ASK	4.2
FSK	3
GFSK	3.2
4FSK	3.15

Tabla 5. Constante de pérdida para cada modulación digital.

Fuente: Autores

4.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Para evaluar los resultados se elaboró una guía de práctica, que fue aplicada a los estudiantes de Quinto semestres de la carrera de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, se aplicó a dichos estudiantes ya que en ese nivel de la carrera tienen conocimiento de modulaciones analógicas y están en la capacidad de poder desarrollar la modulación FSK. Además, este tipo de modulación es muy parecida a la FM con la única diferencia de que la información no es una señal analógica al contrario es una señal digital (0 y 1).

El método de evaluación del sistema consta de 12 literales, con una puntuación de 2 puntos cada uno, para su validez se considera el puntaje obtenido en cada uno de ellos. Se puede

observar en el Anexo 4 la actividad de evaluación aplicada a los estudiantes, sin el uso del sistema de comunicación inalámbrico.

En el Anexo 5 se puede apreciar la mejora en el puntaje de los respectivos literales, también en el literal 6 se expone de manera más detallada los resultados obtenidos con los estudiantes, aplicando el sistema de comunicación inalámbrico.

Para poder comprobar si la investigación e implementación fue factible, se realizó el cálculo de la distribución chi cuadrado, para ver si existe o no dependencia de las variables que se van a mencionar. En la tabla 6, se resume los valores obtenidos en la prueba realizada a los estudiantes y se puede observar valores de contingencia de Chi-Cuadrado que ayudarán a contrastar los valores observados con los valores esperados de acuerdo a la hipótesis nula.

	Pruebas Manuales	Pruebas con el Sistema	Subtotal
Grupo 1	12,1	20,4	32,5
Grupo 2	13,3	20,3	33,6
Subtotal	25,4	40,7	66,1

Tabla 6. Tabla de contingencia de Chi- cuadrado, valores observados.

Fuente: Autores

En la tabla 7, se pueden observar los valores esperados calculados a partir de los valores observados que se muestran en la tabla 6.

	Pruebas Manuales	Pruebas con el Sistema	Subtotal
Grupo 1	12,5	20,0	32,5
Grupo 2	12,9	20,7	33,6
Subtotal	25,4	40,7	66,1

Tabla 7. Tabla de contingencia de Chi- cuadrado, valores esperados.

Fuente: Autores

Después, se procede a evaluar la hipótesis a través de la obtención del valor de Chi- Cuadrado, donde los valore de error mínimo y grados de libertad serán de 0,0001 y 2, respectivamente.

H₀: El sistema de transmisión inalámbrico utilizando procesamiento digital aplicado al uso de TIC permitirá mejorar las habilidades de aprendizaje de los estudiantes en el área de las comunicaciones digitales.

	r	2
	k	2
Grados de Libertad	(r-1)(k-1)	1
Nivel de significación	α	0,0001
X2Tabla	X2	15,14
Probabilidad	P	0,84
X2Prueba		0,04

Tabla 8. Tabla de contingencia de Chi- cuadrado, calculado.

Fuente: Autores

Para dar por aceptada la hipótesis el valor de la prueba del Chi cuadrado X2Prueba debe ser menor que la X2Tabla. Por lo tanto, el sistema presentado permite mejorar las habilidades de aprendizaje de los estudiantes en el área de las comunicaciones digitales, como se observa en la tabla se tiene un incremento de 17,39 % en las habilidades de aprendizaje de los estudiantes.

	Escenario A	Escenario B	Porcentaje de incremento
Grupo 1	27,50%	46,36%	18,86%
Grupo 2	30,23%	46,14%	15,91%
Subtotal	28,86%	46,25%	17,39%

Tabla 9. Porcentaje de adquisición de habilidades de aprendizaje.

Fuente: Autores

4.5. DISCUSIÓN

En la actualidad el avance y la demanda tecnológica en el ámbito educativo, exige equipos precisos y de bajo costo.

El sistema de transmisión inalámbrico con fin educativo, está compuesto por dos módulos, un transmisor y otro receptor. Además, cuenta con una interfaz gráfica de control amigable y sencilla de utilizar, también incorpora 4 diferentes tipos de modulaciones digitales que permite obtener gráficas en función del tiempo y frecuencia, logrando mostrar la señal en cada proceso. El sistema cuenta con una estructura básica y de fácil manejo que brinda comodidad, así mismo cuenta con un costo accesible al público en comparación a los ofertados en el mercado.

El resultado obtenido después de la evaluación del sistema de transmisión mostró un incremento del 17,39 % en las habilidades de aprendizaje, lo cual indica una gran mejora en el conocimiento de los estudiantes sometidos a la prueba.

El trabajo desarrollado constituye la base para futuros trabajos en el área de las comunicaciones digitales, dando lugar a sistemas más complejos con la intervención de la red, en el que puedan ser manipulados cada uno de los módulos.

Se propone en una siguiente modificación el diseño y elaboración de un AXDBG (adaptador de depuración que permite la interfaz entre el PC y los módulos) adicional que permita más dependencia entre los módulos del sistema.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los objetivos planteados y con los resultados obtenidos, se han llegado a las siguientes conclusiones:

Se desarrolló un sistema de comunicación inalámbrico utilizando procesamiento digital, con una interfaz sencilla y amigable para los usuarios desarrollada en Matlab, para que facilite el aprendizaje de los estudiantes en el área de las comunicaciones digitales.

El sistema de comunicación inalámbrico opera en la banda de frecuencias de 800[MHz] a 1[GHz] lo cual permite que el sistema tenga un alcance considerable de trabajo de 35 metros.

Se determinó que la implementación de la aplicación de control realizada en el software Matlab facilitó el acople con el software Code:Blocks que controla los transceptores, porque la construcción del sistema propuesto está acorde con las necesidades del estudiante presentando una interfaz gráfica amigable que facilita el aprendizaje y ayuda a diferenciar las distintas modulaciones digitales.

La implementación del software del control del sistema, se caracterizó porque las pruebas realizadas demostraron el buen funcionamiento del sistema, que garantizan el cumplimiento de los requerimientos establecidos, además las pruebas realizadas con los estudiantes en la etapa de evaluación del sistema comprobaron mejoras en las habilidades de aprendizaje, llegando a hacer una parte complementaria en la enseñanza a los estudiantes.

El sistema de comunicación se halla implementado mediante el uso de dispositivos transceptores, tarjeta base DVK-2, sistemas de comunicación Serial-USB; todos ellos basados en el uso de la comunicación digital acoplado acorde a la necesidad del sistema. Esto se ha logrado en base a la visión general del sistema que integra tres módulos: Transmisor, Receptor y adaptador de depuración, cada uno con sus respectivos análisis de procesos específicos, tipo de tecnología y estándar de comunicación a utilizarse.

5.2. RECOMENDACIONES

- Los dispositivos electrónicos poseen características de funcionamiento, por lo que es recomendable efectuar un estudio de los datasheet u hojas de datos técnicos, para de esta manera poder utilizarlos de forma adecuada y evitar daños posteriores en los mismos.
- Es recomendable realizar una capacitación del uso del sistema, tanto en la parte de instalación como montaje además del uso del software de control, de esta manera se previene un mal funcionamiento del sistema de comunicación a causa de equivocaciones en la implementación inicial del mismo.
- La fuente de alimentación de los módulos del sistema es a base de tres pilas AA por lo que se recomienda sustituirlas en un tiempo considerable para mantener el sistema en su correcto funcionamiento.
- Para el manejo del sistema de comunicación inalámbrico digital en cualquier ordenador se recomienda instalar todo el software y controladores necesarios para su correcto funcionamiento, así como instalar la aplicación de control en el ordenador a utilizar.

BIBLIOGRAFÍA

- Barchiesi, J. V. (2008). *Introducción al Procesamiento Digital de Señales* (Ediciones Universitarias de Valparaíso ed.). Valparaíso, Chile: Universitarias de Valparaíso.
- Blázquez, J. P. (s.f.). *Introducción a los sistemas de Comunicaciones Inalámbricas*. Universitat Oberta Catalunya, Catalán.
- Contreras, O. J. (Abril de 2012). *Diseño e Implementación de Transmisor y Receptor con la tecnología de multiplexación por División de frecuencias Ortogonales (OFDM)*. Obtenido de <http://159.90.80.55/tesis/000155016.pdf>
- Couch, L. W. (2008). *Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos* (Séptima ed.). México, México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Flores, S. I. (2012). *Aplicación del programa MATLAB en la resolución de ecuaciones diferenciales aplicado a la materia de Cálculo Tres*. Guayaquil, Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/8531/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-202.pdf>
- García Rojas, J. D., & Paba Suarez, F. A. (Junio de 2009). *Análisis de Modulación y Demodulación en Telecomunicaciones por medio del Software VISSIM/COMM, dirigido hacia métodos de detección de errores*. Obtenido de <https://docplayer.es/80262297-Analisis-de-modulacion-y-demodulacion-en-telecomunicaciones-por-medio-del-software-vissim-comm-dirigido-hacia-metodos-de-deteccion-de-errores.html>
- Íñiguez Pineda, C. F., & Íñiguez Pineda, S. M. (Diciembre de 2008). *Diseño e Implementación de un Transmisor y Receptor Digital de corto alcance*. Obtenido de http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/2176/3/I%C3%B1iguez%20Pineda%20C%C3%A9sar%20Fernando_I%C3%B1iguez%20Servio.pdf
- Mousers Electronics. (Mayo de 2018). *AX8052F100*. Obtenido de Ultra-Low Power Microcontroller : <https://www.mouser.ec/datasheet/2/308/AX8052F100-D-782047.pdf>
- On Semiconductor. (Agosto de 2016). *AxCode::Blocks Quick*. Obtenido de <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/AND9371-D.PDF>
- On Semiconductor. (Febrero de 2017). *ON Semiconductor*. Obtenido de AX5043 Programming Manual: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/AND9347-D.PDF>
- On Semiconductor. (Febrero de 2018). *DVK-2 Quick Start Guide* . Obtenido de <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/AND9698-D.PDF>
- Preciado Romero, A., Lopez Rubiano, E. Y., & Méndez Murillo, J. G. (Enero de 2011). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN INTERCOMUNICADOR INALÁMBRICO*. Obtenido de http://bibliotecadigital.usb.edu.co:8080/bitstream/10819/2960/1/intercomunicador_inalambrico_preciado_2011.pdf

- Rouse, M. (Septiembre de 2005). *MFSK (multiple frequency shift keying)*. Obtenido de <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/MFSK>
- Santiana, J. G. (30 de Octubre de 2014). *Desarrollo de un modem utilizando la modulación D-QPSK sobre la plataforma FPGA de ALTERA*. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/2738/1/T-UCSG-POS-MTEL-28.pdf>
- SOURCE FORGE. (14 de Octubre de 2018). *SDCC - Compilador de C para dispositivos pequeños*. Obtenido de ¿Qué es SDCC?: <http://sdcc.sourceforge.net/>
- SOURCE FORGE. (Diciembre de 2018). *SDCC Compiler User Guide*. Obtenido de <http://sdcc.sourceforge.net/doc/sdccman.pdf>
- Torres Garcés, A. X., & Lozano Granda, E. R. (2010). *Diseño y construcción de un robot de batalla controlado mediante dispositivo Bluetooth*. Obtenido de <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/384/1/38T00193.pdf>
- Trinidad, R. E. (Diciembre de 2011). Teoría de las Telecomunicaciones. En R. E. Trinidad, *Teoría de las Telecomunicaciones* (págs. 90-95). México. Obtenido de <https://tecomunicacion.webcindario.com/Archivos/Unidad%20II.pdf>
- Universidad Tecnica Federico Santa Maria. (2016). *Comunicaciones Digitales L.Couch II*. Obtenido de http://www2.elo.utfsm.cl/~elo341/ComDig04_HC.pdf

ANEXOS

ANEXO 1

Diseño e implementación de los módulos de comunicación inalámbrica y aplicación de control.

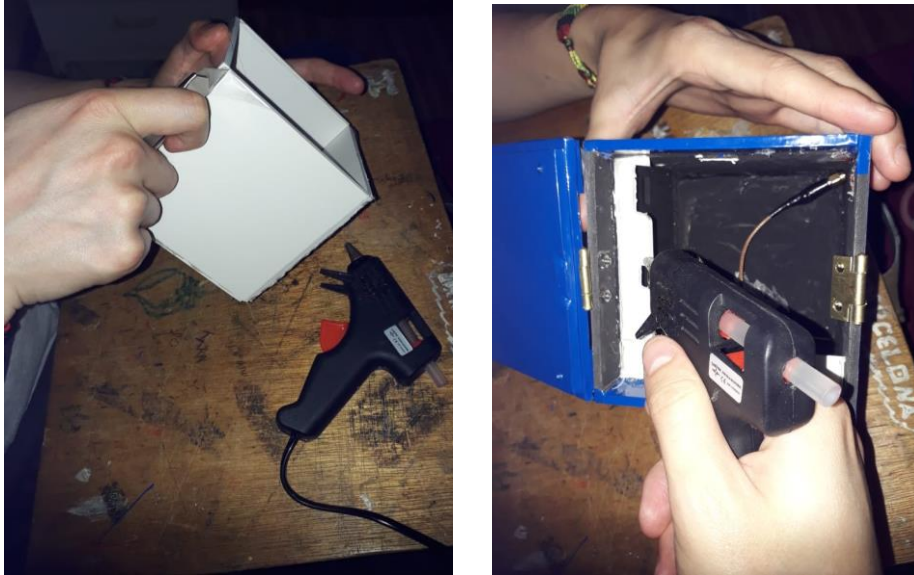


Figura 31. Elaboración del chasis para los módulos TX y RX

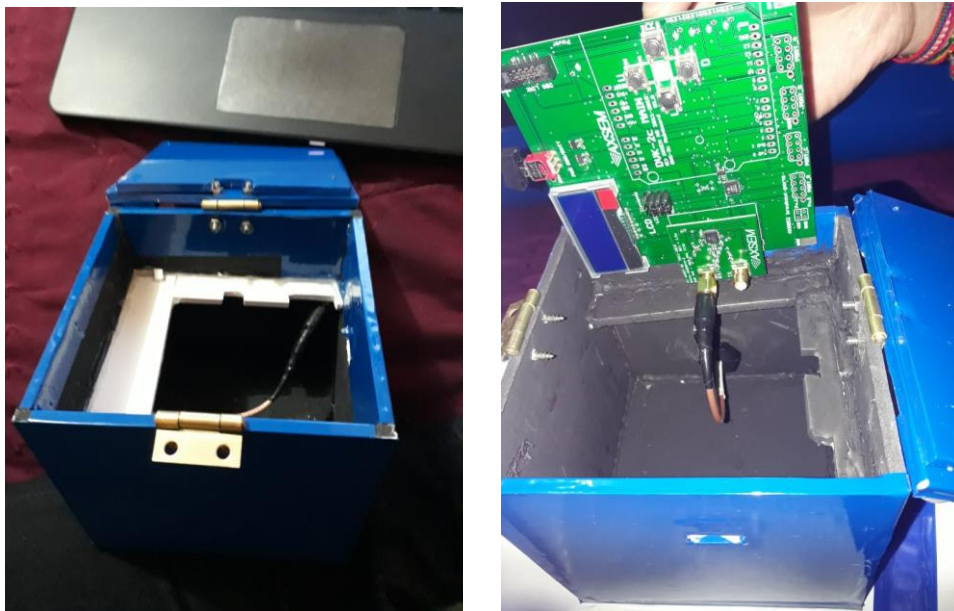


Figura 32. Adaptación de los módulos en el chasis



Figura 33. Implementación de los módulos TX y RX en el chasis



Figura 34. Sistema de Comunicación Inalámbrico

ANEXO 2

Pruebas con el sistema de comunicación inalámbrico Grupo 1



Figura 35. Guía de Práctica aplicada al Grupo 1



Figura 36. Explicación del manejo de la aplicación de control



Figura 37. Pruebas del sistema de comunicación con el Grupo 1

Pruebas con el sistema de comunicación inalámbrico Grupo 2



Figura 38. Guía de práctica aplicada al Grupo 2



Figura 39. Explicación del manejo de la aplicación de control



Figura 40. Manipulación de la aplicación de control, configuración de TX



Figura 41. Configuración de RX



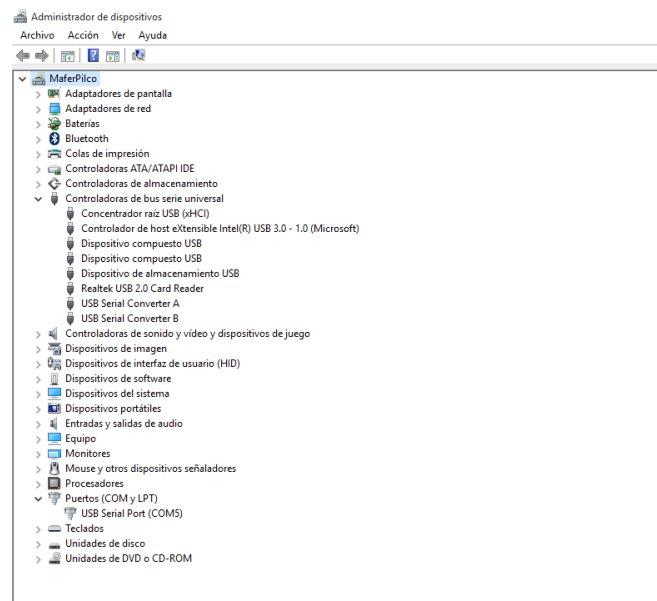
Figura 42. Verificación de datos obtenidos en el software

ANEXO 3

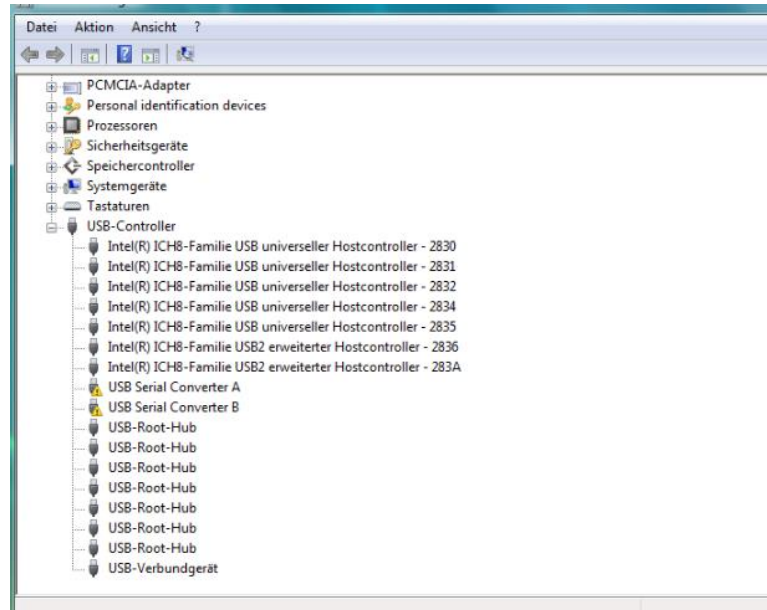
MANUAL DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN INALÁMBRICO UTILIZANDO PROCESAMIENTO DIGITAL

Para el correcto funcionamiento del sistema de transmisión debe seguir las siguientes instrucciones:

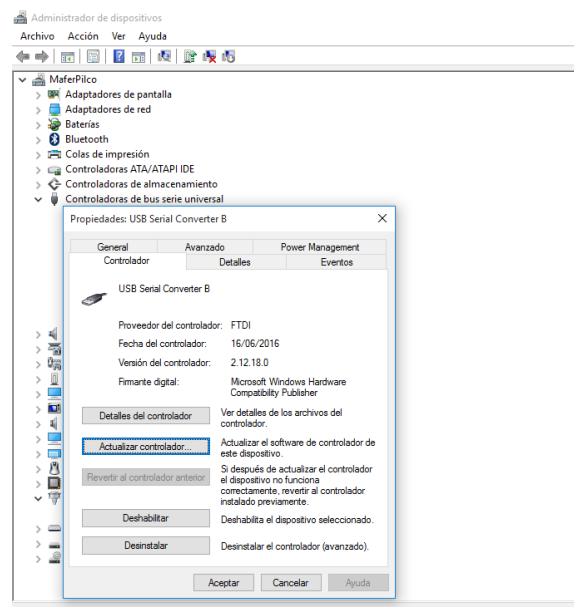
1. Primero instalar el paquete de software para Windows AX8052, que contiene AXSDBG que permite la interfaz entre las placas y la PC. Revisar el siguiente enlace: [https://www.onsemi.com/pub/Collateral/AX8052-IDE%20SOFTWARE%20PACKAGE%20\(WINDOWS%20INSTALLER\).EXE](https://www.onsemi.com/pub/Collateral/AX8052-IDE%20SOFTWARE%20PACKAGE%20(WINDOWS%20INSTALLER).EXE)
2. Verificar que el software se ha instalado correctamente, conectar el adaptador de depuración AXSDBG a través del cable USB a la computadora. Dado que el controlador ya está instalado, la PC debe mostrar 2 “USB Serial Converter”, así como “USB Serial Port” en el administrador de dispositivos. Si no se observan los mismos o muestran signos de exclamación amarillos seguir al paso 3, caso contrario continuar al paso 4.



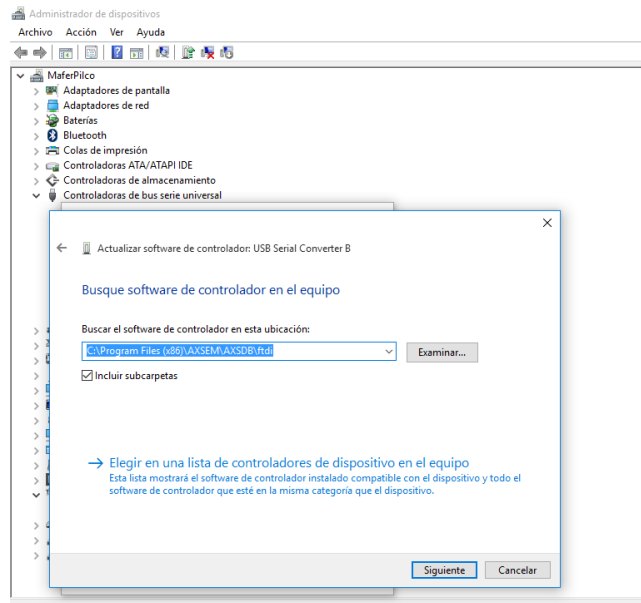
3. Como se observa en la figura los signos de exclamación amarillos en “USB Serial Converter A” o “B” o “Microfoot Debug Adapter V1.00” indican que el controlador no ha sido instalado correctamente.



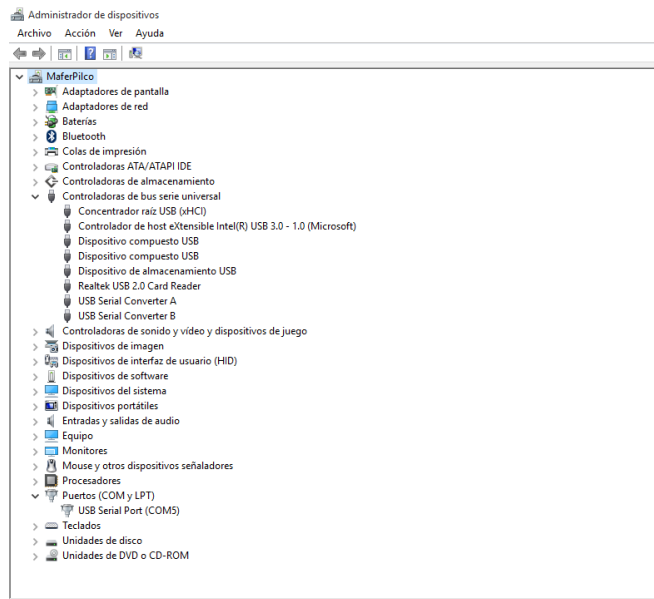
Haga clic derecho en el dispositivo con el signo de exclamación y elija reinstalar controlador.



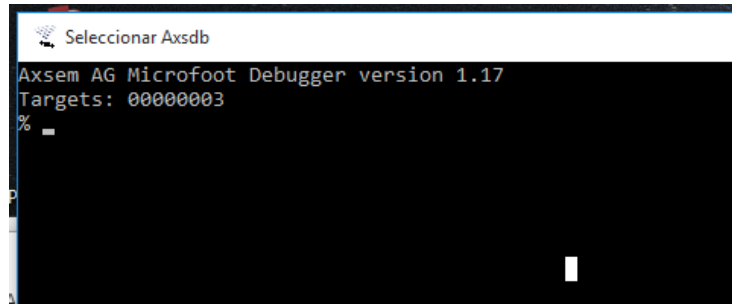
Versiones más recientes de Windows si está conectado a internet, ofrece la opción de buscar en Windows Update un controlador adecuado. Esta opción es la más fácil aunque puede tomar algún tiempo, como alternativa el instalador también coloca los controladores adecuados en C:\Program Files (x86)\AXSEM\AXSDB\ftdi. Puede elegir instalar desde este directorio y sus subdirectorios también.



Después de reinstalar los controladores con éxito, el administrador de dispositivos se debe mostrar de la siguiente manera, comprobar que AXSDBG ahora reconoce el objetivo.



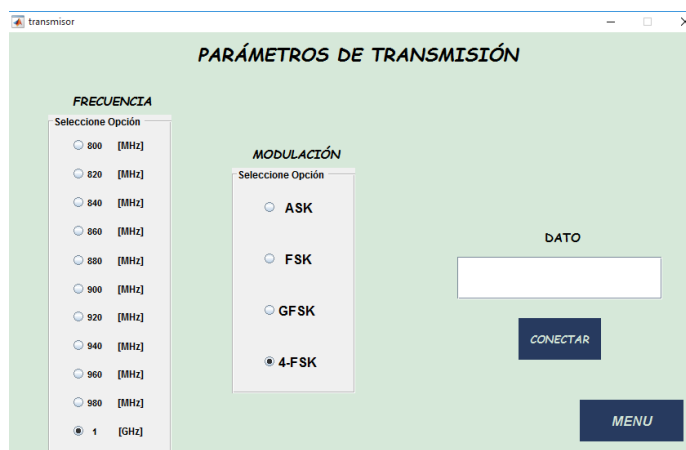
4. Conexión del módulo Transmisor o Receptor en modo OFF, a través del cable de depuración al adaptador AXDBG de depuración.
5. Una vez ejecutado el paso 4 abrir el programa AXSDB y en la pantalla se debe visualizar la serie de la tarjeta, la cual indica el correcto enlace entre la estación de trabajo de desarrollo y la placa destino (transmisor y receptor). En caso de mostrar una línea vacía significa que el adaptador de depuración conectado por USB no funcione o que los controladores USB no se hayan instalado correctamente.



6. Una vez verificado la conexión de la tarjeta; ingresar en la línea de comandos de AXSDB.EXE “*disconnect*”, para que el microcontrolador se libere y funcione por sí mismo.
7. Una vez culminados los pasos anteriores de la manera correcta, se procede a ejecutar la aplicación de control del sistema inalámbrico desarrollado en MATLAB.



8. Se mostrará la interfaz gráfica en la cual se muestra el menú, deberá seleccionar “Transmisor”.
9. Una vez seleccionado Transmisor, le aparecerá una nueva interfaz gráfica, en la cual deberá seleccionar un valor de frecuencia, modulación digital e ingresar el dato a transmitir, si desea salir de la interfaz una vez configurado el módulo con los datos seleccionados presiona el botón regresar.

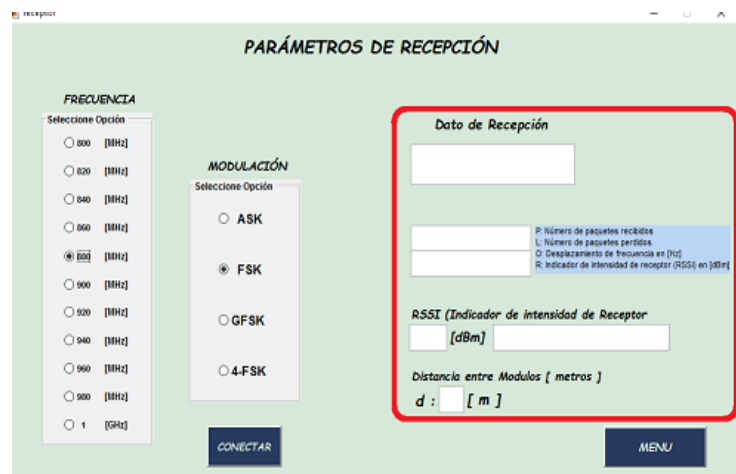


10. Desconectar el adaptador de depuración del módulo Transmisor.
11. Se procede a conectar el Receptor al adaptador de depuración y repetir el paso 6.
12. Se dirige a la interfaz gráfica de control, en el menú seleccionar “Receptor”, la cual muestra una nueva ventana, ahí deberá seleccionar el mismo valor de frecuencia y modulación que escogió anteriormente en el transmisor, para que puede haber sincronismo y obtener el dato en la recepción.



13. En la misma ventana del receptor se mostrará el dato enviado por el transmisor, a su vez se mostrará los siguientes parámetros:

- P: Es el número de paquetes recibidos
- O: Es la frecuencia Offset in [Hz]
- L: Es el número de paquetes perdidos
- R: Es el indicador de intensidad del receptor RSSI en [dBm]



14. Por último, en la aplicación también se podrá apreciar gráficas en función del tiempo y frecuencia en cada punto indicado que desee observar.

ANEXO 4

Actividad de Evaluación sin el uso del Sistema de Comunicación Inalámbrico

Grupo 1

Actividades de Evaluación:

La palabra "hola" esta codificada en ASCII a una rapidez de bits de 480 bps. Esta palabra se aplica a un modulador FSK cuya frecuencia de portadora es 800 Hz, y presenta una desviación de frecuencia de 160 Hz. Obtener el código binario y comparar con el que se muestra a continuación.

En Ascii: 01101000011011110110110001100001, como se observa en la figura 1.

Calcular:

- Índice de modulación.
- Ancho de banda mínimo.

Graficar

- La señal FSK en tiempo.
- El espectro de la señal FSK.

Anexo: Funciones de Bessel, Tabla ASCII

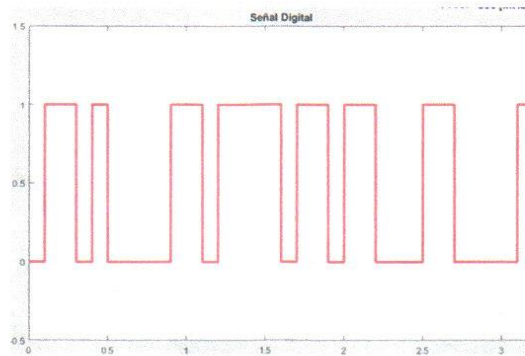
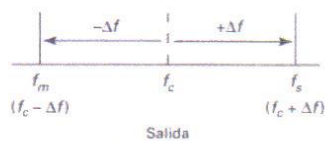


Figura1. Señal Binaria

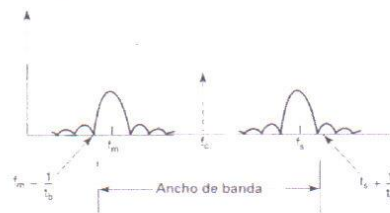
$$S_{fsk}(t) = Ac * \text{Sen}[w_c t + \theta(t)] = \begin{cases} Ac * \text{Sen}(w_1 t + \theta_1), & \text{para } t \text{ en que se envía 1 binario} \\ Ac * \text{Sen}(w_2 t + \theta_2), & \text{para } t \text{ en que se envía 0 binario} \end{cases}$$



$$\Delta f = \frac{|f1 - f2|}{2}$$

$$f1 = f_c + \Delta f$$

B : Ancho de banda mínimo
 Δf : desviación máxima de frecuencia
 fb : rapidez de bits



$$B = 2(\Delta f + fb)$$

$$h = \frac{\Delta f}{fb}$$

h : Índice de modulación FSK
 Δf : desviación máxima de frecuencia
 f_b : rapidez de bits
(Tomasi, 2003)

Cálculos: hola

$$h: 68$$

$$0: 6F$$

$$1: 6C$$

$$a: 6I$$

0,5

- índice de modulación

$$h = \frac{\Delta f}{f_b} = \frac{160}{480} = 0,333$$

1,2

- ancho de banda

$$\begin{aligned} B &= 2(\Delta f + f_b) \\ &= 2(160 + 480) \\ &= 1280 \text{ Hz} \end{aligned}$$

2

$N=2 \rightarrow$ con índice de modulación

$$J_0 = 0,44$$

$$J_1 = 0,24$$

$$J_2 = 0,03$$

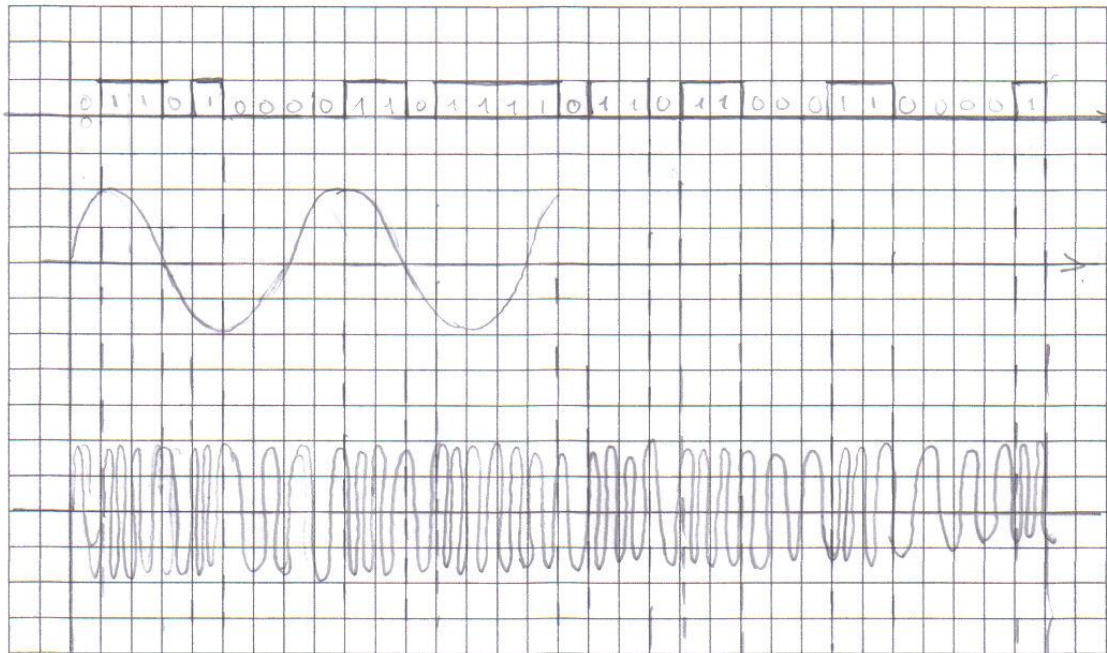
2

$$f_1 = f_c + \Delta f$$

$$f_1 = 960 \text{ Hz}$$

0,5

➤ Señal FSK en tiempo

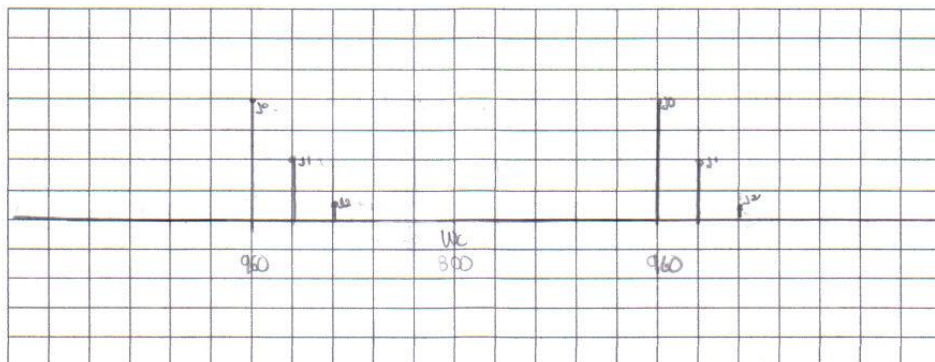


1,7

1

1,3

➤ Espectro de la señal FSK



0,3

Grupo 2

Actividades de Evaluación:

La palabra "hola" esta codificada en ASCII a una rapidez de bits de 480 bps. Esta palabra se aplica a un modulador FSK cuya frecuencia de portadora es 800 Hz, y presenta una desviación de frecuencia de 160 Hz. Obtener el código binario y comparar con el que se muestra a continuación.

En Ascii: 01101000011011110110110001100001, como se observa en la figura 1.

Calcular:

- Índice de modulación.
- Ancho de banda mínimo.

Graficar

- La señal FSK en tiempo.
- El espectro de la señal FSK.

Anexo: Funciones de Bessel, Tabla ASCII

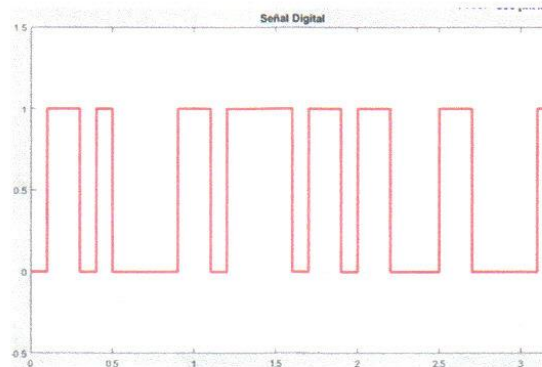
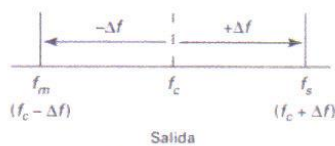


Figura1. Señal Binaria

$$S_{fsk}(t) = Ac * \text{Sen}[w_c t + \theta(t)] = \begin{cases} Ac * \text{Sen}(w_1 t + \theta_1), & \text{para } t \text{ en que se envía 1 binario} \\ Ac * \text{Sen}(w_2 t + \theta_2), & \text{para } t \text{ en que se envía 0 binario} \end{cases}$$



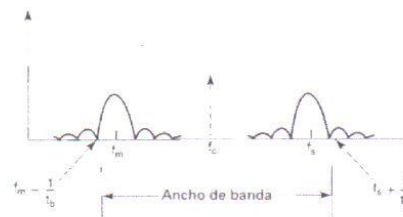
$$\Delta f = \frac{|f_1 - f_2|}{2}$$

$$f_1 = f_c + \Delta f$$

B : Ancho de banda mínimo

Δf : desviación máxima de frecuencia

fb : rapidez de bits



$$B = 2(\Delta f + fb)$$

$$h = \frac{\Delta f}{fb}$$

h : Índice de modulación FSK
 Δf : desviación máxima de frecuencia
 f_b : rapidez de bits
 (Tomasi, 2003)

Cálculos:

• hola

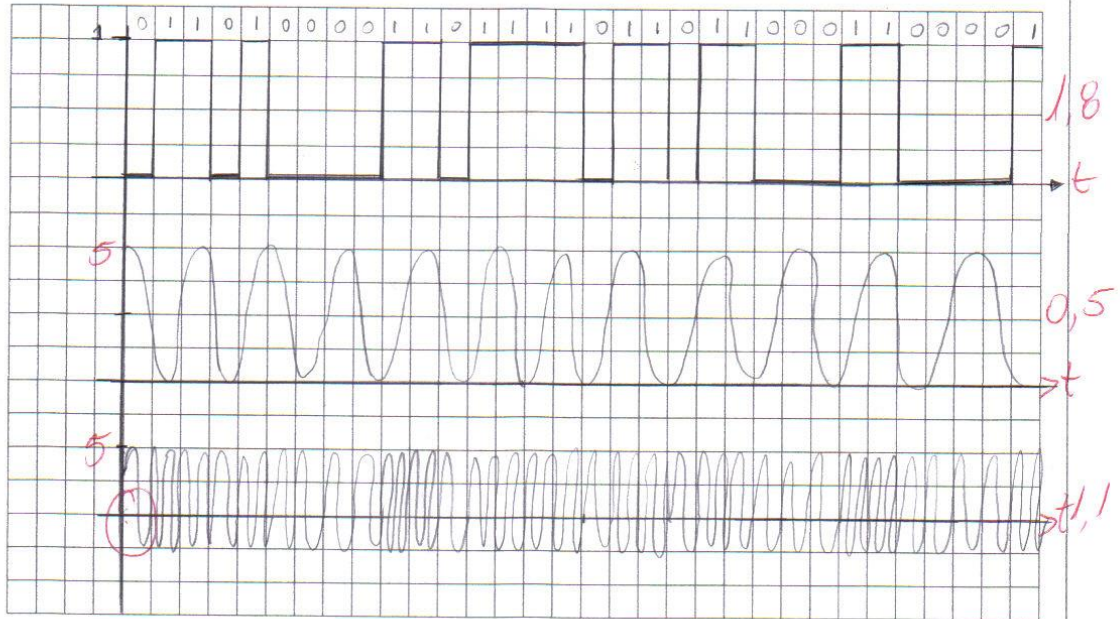
h	o	l	a	
6B	6F	6C	61	1,2
0110 1000	0110 1111	0110 1011	0110 0001	
		1100		

• $h = \frac{\Delta f}{f_b}$
 $h = \frac{160 \text{ Hz}}{480 \text{ bps}} = 0.333$ 1,4

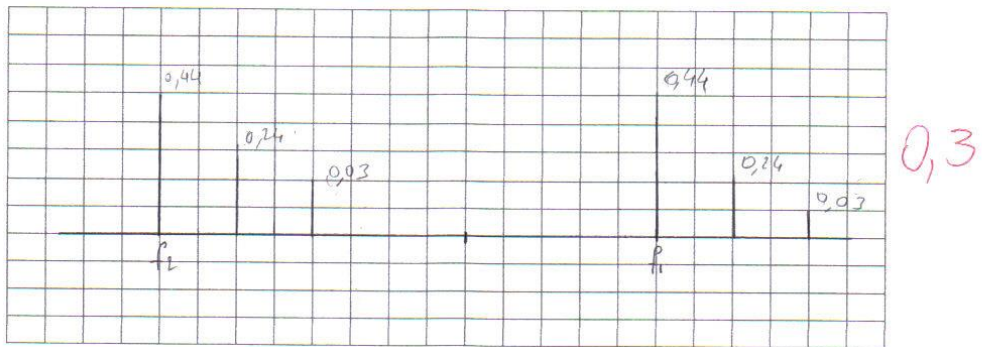
• $B = 2(\Delta f + f_b)$
 $B = 2(160 \text{ Hz} + 480 \text{ bps})$ 2
 $B = 1280$

• $f_i = f_c + \Delta f$
 $f_c = 800 \text{ Hz}$
 $f_i = 800 \text{ Hz} + 160 \text{ Hz}$ 1
 $f_i = 960 \text{ Hz}$

➤ Señal FSK en tiempo



➤ Espectro de la señal FSK



$$J_0 = 0,44$$

$$J_1 = 0,24$$


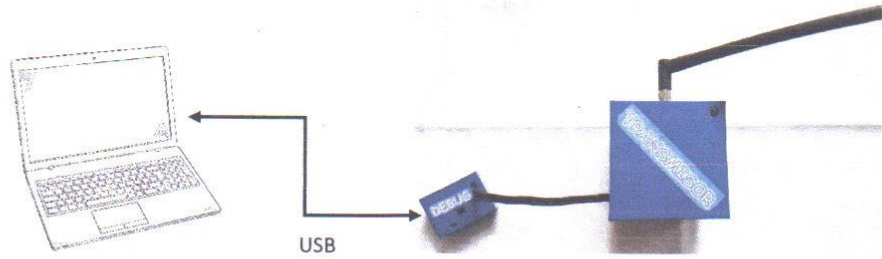
$$J_2 = 0,03$$

2

ANEXO 5

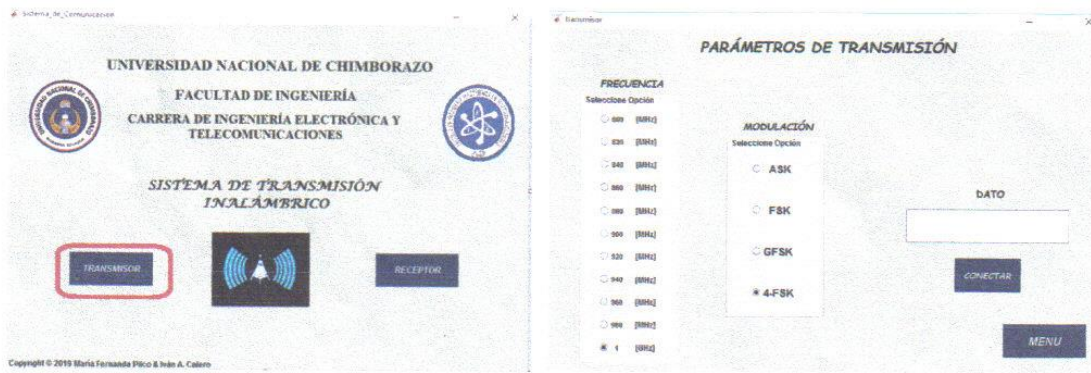
Actividad de Evaluación con el uso del Sistema de Comunicación Inalámbrico

Grupo 1

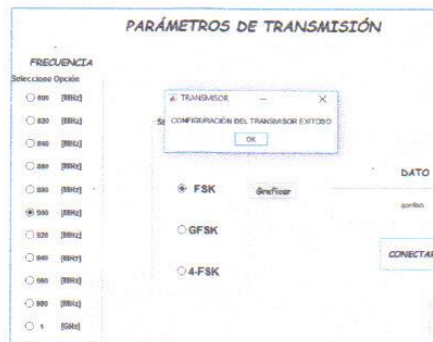
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA		VERSIÓN: 1		
			CÓDIGO:		
			PÁGINA 1 de 9		
GUÍA DE PRÁCTICAS PERIODO ACADÉMICO: Octubre 2018 – Febrero 2019					
CARRERA: Electrónica y Telecomunicaciones		ESTUDIANTES EN PROCESO DE TITULACIÓN		CURSO: PARALELO A	
NOMBRE DE LA ASIGNATURA: COMUNICACIONES DIGITALES		CÓDIGO DE LA ASIGNATURA:		LABORATORIO A UTILIZAR: Laboratorio de Electrónica	
Práctica No 1.	Tema: Modulación FSK	Duración (horas) 2	No. Grupos 2	No. Estudiantes (por grupo) 4	
Objetivos de la Práctica <ul style="list-style-type: none">• Simular la técnica de modulación FSK• Identificar las señales en tiempo y frecuencia para observar sus espectros de frecuencia.					
Equipos, Materiales <ul style="list-style-type: none">• 1 Módulo Transmisor• 1 Módulo Receptor• 1 Adaptador de depuración• 1 Cable de depuración• 1 Cable mini USB• 6 pilas AA• Software AXSDB• Aplicación de control "Sistema_ de _comunicación"					
Procedimiento <ul style="list-style-type: none">• Primero conectar el módulo Transmisor a la PC, mediante el adaptador de depuración. <div style="text-align: center;"><p>USB</p></div> <ul style="list-style-type: none">• Se procede a ejecutar la aplicación de control.					



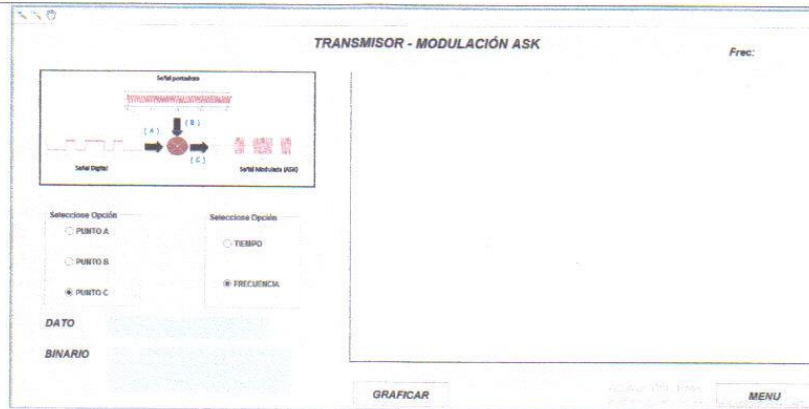
- Seleccionar el botón “Transmisor”, en el que deberá escoger los valores de frecuencia, modulación e ingresar el dato que el estudiante desee enviar (tomando en cuenta que el mismo debe ser mayor o igual a 1 y no debe superar los 20 caracteres).



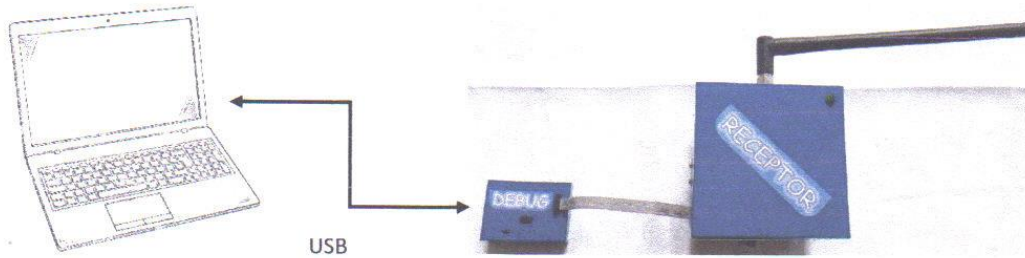
- Se mostrará un mensaje de configuración exitoso del transmisor.



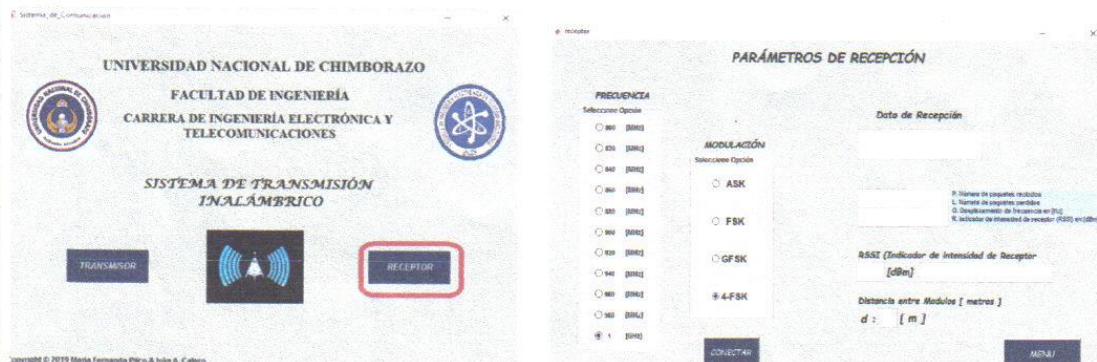
- Se activará un botón “Graficar”, dependiendo de la modulación escogida en donde el estudiante visualiza las diferentes gráficas en tiempo y frecuencia, de los puntos señalados en el diagrama de bloques.



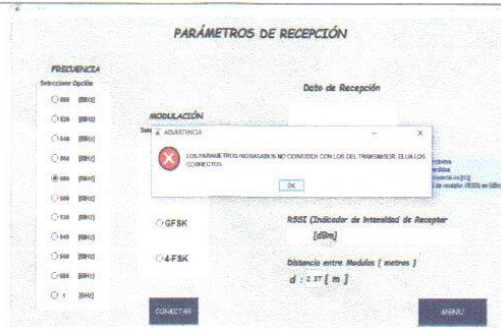
- Posteriormente se procede a conectar el módulo Receptor a la PC, mediante el adaptador de depuración.



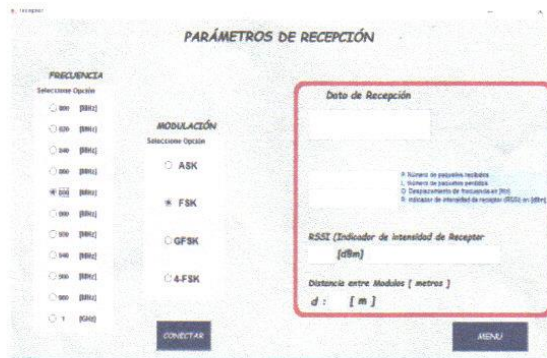
- Seleccionar el botón "Receptor", de igual forma escoger el valor de frecuencia y modulación que se haya seleccionado anteriormente en el transmisor, para que exista la comunicación entre dichos módulos.



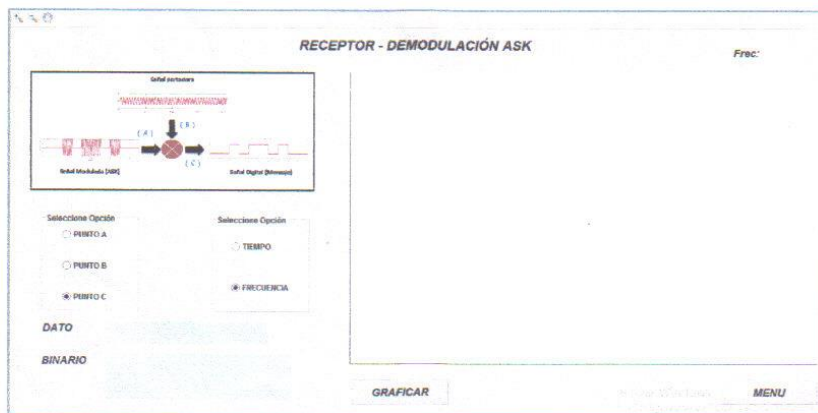
- En caso de no escoger los mismos datos, se mostrará un mensaje de error.



- Si la comunicación es exitosa se mostrará el dato de recepción, además de parámetros de recepción.



- También se activa un botón "Graficar", que de igual mencionado anteriormente podrá visualizar gráficas en función del tiempo y frecuencia.



Actividades de Evaluación:

La palabra "hola" esta codificada en ASCII a una rapidez de bits de 480 bps. Esta palabra se aplica a un modulador FSK cuya frecuencia de portadora es 800 Hz, y presenta una desviación de frecuencia de 160 Hz. Obtener el código binario y comparar con el que se muestra a continuación.

En Ascii: 01101000011011110110110001100001, como se observa en la figura 1.

Calcular:

- Índice de modulación.
- Ancho de banda mínimo.

Graficar

- La señal FSK en tiempo.
- El espectro de la señal FSK.

Anexo: Funciones de Bessel, Tabla ASCII

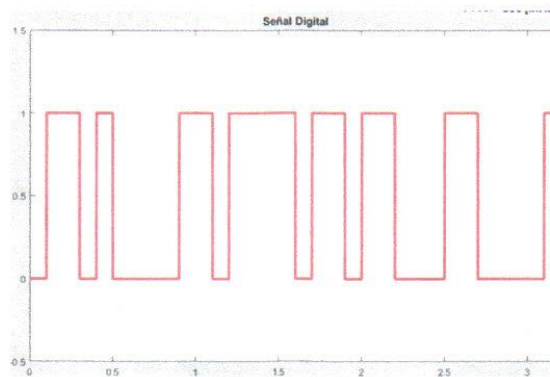
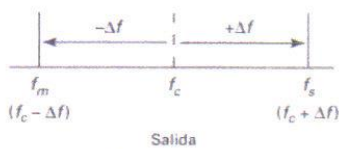


Figura1. Señal Binaria

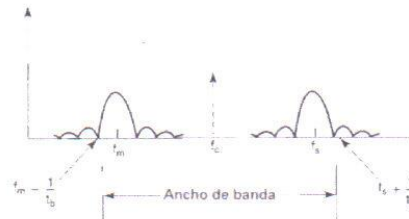
$$S_{fsk}(t) = Ac * Sen[w_c t + \theta(t)] = \begin{cases} Ac * Sen(w_1 t + \theta_1), & \text{para } t \text{ en que se envía 1 binario} \\ Ac * Sen(w_2 t + \theta_2), & \text{para } t \text{ en que se envía 0 binario} \end{cases}$$



$$\Delta f = \frac{|f_1 - f_2|}{2}$$

$$f_1 = f_c + \Delta f$$

B : Ancho de banda mínimo
 Δf = desviación máxima de frecuencia
 f_b : rapidez de bits



$$B = 2(\Delta f + f_b)$$

$$h = \frac{\Delta f}{f_b}$$

h : Índice de modulación FSK
 Δf : desviación máxima de frecuencia
 f_b : rapidez de bits
 (Tomasi, 2003)

Cálculos: h o l a

01101000 01101111 01101100 01100001 ✓ 1,8

• índice de modulación

$$h = \frac{\Delta f}{f_b} = \frac{160}{480} = 0,333 \quad \checkmark \quad 2$$

• ancho de banda

$$\begin{aligned}
 B &= 2(\Delta f + f_b) \\
 &= 2(160 + 480) \quad \checkmark \quad 2 \\
 &= 1280 \text{ Hz}
 \end{aligned}$$

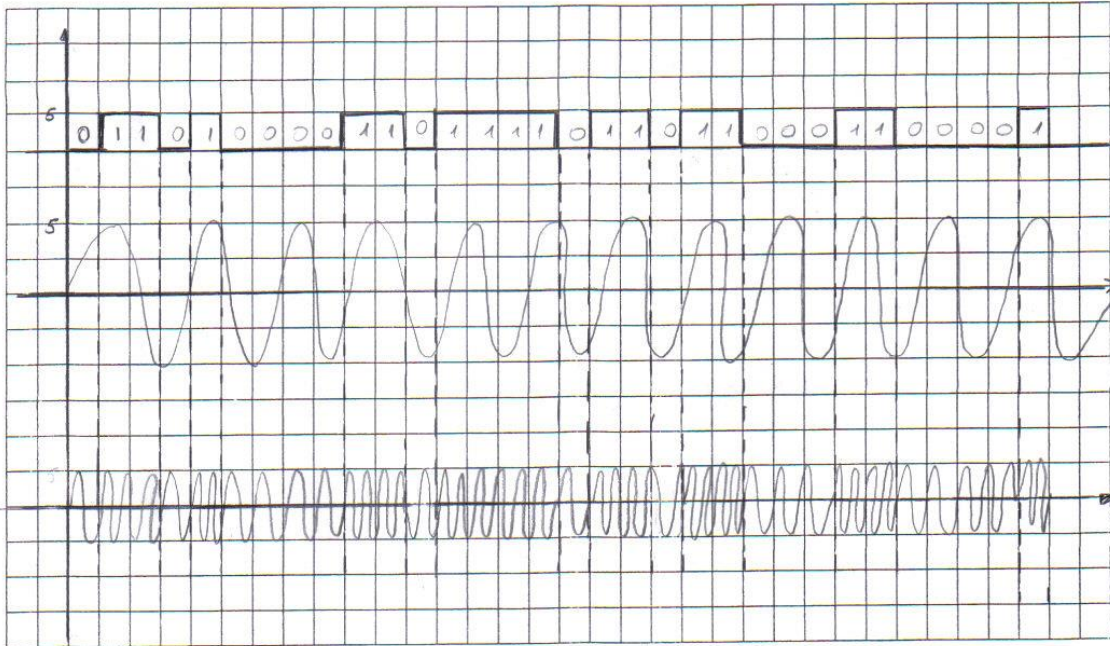
$N = 2 \rightarrow$ con el índice de modulación $h = 0,33$ Aproximado 0,5

$$\begin{aligned}
 J_0 &= 0,94 \quad \checkmark \\
 J_1 &= 0,24 \quad \checkmark \\
 J_2 &= 0,03 \quad \checkmark
 \end{aligned} \quad 2$$

$$\begin{aligned}
 J_0 &= 0,94 \times 5 = 4,7 \quad \checkmark \\
 J_1 &= 0,24 \times 5 = 1,2 \quad \checkmark \\
 J_2 &= 0,03 \times 5 = 0,13 \quad \checkmark
 \end{aligned} \quad 1,6$$

$$\begin{aligned}
 f_1 &= f_c + \Delta f \\
 f_1 &= 960 \text{ Hz} \quad \checkmark \\
 f_2 &= f_c - \Delta f \\
 f_2 &= 640 \text{ Hz} \quad \checkmark
 \end{aligned} \quad 2$$

➤ Señal FSK en tiempo

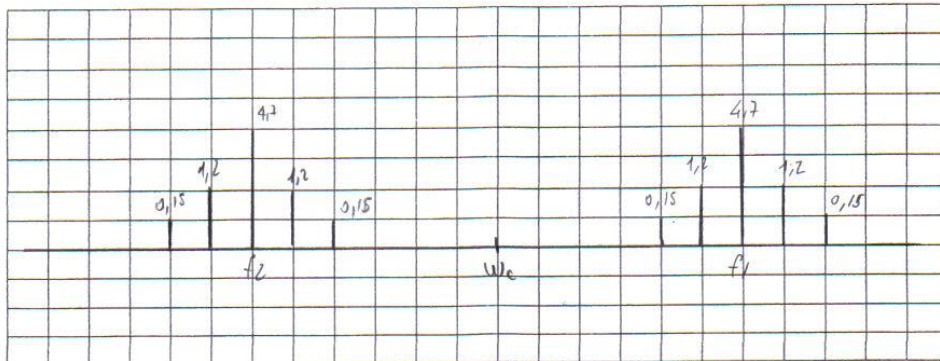


2

2

1,5

➤ Espectro de la señal FSK



1,5

Anexos:

Modulación por desplazamiento de Frecuencia (FSK)

Este tipo de modulación consiste en asignar una frecuencia diferente a cada estado de una señal de datos, es decir se obtienen las frecuencias f_1 y f_2 para "0" y "1" respectivamente. El fundamento de la modulación FSK consiste en que la señal portadora cambie el valor de frecuencia de acuerdo a la señal modulada que lleva información. Para ello existen 2 tipos de modulación FSK:

- **FSK Coherente:** Se refiere al instante de asignar la frecuencia, se mantiene la fase de la señal. Por medio de un oscilador controlado por tensión (VCO), donde la señal moduladora actúa como controladora de tensión del circuito VCO como se observa en la figura 1 (b). Este método consigue una fase continua en la señal generada y por consiguiente un ancho de banda menor.
- **FSK no Coherente:** Aquí la fase de la señal no se mantiene, esto se da porque las frecuencias son generadas por diferentes fuentes al ritmo que marque la señal moduladora como se observa en la figura 1 (a). Es un método muy sencillo pero como inconveniente puede producir saltos de fase en la señal, provocando ausencia de sincronización entre osciladores, y por tanto generan componentes espectrales elevadas que deterioran en ancho de banda.

(Fernández Solarte & Varela Campoverde, 2006)

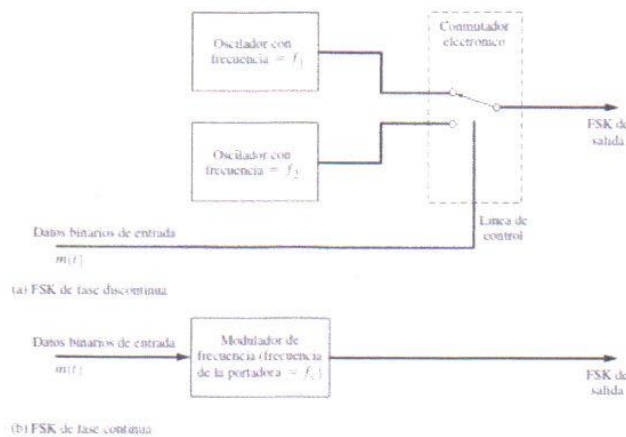


Figura 1. Generación FSK

Para representar el binario 1 y 0, dichas señales son representadas como:

$$S_1(t) = A \cos(\omega_1 t + \theta_1) \quad \text{para } t \text{ en el intervalo de tiempo en que se envía un 1 binario}$$

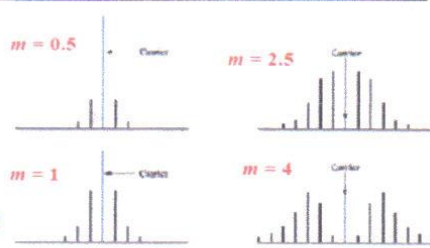
$$S_2(t) = A \cos(\omega_2 t + \theta_2) \quad \text{para } t \text{ en el intervalo de tiempo en que se envía un 0 binario}$$

Donde θ_1 y θ_2 son las fases de inicio de los dos osciladores

(Couch, 2008)

Funciones de Bessel para diferentes m

m	J_0	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6	J_7	J_8	J_9	J_{10}	J_{11}	J_{12}	J_{13}	J_{14}	J_{15}	J_{16}	J_{17}	J_{18}	J_{19}	J_{20}	
0	1.00																					
0.25	0.98	0.12																				
0.5	0.94	0.24	0.03																			
0.75	0.86	0.35	0.07	0.01																		
1	0.77	0.44	0.11	0.02																		
1.25	0.65	0.51	0.17	0.04	0.01																	
1.5	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01																	
1.75	0.37	0.58	0.29	0.09	0.02																	
2	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03	0.01																
2.25	0.08	0.55	0.40	0.17	0.05	0.01																
2.4	0.00	0.52	0.43	0.20	0.06	0.02																
2.5	-0.05	0.50	0.45	0.22	0.07	0.02																
2.75	-0.16	0.43	0.47	0.26	0.10	0.03	0.01															
3	-0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01															
3.5	-0.38	0.14	0.46	0.39	0.20	0.08	0.03	0.01														
4	-0.40	-0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.01														
4.5	-0.32	-0.23	0.22	0.42	0.35	0.20	0.08	0.03	0.01													
5	-0.18	-0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02	0.01												
5.5	0.00	-0.34	-0.12	0.26	0.40	0.32	0.19	0.09	0.03	0.01												
6	0.15	-0.28	-0.24	0.11	0.36	0.36	0.25	0.13	0.06	0.02	0.01											
6.5	0.26	-0.15	-0.31	-0.03	0.28	0.37	0.30	0.18	0.09	0.04	0.01											
7	0.30	-0.01	-0.30	-0.17	0.16	0.35	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02	0.01										
7.5	0.27	0.14	-0.23	-0.26	0.02	0.28	0.35	0.28	0.17	0.09	0.04	0.01	0.01									
8	0.17	0.24	-0.11	-0.29	-0.11	0.19	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06	0.03	0.01									
8.5	0.04	0.27	0.02	-0.26	-0.21	0.07	0.29	0.34	0.27	0.17	0.09	0.04	0.02	0.01								
8.65	0.00	0.27	0.06	0.24	0.23	0.03	0.27	0.34	0.28	0.18	0.10	0.05	0.02	0.01								
9	-0.09	0.25	0.14	-0.18	-0.27	-0.06	0.20	0.33	0.30	0.21	0.13	0.06	0.03	0.01								
10	-0.25	0.04	0.26	0.06	-0.22	-0.23	0.01	0.22	0.32	0.29	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01							
11	-0.17	-0.18	0.14	0.23	-0.01	-0.24	-0.20	0.02	0.23	0.31	0.28	0.20	0.12	0.06	0.03	0.01	0.01					
12	0.05	-0.22	-0.08	0.20	0.18	-0.07	-0.24	-0.17	0.04	0.23	0.30	0.27	0.20	0.12	0.07	0.03	0.01	0.10				
13	0.21	-0.07	-0.22	0.00	0.22	0.13	-0.12	-0.24	-0.14	0.07	0.23	0.29	0.26	0.19	0.12	0.07	0.03	0.01	0.01			
14	0.17	0.13	-0.15	-0.18	0.08	-0.15	-0.23	-0.11	0.08	0.24	0.29	0.25	0.19	0.12	0.07	0.03	0.02	0.01				
15	-0.01	0.20	0.04	-0.19	0.12	0.13	0.21	0.03	-0.17	-0.22	-0.09	0.10	0.24	0.28	0.25	0.18	0.12	0.07	0.03	0.02	0.01	
16	-0.17	0.09	0.19	-0.04	-0.20	-0.06	0.17	0.18	-0.01	-0.19	-0.21	-0.07	0.11	0.24	0.27	0.24	0.18	0.11	0.07	0.03	0.02	
17	-0.17	-0.10	0.16	0.14	-0.11	-0.19	0.00	0.19	0.15	-0.04	-0.20	0.19	0.05	0.12	0.24	0.27	0.23	0.17	0.11	0.07	0.04	



ASCII Table

Dec	Hex	Oct	Char	Dec	Hex	Oct	Char	Dec	Hex	Oct	Char	Dec	Hex	Oct	Char
0	0	0		32	20	40	{space}	64	40	100	@	96	60	140	.
1	1	1		33	21	41	!	65	41	101	A	97	61	141	a
2	2	2		34	22	42	"	66	42	102	B	98	62	142	b
3	3	3		35	23	43	#	67	43	103	C	99	63	143	c
4	4	4		36	24	44	\$	68	44	104	D	100	64	144	d
5	5	5		37	25	45	%	69	45	105	E	101	65	145	e
6	6	6		38	26	46	&	70	46	106	F	102	66	146	f
7	7	7		39	27	47	'	71	47	107	G	103	67	147	g
8	8	10		40	28	50	(	72	48	110	H	104	68	150	h
9	9	11		41	29	51	)	73	49	111	I	105	69	151	i
10	A	12		42	2A	52	*	74	4A	112	J	106	6A	152	j
11	B	13		43	2B	53	+	75	4B	113	K	107	6B	153	k
12	C	14		44	2C	54	,	76	4C	114	L	108	6C	154	l
13	D	15		45	2D	55	-	77	4D	115	M	109	6D	155	m
14	E	16		46	2E	56	.	78	4E	116	N	110	6E	156	n
15	F	17		47	2F	57	/	79	4F	117	O	111	6F	157	o
16	10	20		48	30	60	0	80	50	120	P	112	70	160	p
17	11	21		49	31	61	1	81	51	121	Q	113	71	161	q
18	12	22		50	32	62	2	82	52	122	R	114	72	162	r
19	13	23		51	33	63	3	83	53	123	S	115	73	163	s
20	14	24		52	34	64	4	84	54	124	T	116	74	164	t
21	15	25		53	35	65	5	85	55	125	U	117	75	165	u
22	16	26		54	36	66	6	86	56	126	V	118	76	166	v
23	17	27		55	37	67	7	87	57	127	W	119	77	167	w
24	18	30		56	38	70	8	88	58	130	X	120	78	170	x
25	19	31		57	39	71	9	89	59	131	Y	121	79	171	y
26	1A	32		58	3A	72	:	90	5A	132	Z	122	7A	172	z
27	1B	33		59	3B	73	;	91	5B	133	[	123	7B	173	{
28	1C	34		60	3C	74	<	92	5C	134	\	124	7C	174	|
29	1D	35		61	3D	75	=	93	5D	135	]	125	7D	175	}
30	1E	36		62	3E	76	>	94	5E	136	^	126	7E	176	~
31	1F	37		63	3F	77	?	95	5F	137	_	127	7F	177	


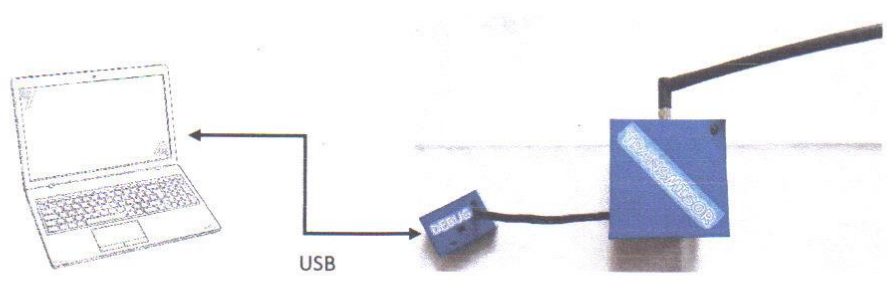
Referencias Bibliográficas:

Couch, L. W. (2008). *Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos* (Séptima ed.). México, México: PEARSON EDUCACIÓN.

Fernández Solarte, P. J., & Varela Campoverde, J. F. (Octubre de 2006). *Diseño e Implementación de un prototipo de iluminación residencial utilizando tecnología power line communication*. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4008/1/T-ESPEL-0128.pdf>

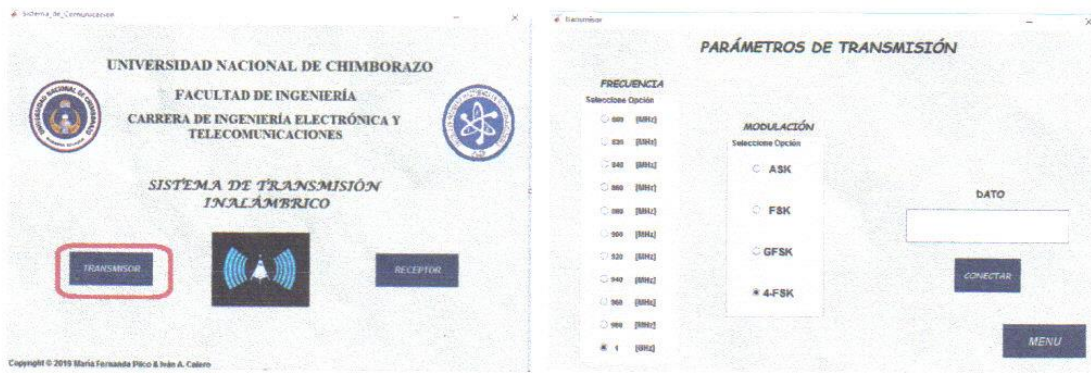
Tomasi, W. (2003). *Sistema Comunicaciones Electrónicas* (Cuarta ed.). Mexico: Pearson Educación.

Grupo 2

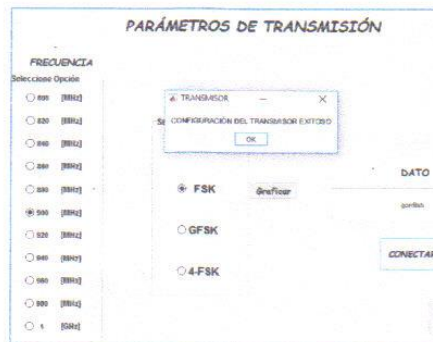
 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA</p>	VERSIÓN: 1 CÓDIGO: PÁGINA 1 de 9			
	GUÍA DE PRÁCTICAS PERIODO ACADÉMICO: Octubre 2018 – Febrero 2019			
	CARRERA: Electrónica y Telecomunicaciones	ESTUDIANTES EN PROCESO DE TITULACIÓN	CURSO: PARALELO A	
NOMBRE DE LA ASIGNATURA: COMUNICACIONES DIGITALES		CÓDIGO DE LA ASIGNATURA:	LABORATORIO A UTILIZAR: Laboratorio de Electrónica	
Práctica No 1.	Tema: Modulación FSK	Duración (horas) 2	No. Grupos 2	No. Estudiantes (por grupo) 4
<p>Objetivos de la Práctica</p> <ul style="list-style-type: none"> • Simular la técnica de modulación FSK • Identificar las señales en tiempo y frecuencia para observar sus espectros de frecuencia. 				
<p>Equipos, Materiales</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1 Módulo Transmisor • 1 Módulo Receptor • 1 Adaptador de depuración • 1 Cable de depuración • 1 Cable mini USB • 6 pilas AA • Software AXSDB • Aplicación de control "Sistema_ de _comunicación" 				
<p>Procedimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Primero conectar el módulo Transmisor a la PC, mediante el adaptador de depuración. <div style="text-align: center;">  <p style="text-align: center;">USB</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> • Se procede a ejecutar la aplicación de control. 				



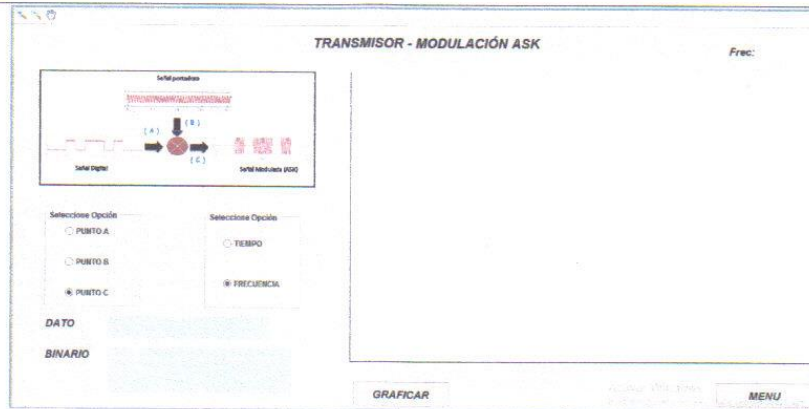
- Seleccionar el botón “Transmisor”, en el que deberá escoger los valores de frecuencia, modulación e ingresar el dato que el estudiante desee enviar (tomando en cuenta que el mismo debe ser mayor o igual a 1 y no debe superar los 20 caracteres).



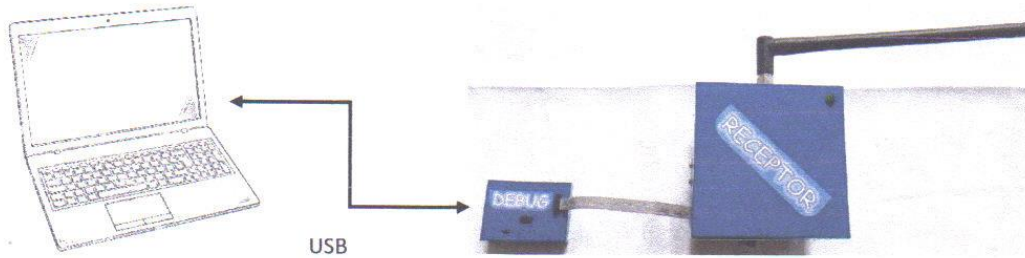
- Se mostrará un mensaje de configuración exitoso del transmisor.



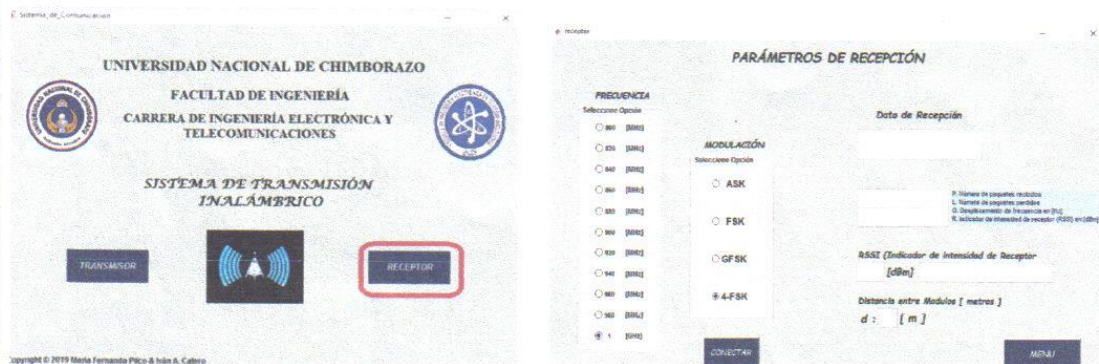
- Se activará un botón “Graficar”, dependiendo de la modulación escogida en donde el estudiante visualiza las diferentes gráficas en tiempo y frecuencia, de los puntos señalados en el diagrama de bloques.



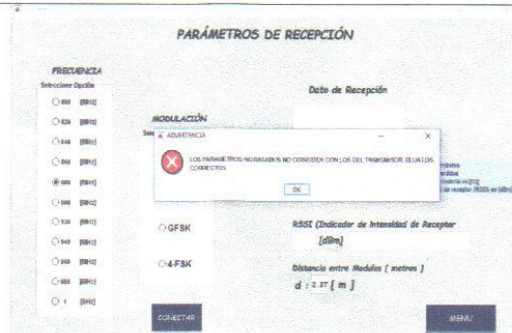
- Posteriormente se procede a conectar el módulo Receptor a la PC, mediante el adaptador de depuración.



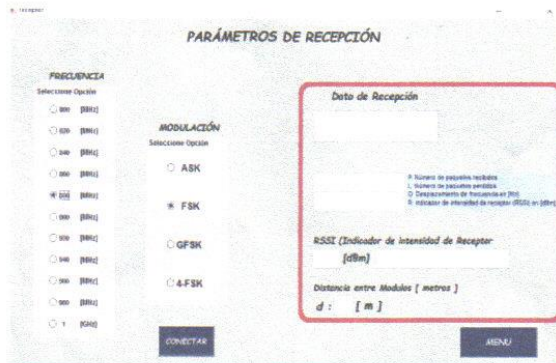
- Seleccionar el botón "Receptor", de igual forma escoger el valor de frecuencia y modulación que se haya seleccionado anteriormente en el transmisor, para que exista la comunicación entre dichos módulos.



- En caso de no escoger los mismos datos, se mostrará un mensaje de error.



- Si la comunicación es exitosa se mostrará el dato de recepción, además de parámetros de recepción.



- También se activa un botón "Graficar", que de igual mencionado anteriormente podrá visualizar gráficas en función del tiempo y frecuencia.



Actividades de Evaluación:

La palabra "hola" esta codificada en ASCII a una rapidez de bits de 480 bps. Esta palabra se aplica a un modulador FSK cuya frecuencia de portadora es 800 Hz, y presenta una desviación de frecuencia de 160 Hz. Obtener el código binario y comparar con el que se muestra a continuación.

En Ascii: 01101000011011110110110001100001, como se observa en la figura 1.

Calcular:

- Índice de modulación.
- Ancho de banda mínimo.

Graficar

- La señal FSK en tiempo.
- El espectro de la señal FSK.

Anexo: Funciones de Bessel, Tabla ASCII

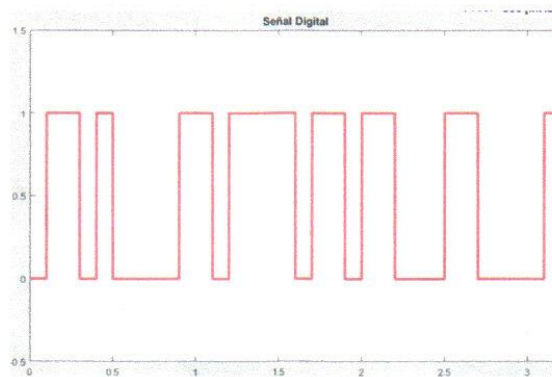
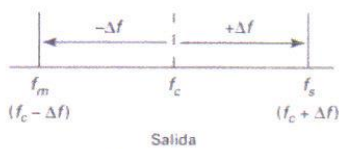


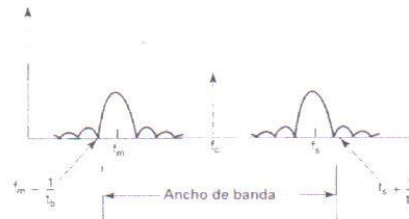
Figura1. Señal Binaria

$$S_{fsk}(t) = Ac * Sen[w_c t + \theta(t)] = \begin{cases} Ac * Sen(w_1 t + \theta_1), & \text{para } t \text{ en que se envía 1 binario} \\ Ac * Sen(w_2 t + \theta_2), & \text{para } t \text{ en que se envía 0 binario} \end{cases}$$



$$\Delta f = \frac{|f_1 - f_2|}{2}$$

$$f_1 = f_c + \Delta f$$



$$B = 2(\Delta f + fb)$$

B : Ancho de banda mínimo
 Δf : desviación máxima de frecuencia
 fb : rapidez de bits

$$h = \frac{\Delta f}{fb}$$

h : Índice de modulación FSK
 Δf : desviación máxima de frecuencia
 f_b : rapidez de bits
 (Tomasi, 2003)

Cálculos:

hola

h	0	1	2
6B	6F	6C	61
0110 1000	0110 1111	0110 1100	0110 0001

$$h = \frac{\Delta f}{f_b} = \frac{160 \text{ Hz}}{480 \text{ bps}} = 0.333 \quad 1,6 \quad 2$$

$$\Delta f = 160 \text{ Hz}$$

$$f_b = 480 \text{ bps}$$

$$B = 2(\Delta f + f_b)$$

$$B = 2(160 \text{ Hz} + 480 \text{ bps})$$

$$B = 1280 \quad 2$$

$$f_1 = f_c + \Delta f$$

$$f_c = 800 \text{ Hz}$$

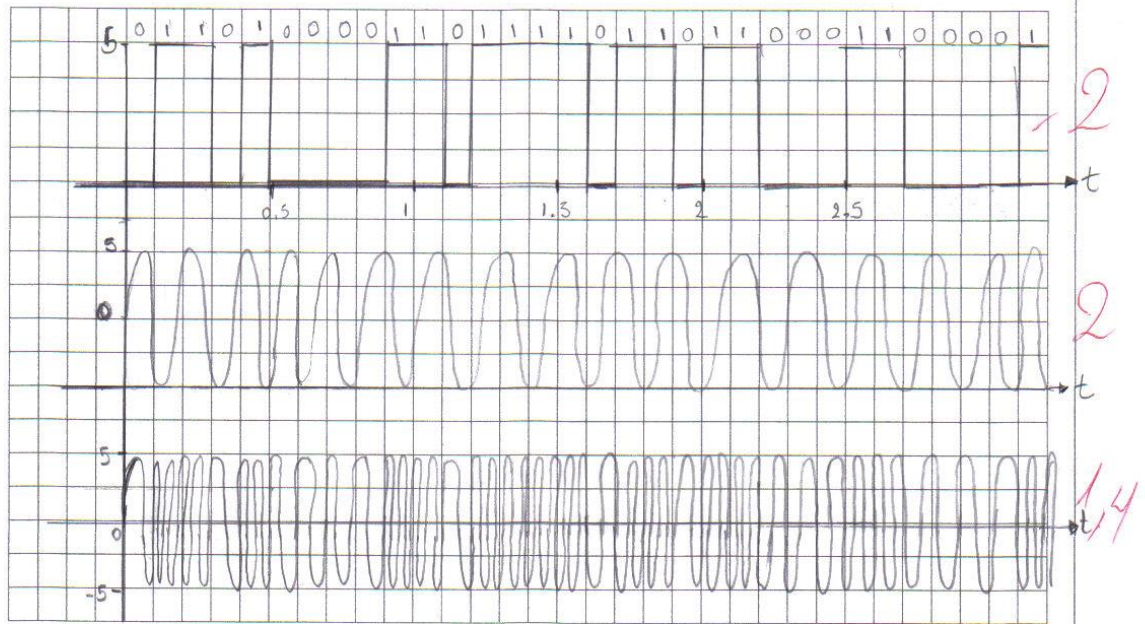
$$f_1 = 800 \text{ Hz} + 160 \text{ Hz}$$

$$f_1 = 960 \text{ Hz} \quad 2$$

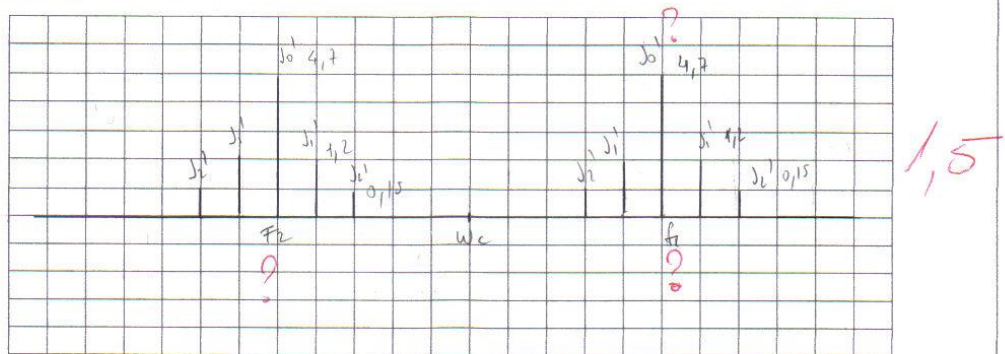
$$f_2 = f_c - \Delta f$$

$$f_2 = 640 \text{ Hz}$$

➤ Señal FSK en tiempo



➤ Espectro de la señal FSK



$$J_0 = 0,94 = J_0' = 4,7$$

$$J_1 = 0,24 = J_1' = 1,2$$

$$J_2 = 0,03 = J_2' = 0,15$$

2

1,8

Anexos:

Modulación por desplazamiento de Frecuencia (FSK)

Este tipo de modulación consiste en asignar una frecuencia diferente a cada estado de una señal de datos, es decir se obtienen las frecuencias f_1 y f_2 para "0" y "1" respectivamente. El fundamento de la modulación FSK consiste en que la señal portadora cambie el valor de frecuencia de acuerdo a la señal modulada que lleva información. Para ello existen 2 tipos de modulación FSK:

- **FSK Coherente:** Se refiere al instante de asignar la frecuencia, se mantiene la fase de la señal. Por medio de un oscilador controlado por tensión (VCO), donde la señal moduladora actúa como controladora de tensión del circuito VCO como se observa en la figura 1 (b). Este método consigue una fase continua en la señal generada y por consiguiente un ancho de banda menor.
- **FSK no Coherente:** Aquí la fase de la señal no se mantiene, esto se da porque las frecuencias son generadas por diferentes fuentes al ritmo que marque la señal moduladora como se observa en la figura 1 (a). Es un método muy sencillo pero como inconveniente puede producir saltos de fase en la señal, provocando ausencia de sincronización entre osciladores, y por tanto generan componentes espectrales elevadas que deterioran en ancho de banda.

(Fernández Solarte & Varela Campoverde, 2006)

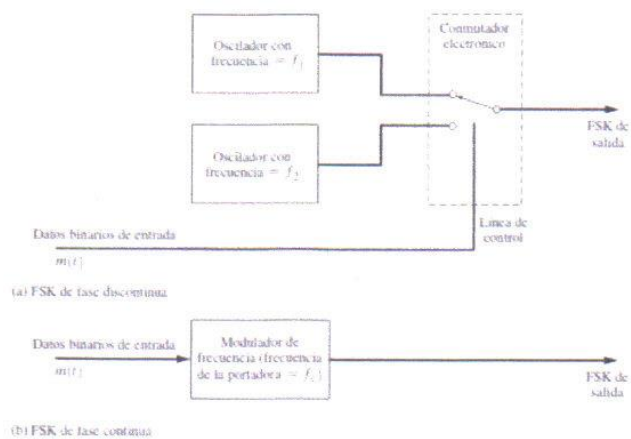


Figura 1. Generación FSK

Para representar el binario 1 y 0, dichas señales son representadas como:

$$S_1(t) = A\cos(\omega_1 t + \theta_1) \text{ para } t \text{ en el intervalo de tiempo en que se envía un 1 binario}$$

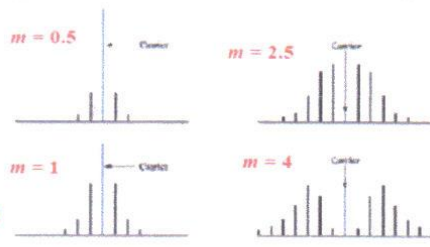
$$S_2(t) = A\cos(\omega_2 t + \theta_2) \text{ para } t \text{ en el intervalo de tiempo en que se envía un 0 binario}$$

Donde θ_1 y θ_2 son las fases de inicio de los dos osciladores

(Couch, 2008)

Funciones de Bessel para diferentes m

m	J ₀	J ₁	J ₂	J ₃	J ₄	J ₅	J ₆	J ₇	J ₈	J ₉	J ₁₀	J ₁₁	J ₁₂	J ₁₃	J ₁₄	J ₁₅	J ₁₆	J ₁₇	J ₁₈	J ₁₉	J ₂₀	
0	1.00																					
0.25	0.98	0.12																				
0.5	0.94	0.24	0.03																			
0.75	0.86	0.35	0.07	0.01																		
1	0.77	0.44	0.11	0.02																		
1.25	0.65	0.51	0.17	0.04	0.01																	
1.5	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01																	
1.75	0.37	0.58	0.29	0.09	0.02																	
2	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03	0.01																
2.25	0.08	0.55	0.40	0.17	0.05	0.01																
2.4	0.00	0.52	0.43	0.20	0.06	0.02																
2.5	-0.05	0.50	0.45	0.22	0.07	0.02																
2.75	-0.16	0.43	0.47	0.26	0.10	0.03	0.01															
3	-0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01															
3.5	-0.38	0.14	0.46	0.39	0.20	0.08	0.03	0.01														
4	-0.40	-0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.01														
4.5	-0.32	-0.23	0.22	0.42	0.35	0.20	0.08	0.03	0.01													
5	-0.18	-0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02	0.01												
5.5	0.00	-0.34	-0.12	0.26	0.40	0.32	0.19	0.09	0.03	0.01												
6	0.15	-0.28	-0.24	0.11	0.36	0.36	0.25	0.13	0.06	0.02	0.01											
6.5	0.26	-0.15	0.31	-0.03	0.28	0.37	0.30	0.18	0.09	0.04	0.01											
7	0.30	-0.01	0.30	-0.17	0.16	0.35	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02	0.01										
7.5	0.27	0.14	-0.23	-0.26	0.02	0.28	0.35	0.28	0.17	0.09	0.04	0.01	0.01									
8	0.17	0.24	-0.11	-0.29	-0.11	0.19	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06	0.03	0.01									
8.5	0.04	0.27	0.02	-0.26	-0.21	0.07	0.29	0.34	0.27	0.17	0.09	0.04	0.02	0.01								
8.65	0.00	0.27	0.06	0.24	0.23	0.03	0.27	0.34	0.28	0.18	0.10	0.05	0.02	0.01								
9	-0.09	0.25	0.14	-0.18	-0.27	-0.06	0.20	0.33	0.30	0.21	0.13	0.06	0.03	0.01								
10	-0.25	0.04	0.26	0.06	-0.22	-0.23	0.01	0.22	0.32	0.29	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01							
11	-0.17	-0.18	0.14	0.23	-0.01	-0.24	-0.20	0.02	0.23	0.31	0.28	0.20	0.12	0.06	0.03	0.01						
12	0.05	-0.22	-0.08	0.20	0.18	-0.07	-0.24	-0.17	0.04	0.23	0.30	0.27	0.20	0.12	0.07	0.03	0.01	0.10				
13	0.21	-0.07	-0.22	0.00	0.22	0.13	-0.12	-0.24	-0.14	0.07	0.23	0.29	0.26	0.19	0.12	0.07	0.03	0.01	0.01			
14	0.17	0.13	-0.15	-0.18	0.08	-0.15	-0.23	-0.11	0.08	0.24	0.29	0.25	0.19	0.12	0.07	0.03	0.02	0.01				
15	-0.01	0.20	0.04	-0.19	0.12	0.13	0.21	0.03	-0.17	-0.22	-0.09	0.10	0.24	0.28	0.25	0.18	0.12	0.07	0.03	0.02	0.01	
16	-0.17	0.09	0.19	-0.04	-0.20	-0.06	0.17	0.18	-0.01	-0.19	-0.21	-0.07	0.11	0.24	0.27	0.24	0.18	0.11	0.07	0.03	0.02	0.01
17	-0.17	-0.10	0.16	0.14	-0.11	-0.19	0.00	0.19	0.15	-0.04	-0.20	0.19	-0.05	0.12	0.24	0.27	0.23	0.17	0.11	0.07	0.04	



ASCII Table

Dec	Hex	Oct	Char	Dec	Hex	Oct	Char	Dec	Hex	Oct	Char	Dec	Hex	Oct	Char
0	0	0		32	20	40	[space]	64	40	100	@	96	60	140	~
1	1	1		33	21	41	!	65	41	101	A	97	61	141	a
2	2	2		34	22	42	"	66	42	102	B	98	62	142	b
3	3	3		35	23	43	#	67	43	103	C	99	63	143	c
4	4	4		36	24	44	\$	68	44	104	D	100	64	144	d
5	5	5		37	25	45	%	69	45	105	E	101	65	145	e
6	6	6		38	26	46	&	70	46	106	F	102	66	146	f
7	7	7		39	27	47	'	71	47	107	G	103	67	147	g
8	8	10		40	28	50	(	72	48	110	H	104	68	150	h
9	9	11		41	29	51	)	73	49	111	I	105	69	151	i
10	A	12		42	2A	52	*	74	4A	112	J	106	6A	152	j
11	B	13		43	2B	53	+	75	4B	113	K	107	6B	153	k
12	C	14		44	2C	54	,	76	4C	114	L	108	6C	154	l
13	D	15		45	2D	55	.	77	4D	115	M	109	6D	155	m
14	E	16		46	2E	56	:	78	4E	116	N	110	6E	156	n
15	F	17		47	2F	57	;	79	4F	117	O	111	6F	157	o
16	10	20		48	30	60	0	80	50	120	P	112	70	160	p
17	11	21		49	31	61	1	81	51	121	Q	113	71	161	q
18	12	22		50	32	62	2	82	52	122	R	114	72	162	r
19	13	23		51	33	63	3	83	53	123	S	115	73	163	s
20	14	24		52	34	64	4	84	54	124	T	116	74	164	t
21	15	25		53	35	65	5	85	55	125	U	117	75	165	u
22	16	26		54	36	66	6	86	56	126	V	118	76	166	v
23	17	27		55	37	67	7	87	57	127	W	119	77	167	w
24	18	30		56	38	70	8	88	58	130	X	120	78	170	x
25	19	31		57	39	71	9	89	59	131	Y	121	79	171	y
26	1A	32		58	3A	72	:	90	5A	132	Z	122	7A	172	z
27	1B	33		59	3B	73	;	91	5B	133	[	123	7B	173	{
28	1C	34		60	3C	74	<	92	5C	134	\	124	7C	174	|
29	1D	35		61	3D	75	=	93	5D	135	]	125	7D	175	}
30	1E	36		62	3E	76	>	94	5E	136	^	126	7E	176	~
31	1F	37		63	3F	77	?	95	5F	137	_	127	7F	177	

Referencias Bibliográficas:

- Couch, L. W. (2008). *Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos* (Séptima ed.). México, México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Fernández Solarte, P. J., & Varela Campoverde, J. F. (Octubre de 2006). *Diseño e Implementación de un prototipo de iluminación residencial utilizando tecnología power line communication*. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4008/1/T-ESPEL-0128.pdf>
- Tomasi, W. (2003). *Sistema Comunicaciones Electrónicas* (Cuarta ed.). Mexico: Pearson Educación.

Anexo 6

Resultados de Puntaje de la Guía

Literal A	Obtener el código en binario de la palabra "hola"
Literal B	Calcular el índice de modulación
Literal C	Obtener el ancho de banda mínimo
Literal D	Identificar el índice de modulación en las series de Bessel
Literal D1	Valor de las amplitudes de las lateras J normalizadas
Literal D2	Valores reales de las amplitudes de las laterales J
Literal E	Obtener valores de las portadoras para la modulación FSK
Literal F	Gráfica de la señal binaria en el tiempo
Literal G	Gráfica de la portadora
Literal H	Gráfica de la señal FSK en el tiempo
Literal I	Gráfica del espectro de la señal FSK

Tabla 10. Detalles de los puntos a evaluar

Fuente: Autores

	Grupo 1	Grupo 2
Literal A	0,5	1,2
Literal B	1,2	1,4
Literal C	2	2
Literal D	1	1,2
Literal D1	2	2
Literal D2	0,6	0,8
Literal E	0,5	1
Literal F	1,7	1,8
Literal G	1	0,5
Literal H	1,3	1,1
Literal I	0,3	0,3
Puntaje Total (22)	12,1	13,3

Tabla 11. Resultados sin el uso del sistema de comunicación Inalámbrico

Fuente: Autores

	Grupo 1	Grupo 2
Literal A	1,8	1,6
Literal B	2	2
Literal C	2	2
Literal D	2	2
Literal D1	2	2
Literal D2	1,6	1,8
Literal E	2	2
Literal F	2	2
Literal G	2	2
Literal H	1,5	1,4
Literal I	1,5	1,5
Puntaje Total (22)	20,4	20,3

Tabla 12. Resultados con el uso del sistema de comunicación Inalámbrico

Fuente: Autores