



**“ ESTUDIO Y APLICACIÓN DIDÁCTICA DE UN SISTEMA DE
TRANSMISIÓN DE DATOS UTILIZANDO TECNOLOGÍA
SPREAD SPECTRUM”**

TRABAJO DE GRADUACION
PREPARADO PARA
LA FACULTAD DE INGENIERIA
PARA OPTAR AL GRADO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA



PRESENTADO POR:

ROBERTO EDMUNDO HERNÁNDEZ RODAS
WILLBER GERMAN MARTÍNEZ ABARCA

MARZO - 1999

SOYAPANGO - EL SALVADOR - CENTROAMERICA



RECTOR

ING. FEDERICO MIGUEL HUGUET RIVERA

SECRETARIO GENERAL

PRBO. PEDRO JOSE GARCIA CASTRO

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA

ING. CARLOS GUILLERMO BRAN

ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACION

ING. WILLIAM FLORES

JURADO EXAMINADOR

ING. WENCESLAO RIVAS

ING. ANGEL SORIANO



FACULTAD DE INGENIERIA


ESCUELA DE ELECTRONICA

JURADO EVALUADOR DEL TRABAJO DE GRADUACION


**“ ESTUDIO Y APLICACIÓN DIDÁCTICA DE UN SISTEMA DE
TRANSMISIÓN DE DATOS UTILIZANDO TECNOLOGÍA
SPREAD SPECTRUM”**


ING. WENCESLAO RIVAS.

JURADO


ING. ANGEL SORIANO

JURADO


ING. WILLIAM FLORES
ASESOR

Agradezco a Dios Todopoderoso por haberme permitido culminar este trabajo, a mi madre Irma por su incondicional sacrificio y amor, a mis abuelas, hermanos (as), sobrinos (as), familiares y amigos que confiarón en mí para llegar a alcanzar este objetivo.

Roberto Edmundo Rodas

*" ¡ A Dios, el único y sabio, sea la gloria para siempre
por medio de Jesucristo! Amén. "*

Romanos 16: 27

Este trabajo se lo dedico primeramente a mi Señor y Dios por su bondad y misericordia; a mis padres José Hugo y Mabel Edith por su amor y educación , a mi tía Irma por sus cuidados , a mis hermanos Gerson y Rodrigo por apoyarme y a mi futura esposa Ivania por su cariño y aliento para poder culminar satisfactoriamente con esta meta.

Agradezco además las oraciones y el apoyo de mis familiares y compañeros de trabajo que me ayudaron de una u otra forma a terminar este proyecto

Willber German Martinez Abarca.

CONTENIDO

CAPITULO I.....	7
1.1 Introducción	7
1.2 OBJETIVOS.....	8
1.2.1 Objetivo general.	8
1.2.2 Objetivos específicos.....	8
1.3 Breve Historia y Desarrollo de la Técnica de Espectro Disperso.	9
1.4 Aplicaciones Comerciales	11
1.4.1 Reglamentación de la Comisión Federal de Comunicaciones FCC de EU.	13
1.4.2 Reglamentación para el uso de Espectro Disperso en El Salvador.....	14
1.4.3 CDMA.....	16
1.4.4 Redes Inalámbricas (WLAN)	21
CAPITULO II.....	24
ESPECTRO DISPERSO	24
2.1 Introducción.	24
2.2 Características básicas.....	26
2.3 Configuraciones de Sistemas de Espectro Disperso.	30
2.3.1 Sistemas de Referencia Transmitida (Transmitted Reference, TR).....	30
2.3.2 Sistemas de Referencia Almacenada (Stored Reference, SR)	31
2.3.3 Sistemas de Filtro Acoplado (Matched Filter, MF)	31
2.4 Técnicas de Modulación.....	33

2.4.1	Ruido como portadora.....	33
2.4.2	Secuencia Directa	34
2.4.3	Frecuencia Tambaleante.....	34
2.4.4	Salto de Frecuencia.	35
2.4.5	Salto de Tiempo	37
2.5	Modelo de un Sistema de Comunicación Digital de Espectro Disperso.....	41
2.5.1	Definición de Parámetros generales.	43
2.5.2	Formas de Onda de señales obstructoras o interferentes.....	44
CAPITULO III		49
ESPECTRO DISPERSO DE SECUENCIA DIRECTA		49
3.1	Introducción.	49
3.2	Espectro Disperso de Secuencia Directa con BPSK coherente.....	54
3.3	Interferencia de banda ancha de potencia constante.....	58
3.4	Multicamino y Diversidad	61
3.5	Secuencias Pseudo Aleatorias	65
3.5.1	Generador PN.....	66
CAPITULO IV.....		74
DISEÑO DE EQUIPO DIDÁCTICO		74
4.1	Introducción	74
4.2	Etapas del sistema didáctico.	75
4.2.1	Modulo de Transmisión	77
4.2.2	Módulo de Recepción.	84

4.3 RECOMENDACIONES.....	90
CAPITULO V.....	91
EQUIPO CON TECNOLOGÍA DE ESPECTRO DISPERSO.	91
5.1 Modem Punto a Punto , AirLink	92
5.1.1 Características.	92
5.1.2 Aplicaciones.	93
5.2 Mediciones Experimentales.	94
5.2.1 Analizador de Comunicaciones:.....	95
5.2.2 Radio Maestro:	96
5.2.3 Radio Esclavo:	96
5.2.4 Analizador Espectral:.....	96
5.2.5 Condiciones Ambientales:.....	97
5.3 EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....	97
Referencias Bibliográficas.....	100
Glosario.	103
ANEXOS.....	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1 Sistema GPS.....	12
Figura 1. 2 Distribución de Espectro Electromagnético	15
Figura 1. 3 Sistemas de acceso.....	17
Figura 1. 4 Llamada en un sistema telefónico móvil	18
Figura 1. 5 Sistema celular	19
Figura 1. 6 Utilización de CDMA en sistemas celulares.....	20
Figura 1.7 Ejemplo de LAN.....	21
Figura 1.8 Ejemplo de WLAN	23
Figura 2. 1 Comparación de espectros	24
Figura 2. 2 Comparación de señales.....	26
Figura 2. 3 Recuperación de señal en presencia de ruido	29
Figura 2. 4.a Sistema de referencia transmitida	32
Figura 2. 4. b Sistema de referencia almacenada	32
Figura 2. 4.c Sistema de referencia de filtro acoplado	33
Figura 2. 5 Codificación de señales PN	34
Figura 2. 6 Señal de saltos de frecuencia	35
Figura 2. 7 Ilustración del concepto de Saltos de Frecuencia	36
Figura 2. 8 Diagrama de bloques de sistema de Saltos de frecuencia	37
Figura 2. 9 Forma de Onda de saltos de tiempo.....	38
Figura 2.10 Diagrama a bloques de TH	40
Figura 2.11 Señales de saltos de tiempo.	41

Figura 2. 12 Modelo de sistema de comunicación digital SS	42
Figura 2. 13 Sistema básico de SS	43
Figura 2. 14 Distribución de obstructor sobre banda ancha y parcial	45
Figura 2. 15 Obstructor de onda continua y multitono	47
Figura 3. 1 Sistema DSSS	49
Figura 3. 2 Transmisor DS.....	50
Figura 3. 3 Procesamiento DS.....	51
Figura 3. 4 Modulación de DS.....	52
Figura 3. 5 Tiempos de secuencia PN.....	54
Figura 3. 6 Espectro de una señal de secuencia directa	56
Figura 3. 7 Señal DS/BPSK	57
Figura 3. 8 Modulación DS/BPSK.....	58
Figura 3. 9 Sistema DS/BPSK.....	59
Figura 3. 10 Escenario de operación para SS	62
Figura 3. 11 Generador PN	66
Figura 3. 12 Función de Autocorrelación de secuencias PN	68
Figura 3. 13 Receptor DS con Correlador.....	70
Figura 3. 14 Señal DS con interferencia de banda angosta	71
Figura 3. 15 Códigos de Gold y Kasami	72
Figura 3. 16 Generador de Secuencias de Gold	73
Figura 4.1 Modulo de Etapa de transmisión	76
Figura 4.2 Modulo de etapa de Recepción.	76

Figura 4.3 Diagrama esquemático del transmisor	78
Figura 4.4 Espectro de portadora.....	80
Figura 4.5 Generador PN.....	80
Figura 4.6 Diagrama de Tiempo de código PN	81
Figura 4.7 Tiempo de Chip	82
Figura 4.8 Espectro de código PN	82
Figura 4.9 Sumador y Elevador de Nivel.....	83
Figura 4.10 Espectro de DS-BPSK	83
Figura 4.11 Detector de inicio de código PN	84
Figura 4.12 Diagrama esquemático del receptor	85
Figura 4.13 Generación de pulso de sincronización	86
Figura 4.14 Discriminador de impulsos.....	87
Figura 4.15 Espectro de PN recuperado.....	88
Figura 4.16: Diagrama a bloques de sistema SS inalámbrico.....	89
Figura 5.1 Modems AirLink.....	92
Figura 5.2 Aplicación punto a punto.....	94
Figura 5.3 Enlace punto a punto a 256k bps.....	94

CAPITULO I

1.1 Introducción

El desarrollo de este trabajo se enfoca en el estudio y aplicación didáctica de la tecnología de *Espectro Disperso* (Spread Spectrum), especialmente en la técnica de modulación de *Secuencia Directa* (Direct Sequence:DS).

Una de las técnicas de transmisión que en la actualidad se aplican en nuestro medio para la comunicación de datos (con mayor cobertura en el área inalámbrica), es la de Spread Spectrum. En este trabajo se realiza un estudio general de dicha técnica, retomando los conceptos básicos y específicos de mayor importancia para la transmisión de datos. Tomando en cuenta las respectivas regulaciones legales que permiten que dichos sistemas funcionen dentro de un ámbito comercial en nuestro país.

En este trabajo se desarrolla un conjunto de módulos electrónicos con capacidad de acoplamiento con otros equipos didácticos, construyendo así un sistema de Transmisión de datos. Dicho sistema es fundamentado bajo los principios del método de modulación de Secuencia Directa.

Con este equipo se realizan diferentes prácticas de laboratorio que promueven y excitan a una investigación más profunda, para poder así tener una alternativa o dar respuesta a una problemática planteada dentro del área de las telecomunicaciones.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general.

Realizar un estudio introductorio de los principios de la tecnología Spread Spectrum, e implementar un equipo didáctico de un sistema de transmisión de datos utilizando dicha técnica, para utilizarse con propósitos educativos.

1.2.2 Objetivos específicos.

- 1.** Fundamentar la teoría básica de funcionamiento de la técnica de Espectro Disperso.
- 2.** Diseñar e implementar un equipo electrónico didáctico, que permita la generación de señales de Espectro Disperso de Secuencia Directa.
- 3.** Elaborar un conjunto de guías prácticas de laboratorio, que le faculte al estudiante avanzar secuencialmente dentro del estudio del tema de una manera autodidacta.

1.3 Breve Historia y Desarrollo de la Técnica de Espectro Disperso.

La tecnología de Espectro Disperso (SS) fue desarrollada para evitar que las transmisiones de información militar y de inteligencia fueran interferidas y descifradas. Los mensajes transmitidos se dispersan en una gama de frecuencias que emplean más espacio en el espectro para evitar la interceptación.

Fue el resultado natural de la Segunda Guerra Mundial, en la cual, la tecnología jugó un importante papel. Tácticas de obstrucción y anti-obstrucción (Jamming, Anti-jamming) fueron de uso común durante ese período. Uno de los reportes de los laboratorios RRL (Radio Research Laboratory, USA), al final de la guerra, con respecto al uso de técnicas anti- obstrucción fue el siguiente [12]:

“ Al final, se puede establecer que el mejor sistema anti-obstrucción es simplemente un buen diseño de ingeniería y la dispersión (spreading) de las frecuencias operantes”.

El desarrollo de Spread Spectrum (SS) comenzó en los años cuarenta (1940). Una de las mejores maneras de describir la historia de SS es presentar concisamente las tecnologías y teorías de comunicaciones que estaban disponibles en ese período, que permitieron el desarrollo e implementación de la técnica.

Algunos de los desarrollos son los siguientes [12]:

- **Técnicas de Radar.**

Período	Acontecimiento
Med. '20	Nacimiento del RADAR
1938	Patente con características técnicas de un radar SR-SS
1940 – 45	Chirp pulse radar
Med. '40	Formulación del concepto de Filtro Acoplado
Med. '50	Propiedades de resolución y exactitud de señales pulsantes.

- **Teoría de Comunicación.**

1930	Norbert Wiener crea modelo probabilístico de flujo de información
1947	Shanon desarrolla sus teorías de comunicación.

- **Otros desarrollos.**

1935	Ingenieros Alemanes patentan dispositivo para enmascarar señales de voz con señales de ruido (fundamento de DS-SS)
1942	Nattan Marchand patenta el primer correlador pasa banda
1947	Lee, Wiesner y Cheatman desarrollaron el primer correlador electrónico.
Med '40	Sistema WHYN (Wobbulated Hyperbolic Navigation) de navegación para guiar misiles.
Med '40	Estudios en MIT's Lincoln Laboratories,USA, desarrollan los sistemas NOMAC (Noise Modulation And Correlation)
Ini '70	Desarrollo de circuitos VLSI
1980	La FCC (EUA) impulsa salida de SS hacia aplicaciones amateur.
1985	La FCC permite aplicaciones comerciales de SS sin licencias
1991	Se demuestra que CDMA trabaja bien en la práctica y teoría
1992	Aplicaciones Comerciales: Telefonía celular, GPS, WLAN's, etc.

1.4 Aplicaciones Comerciales

El precio de utilizar radios SS que poseen propiedades anti obstrucción es el uso de un gran ancho de banda, que resulta en un aparente uso ineficiente del espectro radioeléctrico. Sin embargo en radios comerciales, la interferencia proviene típicamente de otros radios similares que son parte de todo un sistema, con la diferencia de que pueden ser controlados.

El criterio para *capacidad* en muchos sistemas comerciales no es el número de usuarios por unidad de ancho de banda, sino más bien el número de usuarios en un área.

Desde la primera publicación de comunicaciones de espectro disperso en 1985, se ha mostrado mucho interés en radios SS para aplicaciones comerciales y eso ha permitido muchos desarrollos significantes. En 1978 se reconoció que los radios digitales SS tenían potencialmente una alta capacidad para aplicaciones de radios móviles que los radios analógicos FM utilizados en ese tiempo [1].

Las primeras aplicaciones comerciales de radios SS fueron para comunicaciones satelitales con pequeñas estaciones terrestres. En estas aplicaciones cada emisión satelital requería de muchas estaciones terrestres de solo recepción, constituyendo un incentivo económico hacer dichas estaciones menos caras. También los *transponders satelitales* están mas limitados en potencia que en ancho de banda.

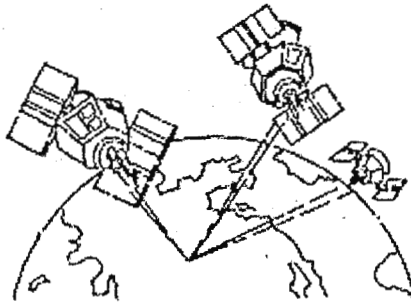


Figura 1. 1 Sistema GPS

Uno de los dispositivos de Espectro Disperso comerciales ampliamente utilizados es un terminal satelital de solo recepción llamado GPS (Global Positioning System). Fig. 1.1. Está basado en el sistema de posicionamiento global de militar de los E.U. de 24 satélites con órbitas no estacionarias que transmiten emisiones de señales de espectro disperso. Un receptor GPS puede simultáneamente recibir señales de 3 satélites y puede determinar su propia posición con un alto grado de exactitud.

Existieron dos eventos claves que impulsaron el desarrollo de aplicaciones comerciales utilizando SS:

1. En 1985 la FCC, de EU ,en su reglamento Parte 15 permite el uso sin licencia de radios SS en bandas ICM (aplicaciones Industriales, Científicas y Médicas), los cuales pueden usar potencias mayores de 1 Watt.
2. Se desarrolla un sistema CDMA para aplicaciones de telefonía celular móvil digital. Este sistema aumentaba 20 veces en capacidad a los radios celulares

analógicos que existían. Este también tenía mucha mayor capacidad que el estándar de celular digital IS-54 de EU.

Otras aplicaciones a nivel comercial de Espectro Disperso son las siguientes:

A. Aplicaciones Internas. (*Indoor*)

- Enlace de equipos de oficina a través de medios inalámbricos.
- Interconexión de PBX inalámbricas.
- Aplicaciones de puntos de venta POS, etc.

B. Aplicaciones Externas. (*Outdoor*).

- Transmisión de vídeo a grandes distancias.
- Interconexión de redes LAN inalámbricas ubicadas en diferentes edificios.
- Interconexión entre MAN, WAN inalámbricamente.

1.4.1 Reglamentación de la Comisión Federal de Comunicaciones FCC de EU.

Antes de 1985, radios con muy baja potencia (menor que 1mW) fueron permitidos para operar sin licencia en bandas ISM, luego se permitió el uso de radios de espectro disperso con potencias mayores que 1 Watt, pero

esencialmente con la misma densidad de potencia que los radios de banda angosta dentro de la banda ICM.

Reglamentación Parte 15 FCC

Bandas ICM

Frecuencia Portadora	Ancho de Banda
902 – 928 MHz	26 MHz
2.4000 – 2.4835 GHz	83.5 MHz
5.725 – 5.850 GHz	125 MHz

Debido a que no se utiliza ninguna licencia no se tiene protección a las interferencias provenientes de otro usuario del espectro. Sin embargo, SS posee un cierto grado de protección contra Interferencias , donde la mínima Ganancia de Procesamiento¹ debe ser 10 dB. [1]

1.4.2 Reglamentación para el uso de Espectro Disperso en El Salvador.

La reglamentación de la FCC ha sido adoptada en parte o completamente por muchos otros países; generalmente, Norte, Centro y Sur-América han establecido las mismas reglas.

¹ El concepto se explica en la sección 2.5.1.

En El Salvador existe el organismo del Estado denominado ***Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET)***, el cual se encarga de la reglamentación de las Telecomunicaciones y de la administración del espectro radioeléctrico (mostrado en la figura 1.2).



Figura 1. 2 Distribución de Espectro Electromagnético

Este organismo también ha adoptado la reglamentación de la FCC, adaptándola a las leyes constitucionales del país. Por lo cual, ha emitido el ***Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF)***, donde se definen las bandas de frecuencias para cada aplicación y la información de su regulación, observaciones y uso específico (O oficial, R regulado o L libre).

Se utilizan las mismas bandas de frecuencia para la emisión de señales de Espectro Disperso definidas anteriormente. La atribución de estas frecuencias se observan en los cuadros presentados en los anexos.

1.4.3 CDMA

La multicanalización o multiplexación es la transmisión de información de más de una fuente a más de un destino por el mismo medio de transmisión. Las transmisiones ocurren en el mismo medio, pero no necesariamente al mismo tiempo. El medio de transmisión puede ser un par de cables metálicos, cable coaxial, sistema de microondas terrestre/satelital o fibra óptica. Hay varias formas en que se puede lograr el proceso de multiplexación:

- Multiplexación por División de Frecuencia (FDM) . En este método las bandas de frecuencias adyacentes son limitadas a cierto ancho y colocadas una al lado de otra (canales) de tal forma que se transmita mucha información en un único sistema de comunicación. La interferencia entre varios mensajes es minimizada colocando una banda de guarda entre los canales.
- Multiplexación por División de Tiempo (TDM). Aquí muchas señales son muestreadas y entrelazadas en cierto orden de tal manera que utilicen la misma banda de frecuencia disponible. La interferencia es minimizada utilizando buenas técnicas de muestreo y filtrado .

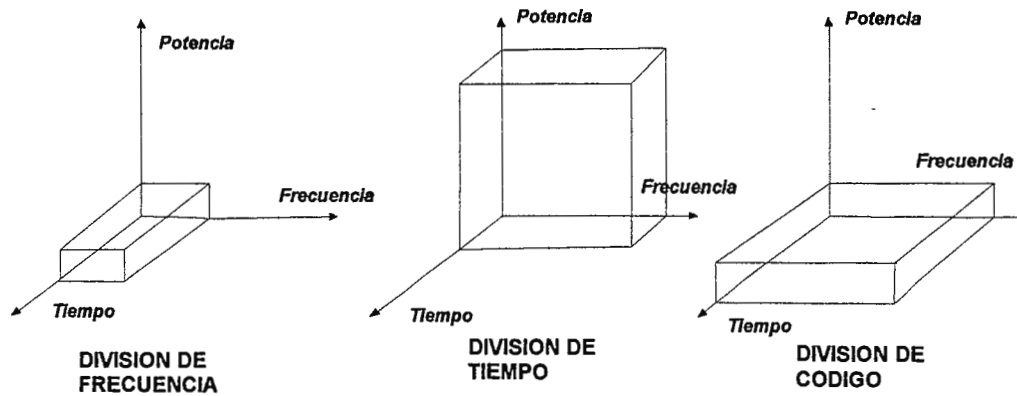


Figura 1.3 Sistemas de acceso

En contraste con estos métodos hay sistemas que dispersan su contenido de frecuencia para decrementar la densidad espectral transmitida a nivel más bajo. Esto es de interés en los sistemas satelitales, donde un número de usuarios accesan al sistema y ocupan una banda de frecuencia común. La clave del desarrollo de estos sistemas es la detección de una señal, en presencia de mínima interferencia de otras señales ocupando la banda, es la codificación.

- Este tipo de sistema de multiplexación es llamado **Acceso Múltiple por División de Código (CDMA)**. Es un importante método para la transmisión digital usado en sistemas satelitales.

Otra de las aplicaciones que tiene el CDMA es en *Sistemas Celulares Digitales* .

Un sistema celular móvil consiste básicamente en un sistema que utiliza el concepto de *reutilización de frecuencias*, en un área geográfica definida.

El funcionamiento del sistema celular se resume en la siguiente figura:

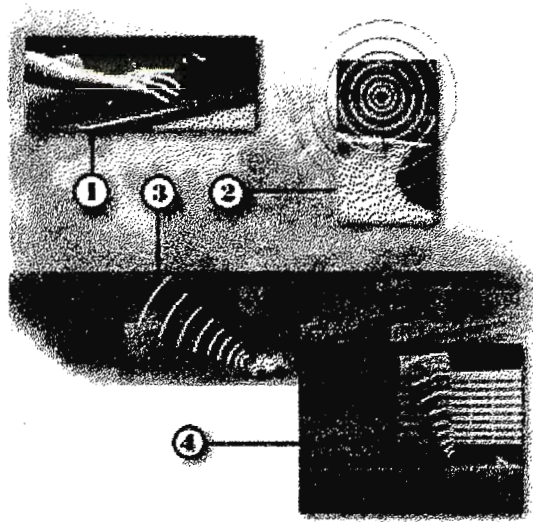


Figura 1. 4 Llamada en un sistema telefónico móvil

Cuando una llamada telefónica es efectuada (1), la señal es enviada a la estación de radio base (3). El centro de conmutación móvil (MSC) emite la requisición a las estaciones de radio base en el sistema celular. El número de identificación móvil, es emitido en los canales de control del sistema celular. El móvil recibe e identifica el número correspondiente. Luego se establece la comunicación con la estación de radio base indicada (4).

Las células pueden tener diferentes tamaños de cobertura, equipadas con su propia antena transmisora-receptora. Como la potencia de operación es baja, una frecuencia utilizada por una conversación en una célula puede ser reutilizada en otra que no esté cerca sin interferencia.

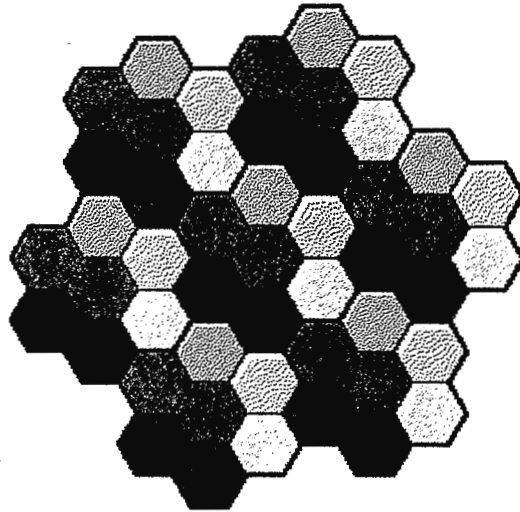


Figura 1. 5 Sistema celular

Cada célula representa un grupo de canales , donde celdas adyacentes no reutilizan las frecuencias, sino las más lejanas.

Los sistemas CDMA utilizan la técnica de Espectro Disperso de Secuencia Directa para asignar un código para cada enlace de comunicación. Solo el receptor con el código correspondiente puede tomar la información emitida.

Muchos usuario pueden utilizar el mismo ancho de banda sin interferirse . Esto conlleva a obtener una eficiencia en ambientes de múltiples usuarios en el mismo ancho de banda. El patrón de reutilización se puede observar en la figura 1.6, donde se podrá tener un mayor número de usuarios por área geográfica que anteriormente.

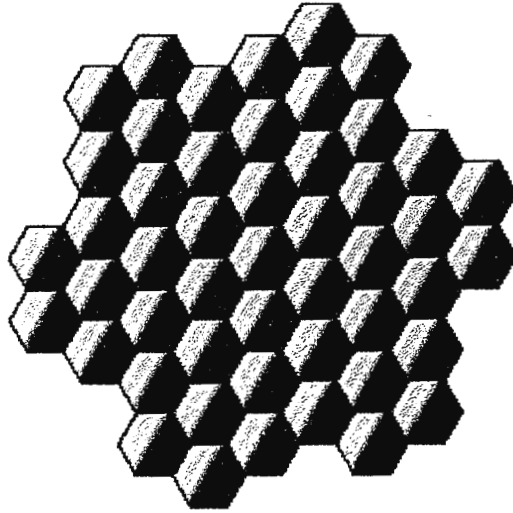


Figura 1. 6 Utilización de CDMA en sistemas celulares

Recientemente servicios de comunicación móviles están penetrando en nuestra sociedad rápidamente. Todos los sistemas de comunicación celular de la segunda generación actuales (PDC/GSM/IS54, IS95) han adoptado la tecnología digital. Sin embargo están limitados a servicios básicos tales como voz, facsímil y datos a baja velocidad (64 Kbps). Al acercarse al siglo 21 la demanda se incrementa para servicios de banda ancha, tales como acceso a Internet de alta velocidad y transmisión de vídeo de alta calidad. Los sistemas de comunicación móviles de la tercera generación llamados *International Mobile Communications – 2000* (IMT-2000) en la Unión Internacional de Telecomunicaciones deben ser diseñados para soportar servicios de banda ancha y velocidades tan altas como 2 Mbps con la misma calidad de las redes fijas. La tecnología CDMA es atractiva para el acceso inalámbrico por sus numerosas ventajas sobre TDMA y FDMA.

1.4.4 Redes Inalámbricas (WLAN)

Ahora, muchas oficinas están equipadas con cableado para Redes de Área Local (LAN) convencionales. La inclusión del cableado para LAN's en la planeación de un nuevo edificio de oficina es hecha como un procedimiento estándar, junto con la planeación de cableado para teléfono y energía eléctrica. El mercado de las Redes de Área Local Inalámbricas (WLAN's) se desarrollará sobre las bases del aprovechamiento de la solución inalámbrica para aplicaciones específicas.

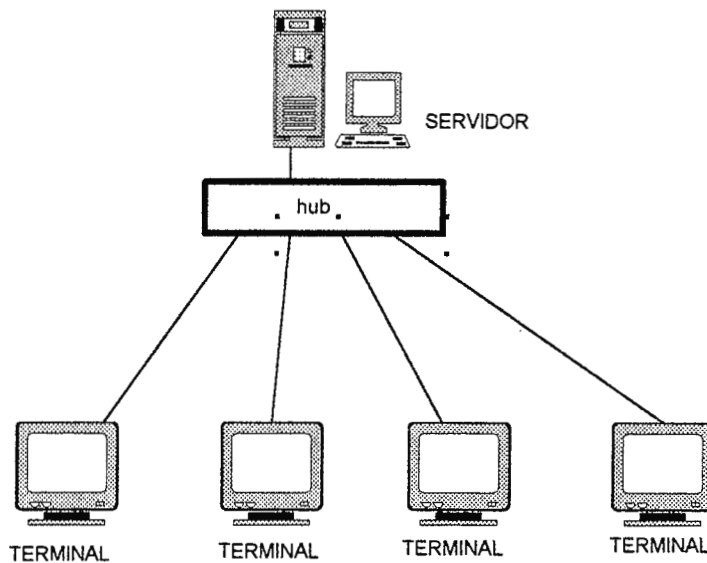


Figura 1.7 Ejemplo de LAN

La dirección del mercado para la industria de las LAN inalámbricas incluye aplicaciones en facilidades de fabricación, en oficinas con dificultades de cableado y en ramificación de oficinas y oficinas temporales. En facilidades de fabricación los techos no son diseñados para proveer un espacio para la distribución de cables. También la fabricación de los pisos usualmente no son configuradas con caminos, a través de los cuales, el cableado podría trasladarse de un lugar a otro. Cableado

subterráneo es una solución que sufre de instalación cara, reubicación y mantenimiento. Como un resultado, la solución natural para el trabajo en red sobre muchos lugares ya construidos es la comunicación inalámbrica. Las WLAN's son muy aplicadas en pequeñas oficinas sin cableado interno, tal como, pequeñas agencias bancarias donde pocas terminales son necesarias y donde ellas podrían frecuentemente ser reubicadas.

Los principales problemas tecnológicos para la implementación de WLAN's son:

1. Limitaciones de velocidad de datos causada por la característica de multicamino de la propagación de radio.
2. Dificultad con la cobertura de la señal entre edificios.
3. Necesidad para la implementación electrónica de baja potencia adecuada para terminales portátiles.

El más grande obstáculo para alcanzar inalámbricamente velocidades de comunicación de datos de multimegabits es la falta de una adecuada banda de frecuencia para una puntual comunicación de alta velocidad.

La bandas existentes CIM, asignada para aplicaciones de multiusuario, son adecuadas para WLAN's. De ahí que muchas redes inalámbricas utilizan tecnología de Espectro Disperso.

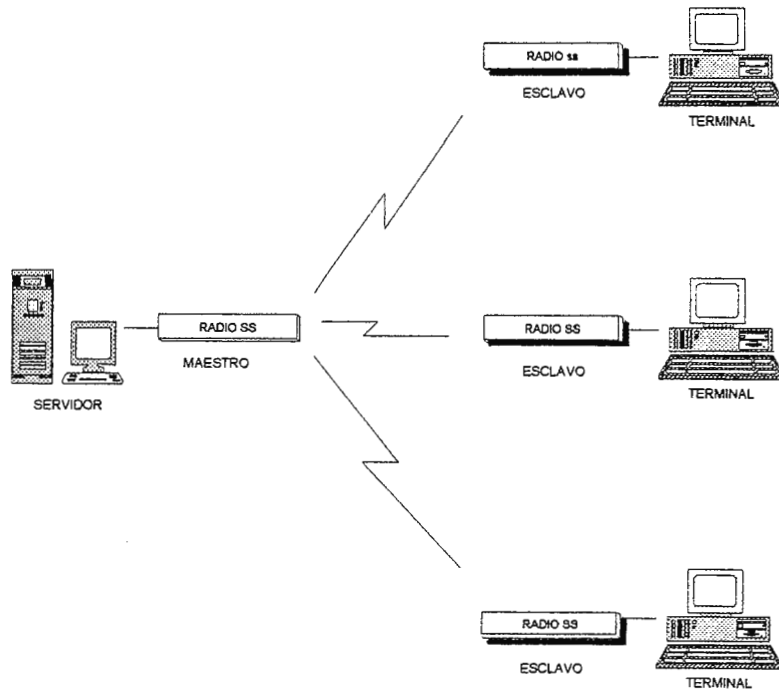


Figura 1.8 Ejemplo de WLAN

Las tecnologías existentes son: sistemas celulares con licencia operando a 18-19GHz, sistemas spread spectrum sin licencia operando en las bandas CIM y los sistemas infrarrojos (IR) de rayo directo o difuso (DF/IR, DB/IR). La siguiente tabla muestra las características de los sistemas comúnmente disponibles en el mercado de redes inalámbricas.

TECNICA	DF/IF	DB/IR	RF	RF/SS
Velocidad de datos	1 Mbps	10 Mbps	15 Mbps	2-6 Mbps
Movilidad	Buena	No	Mejor	Mucho mejor
Detectabilidad	Ninguna	Ninguna	Alguna	Poca
Rango	70-200 ft	80 ft	40-130 ft	100 – 800 ft
Frec. / long.onda	$\lambda = 800 - 900$ nm	$\lambda = 800 - 900$ nm	F = 18 GHz	F = 0.9, 2.4, 5.7 GHz
Pot. Radiada	-	-	25 mW	< 1W

CAPITULO II

ESPECTRO DISPERSO

2.1 Introducción.

Los sistemas de Espectro Disperso son aquellos en los cuales la señal transmitida es dispersada sobre una amplia banda de frecuencia, en efecto, mucho mayor, que el mínimo ancho de banda requerido para transmitir la señal de información a ser enviada. Las señales de espectro disperso pueden coexistir con señales de banda angosta, únicamente adicionando un ligero incremento en el piso de ruido que los receptores de banda angosta ven.

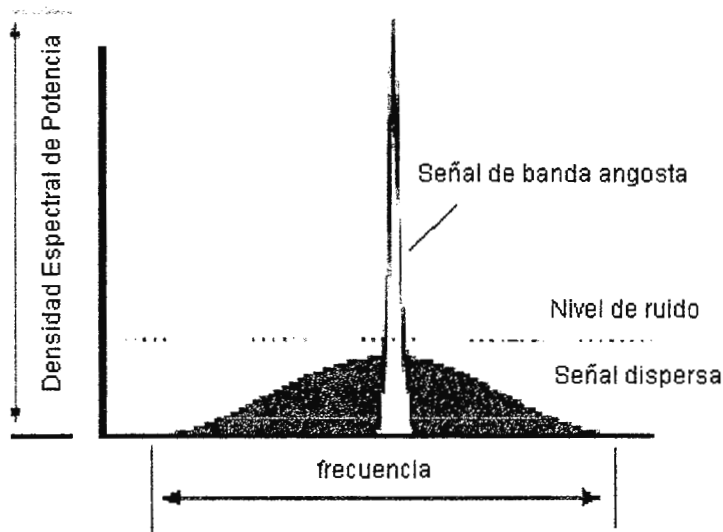


Figura 2. 1 Comparación de espectros

Los diseñadores de sistemas de comunicación están a menudo concentrados en la eficiencia con la cual el sistema utiliza la energía de la señal y su ancho de banda. En muchos sistemas de comunicaciones esos son los aspectos más importantes. Sin embargo, en algunos casos, existen situaciones en las cuales el sistema tiene que ser resistente a la interferencia externa, operar a baja energía espectral, proveer capacidad de acceso múltiple sin control externo y dar seguridad a los canales contra receptores no deseados. Así, algunas veces es necesario sacrificar algo de eficiencia del sistema de manera que amplíe esas funciones. Las técnicas de espectro disperso permiten cumplir tales objetivos.

Todos los sistemas de Espectro Disperso (SS) tienen que satisfacer dos criterios:

- 1. El ancho de banda de la señal transmitida será mucho mayor que el de la señal de información.*
- 2. El ancho de banda transmitido será determinado por alguna función que es independiente del mensaje y es conocido para el receptor.[13]*

2.2 Características básicas.

Las características básicas de los sistemas de Espectro Disperso se describen de la siguiente manera [25]:

1. La portadora es una señal de banda ancha imprevisible o pseudoaleatoria.
2. El ancho de banda de la portadora es mucho más amplio que el ancho de banda de los datos modulados. (Ver figura 2.2)
3. La recepción es completada a través de la correlación existente entre la señal de banda ancha recibida con una réplica generada sincrónicamente de la portadora de banda ancha.

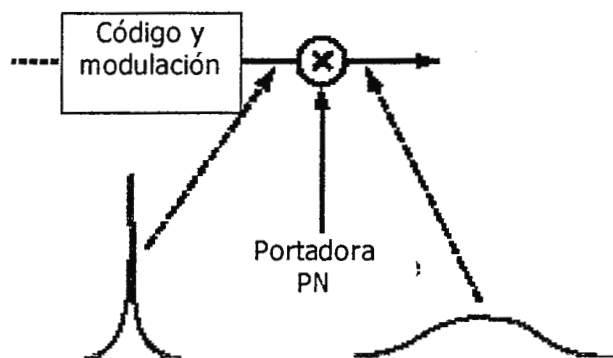


Figura 2. 2 Comparación de señales

En caso de sistemas de Espectro Disperso (SS), si una señal es llamada pseudoaleatoria, significa que ésta aparenta ser aleatoria, pero no lo es, ya que está puede ser determinada a través de un algoritmo y la información está contenida dentro de ella. Una de las más importantes características de las señales SS es que contienen un gran número de formatos de señalización muy

diferentes usados para la comunicación de datos. Significa que el receptor, el cual detecta uno de estos formatos, no puede detectar ningún otro formato dentro de un único mensaje.

El número de formatos usados en sistemas SS es llamado el ***Factor de Multiplicidad***. La mayoría de los sistemas de comunicación ampliamente conocidos, tienen un factor de multiplicidad cercano a la unidad mientras que los sistemas SS tienen un factor de multiplicidad de el orden de miles. Además, puede notarse que un perturbador intentando interferir con comunicaciones de Espectro Disperso tienen que conocer exactamente cual factor de señalización esta siendo utilizado, lo cual no es muy fácil considerando el tamaño del factor de multiplicidad de SS.

Se reconocen al menos cinco *atributos de desempeño importantes* de sistemas SS los cuales son adecuados a la naturaleza de las características de la señal [12]:

- *Baja Probabilidad de Intercepción (LPI)* puede ser realizada con una alta ganancia de procesamiento y señales portadoras impredecibles cuando la potencia es dispersada finamente y uniformemente en el dominio de la frecuencia.

La dispersión del espectro complica el problema de detección de señal para un receptor vigilante en dos formas:

- 1) Una banda de frecuencias debe ser monitoreada.
 - 2) La densidad de potencia de la señal a ser detectada es reducida en el proceso de dispersión del espectro.
- La *capacidad Anti-perturbaciones (anti-jam)* puede ser asegurada por medio de una señal de portadora impredecible. El perturbador (jammer) no puede usar la observación de la señal para mejorar su desempeño en este caso, y debe de contar con técnicas de obstrucción que son independientes a la señal a ser obstruida. Mostrado en la figura 2.3.
 - La *Alta Resolución de Tiempo* es lograda a través de la detección de correlación de señales de banda ancha. Esto nos indica la capacidad de resolución de tiempo y frecuencia de la estructura de la señal SS, la habilidad del receptor del detector de correlación para discriminar versiones de la señal transmitida que no llegan en sincronismo con el reloj del receptor. Diferencias en el tiempo de llegada (Time of Arrival, TOA) de la señal de banda ancha, es inversamente proporcional al ancho de banda sobre la cual el correlador actúa. Esta propiedad puede ser utilizada para suprimir multicaminos y, de la misma manera, para hacer inefectiva la repetición de los obstructores.

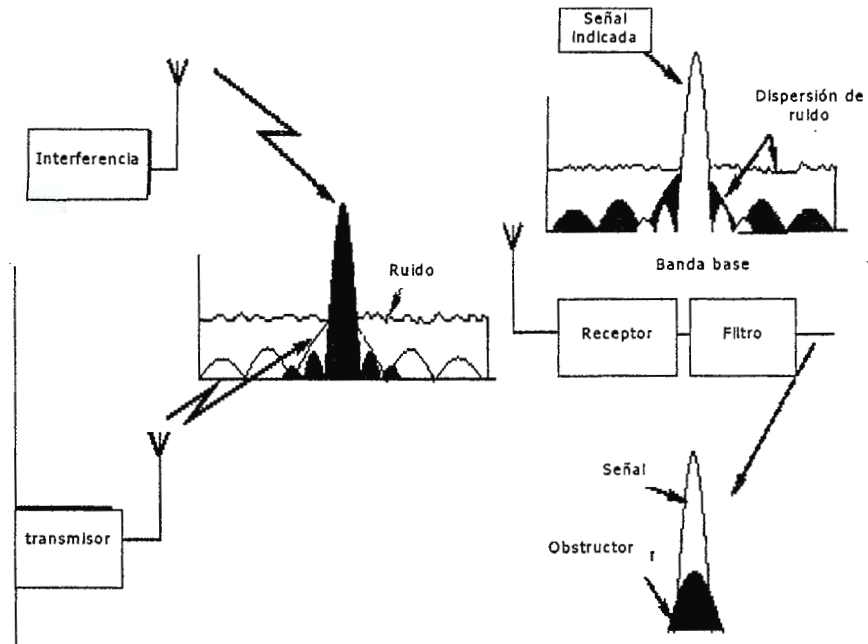


Figura 2. 3 Recuperación de señal en presencia de ruido

- Pares Transmisores - Receptores usando portadoras pseudoaleatorias independientes pueden operar en el mismo ancho de banda con *mínima interferencia co-canal*. Estos sistemas son llamados *Sistemas de Múltiple Acceso por División de Código de Espectro Disperso (CDMA)*.
- *Capacidad criptográfica* que resulta cuando la modulación de datos no puede ser distinguida de la modulación de la portadora, y la modulación de la portadora es efectivamente aleatoria para un observador no deseado. En este caso la modulación de la portadora SS toma el papel de una clave en un sistema cifrado. Un sistema utilizando datos no reconocibles y modulación de portadora SS es una forma de un sistema privado.

2.3 Configuraciones de Sistemas de Espectro Disperso.

Tres configuraciones de sistemas SS que el diseñador puede utilizar, para asegurar que el transmisor y el receptor operen en sincronismo con el mismo conjunto aleatorio de señales son las siguientes [25]:

2.3.1 *Sistemas de Referencia Transmitida* (Transmitted Reference, TR)

Realizan la detección a través de la transmisión de dos versiones de la portadora, una modulada por los datos ($x(t)$) y la otra sin modulación ($r(t)$), ver *figura 2.4a*. Estas señales son recuperadas separadamente por el receptor (una puede estar desplazada en frecuencia con respecto a la otra) siendo introducidas a un detector de correlación, el cual extrae el mensaje. La portadora de banda ancha en un sistema SS-TR puede ser una fuente de ruido de banda ancha, verdaderamente aleatoria, desconocida por el transmisor y el receptor hasta el instante que es generada para el uso en la comunicación.

Un sistema SS-TR tiene varias desventajas fundamentales las cuales son:

- 1) Un obstructor puede en un principio transmitir un par de señales las cuales son aceptadas por el receptor.
- 2) Ocurre un funcionamiento relativamente pobre a niveles bajos de señal, ya que el ruido y la interferencia están presentes sobre ambas señales, las cuales se correlacionan en el receptor.

- 3) El dato es fácilmente determinado por un receptor no deseado quien tiene acceso a ambas señales transmitidas.
- 4) Los dos canales del sistema TR pueden requerir ancho de banda extra y ser de difícil acople.

Algunos de los problemas asociados con el sistema TR pueden ser disminuidos por el cambio aleatorio de parámetros de uno de los enlaces de comunicación.

2.3.2 *Sistemas de Referencia Almacenada* (Stored Reference, SR)

En estos sistemas tanto el receptor como el transmisor guardan una "copia" de la misma señal pseudoaleatoria, las cuales son idénticas en sus características esenciales. Ver figura 2.4.b. El generador de portadora en el receptor es ajustado automáticamente con el objetivo de sincronizar su salida con la portadora recibida. La detección de los datos es efectuada por la correlación cruzada. Los generadores son inicializados antes de usarlos por la determinación de ciertos parámetros en el algoritmo generador, de esta manera se le niega al obstructor el conocimiento de la forma de onda que está siendo usada.

2.3.3 *Sistemas de Filtro Acoplado* (Matched Filter, MF)

Producen una señal de banda ancha a través de la utilización de un filtro el cual posee una respuesta impulsiva controlada pseudoaleatoriamente y de banda

ancha. La detección de la señal en el receptor emplea un filtro con las mismas características, (de ahí el nombre de filtro acoplado). La característica pseudoaleatoria de la respuesta de impulso garantiza la seguridad de la señal transmitida. Ver figura 2.4.c.

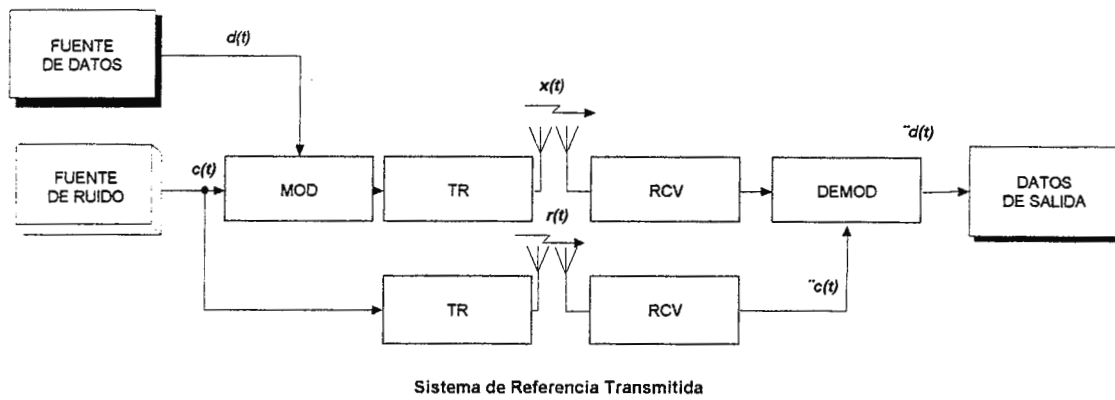


Figura 2. 4.a Sistema de referencia transmitida

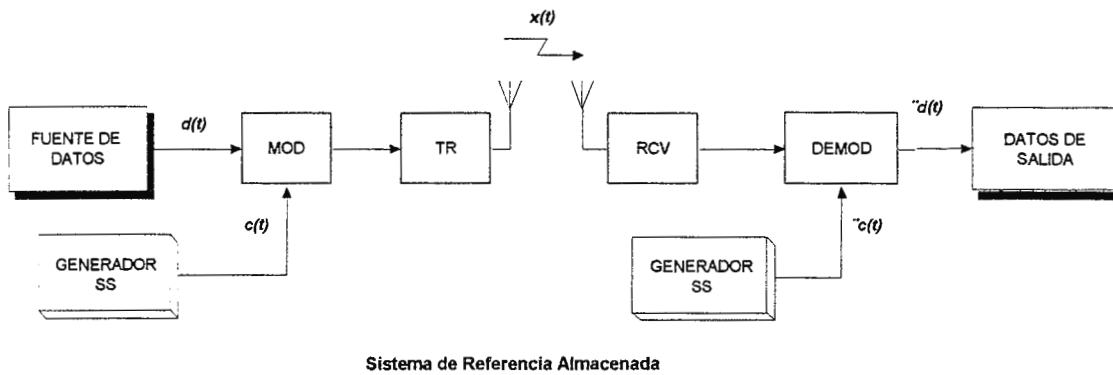


Figura 2. 4. b Sistema de referencia almacenada

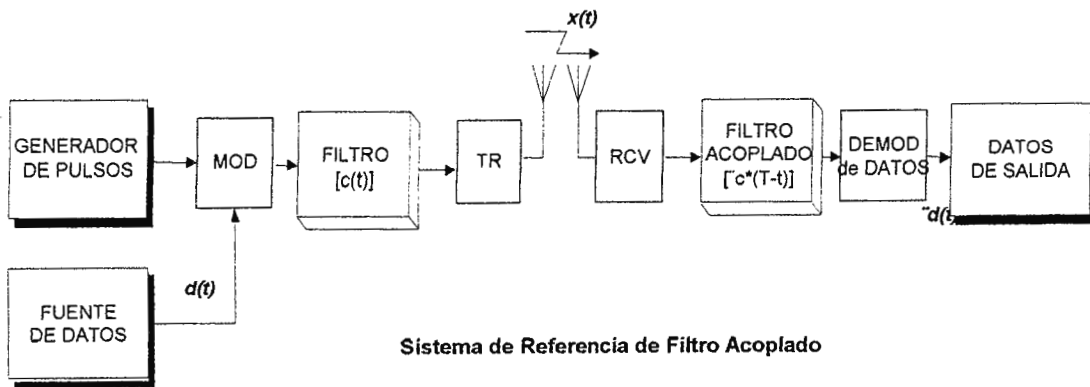


Figura 2. 4.c Sistema de referencia de filtro acoplado

2.4 Técnicas de Modulación.

Otra manera de clasificar los sistemas de Espectro Disperso es *a través de la técnica de modulación* utilizada para generar las señales SS. Algunas de las *técnicas utilizadas en sistemas de Referencia Almacenada (SR)* son brevemente explicadas a continuación [25]:

2.4.1 Ruido como portadora

En los primeros desarrollos de la técnica de Espectro Disperso , simplemente se utilizó Ruido como señal portadora. Esta técnica dio una aleatoriedad superior pero podía ser efectuada solamente en sistemas TR. Daba oportunidad a que interceptores pudieran tener acceso a ambos canales, de tal forma que se reducía el factor de multiplicidad a 1 (no capacidad anti-intercepción).

2.4.2 *Secuencia Directa*

Con el objeto de realizar la dispersión, en sistemas de *Secuencia Directa* (*Direct Sequence, DS*) son empleadas secuencias Pseudoaleatorias manipuladas por desplazamiento de fase.

Los datos a transmitir se modifican por medio de una secuencia binaria que tiene propiedades aleatorias, de tal forma que el código pseudoaleatorio (PN) resultante es mezclado con una portadora de RF para producir la señal DS.

Se enfocará más adelante el estudio en esta técnica en particular. (figura 2.5)

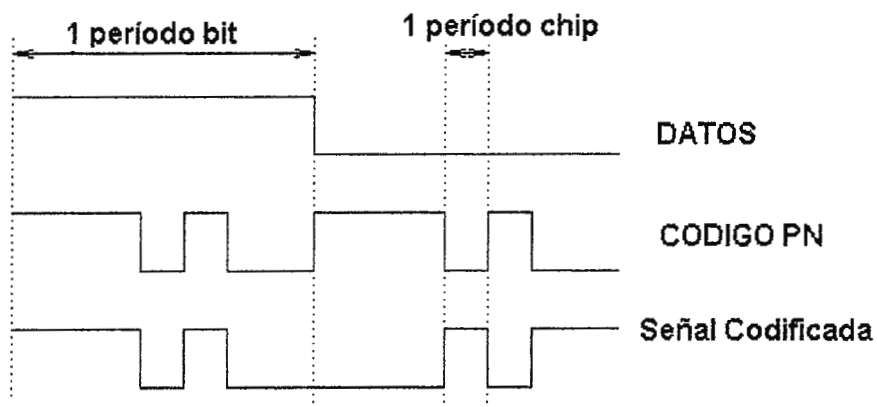


Figura 2. 5 Codificación de señales PN

2.4.3 *Frecuencia Tambaleante.*

Otra técnica, " basada" de los principios de la tecnología del radar, es la *modulación en frecuencia con frecuencia tambaleante* (wobbled) sobre un amplio ancho de banda.

2.4.4 Saltos de Frecuencia.

Sistemas de *Saltos de Frecuencia* (*Frequency Hopping, FH*) manejan un sintetizador de frecuencias con una secuencia pseudoaleatoria de números, abarcando el rango del sintetizador, para realizar la dispersión de la portadora. En la forma básica de esta técnica, los datos son usualmente manipulados por desplazamiento de frecuencia (FSK) en la portadora .

En un sistema de Saltos de Frecuencia (FH) , *la frecuencia es constante en cada tiempo de chip , pero cambia de chip a chip.* Un ejemplo de señal FH es mostrada en la figura 2.6

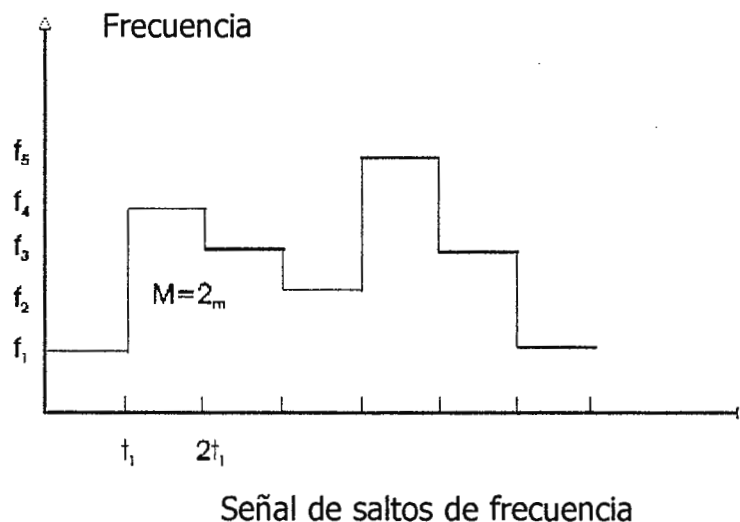


Figura 2. 6 Señal de saltos de frecuencia

Otra forma de visualizar como trabaja FH, tomando en cuenta los parámetros de la señal, se observa en la figura 2.7, donde la frecuencia portadora

“salta” de acuerdo a una secuencia. De esta manera el ancho de banda es incrementado.

Una desventaja de Saltos de Frecuencias (FH) es que es difícil obtener una ganancia de procesamiento alta, es decir se tiene limitada la velocidad de los saltos con respecto a la velocidad de la información a transmitir. Se necesita además un sintetizador de frecuencia que sea capaz de desarrollar saltos rápidos sobre las frecuencias portadoras. (figura 2.7)

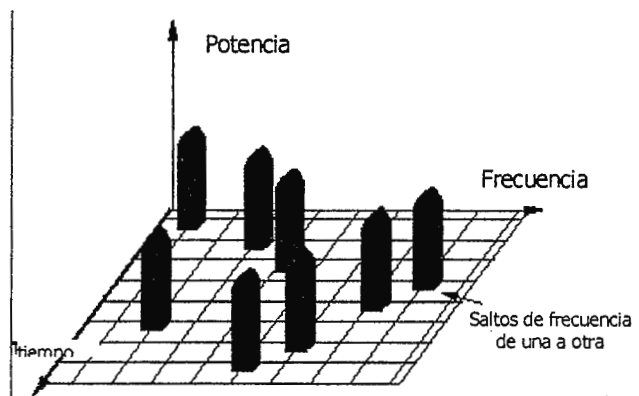


Figura 2. 7 Ilustración del concepto de Saltos de Frecuencia

Los sistemas de saltos de frecuencia (FH) pueden ser divididos en:

- saltos rápidos (*fast-hop*) o
- saltos lentos (*slow-hop*).

Un sistema de salto rápido es aquel en el cual la velocidad de salto es más grande que la velocidad de bit del mensaje y en el sistema de salto lento la velocidad de salto es más pequeña que la velocidad de bit del mensaje.

Un sistema FH es mostrado en el diagrama de bloques de la figura 2.8.

2.4.5 Saltos de Tiempo

Otra técnica utilizada, *Saltos de Tiempo* (*Time Hopping, TH*) dispersa la portadora por medio de pulsos transmitidos angostamente espaciados aleatoriamente

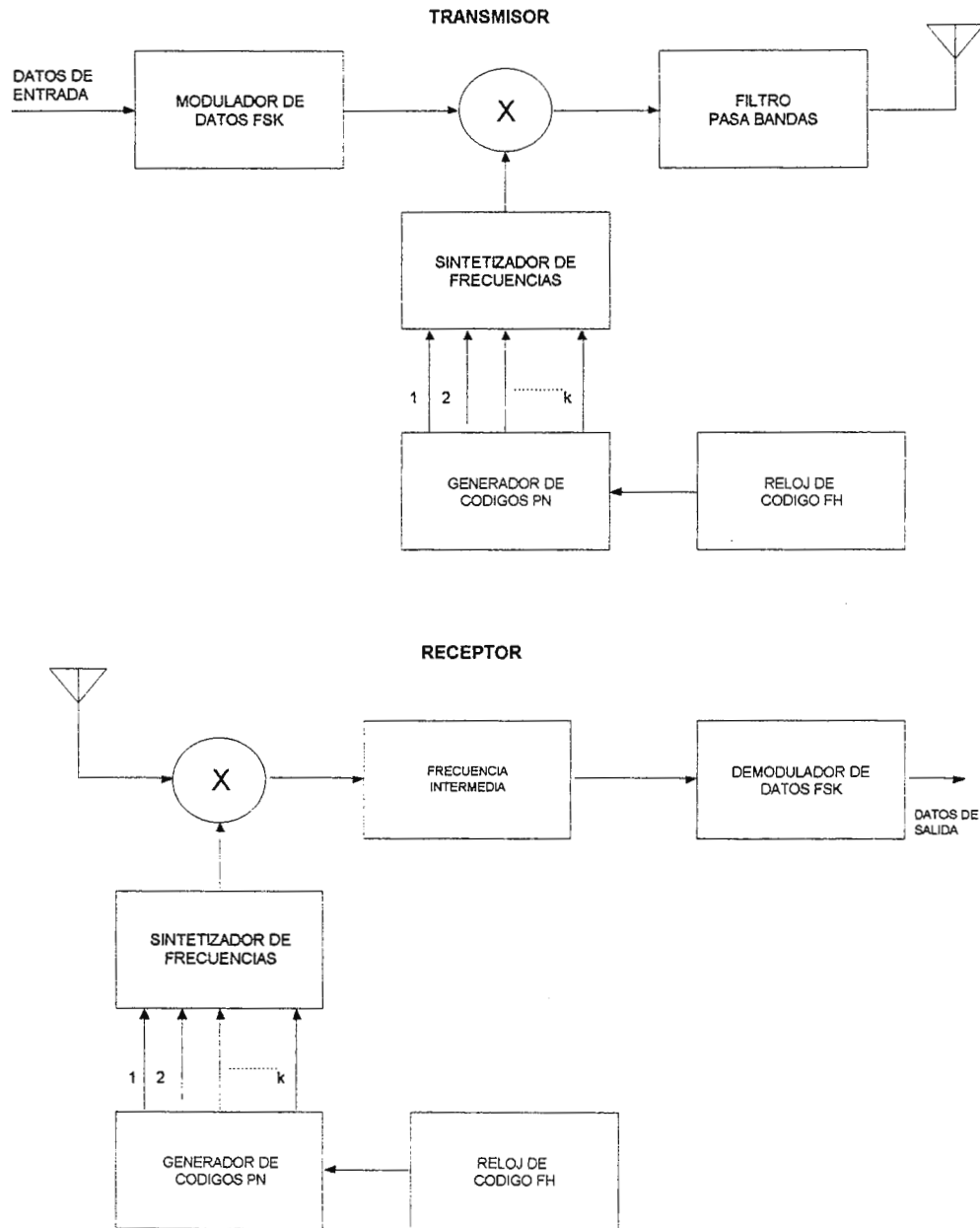


Figura 2. 8 Diagrama de bloques de sistema de Saltos de frecuencia

Salto de tiempo TH, también puede ser utilizado como una forma de multiplexación de tiempo permitiendo el uso de una antena para transmisión y recepción.

Una señal típica de saltos de tiempo es ilustrada en la figura 2.9. Es dividida en tramas, las cuales a su vez están divididas en intervalos de tiempo M . El mensaje es transmitido solamente en un intervalo de tiempo en la trama. El intervalo de tiempo es seleccionado usando un generador de secuencia pseudoaleatoria [16].

Todos los bits de mensajes recolectados en la trama previa son luego transmitidos en una ráfaga durante el intervalo de tiempo seleccionado por el generador PN.

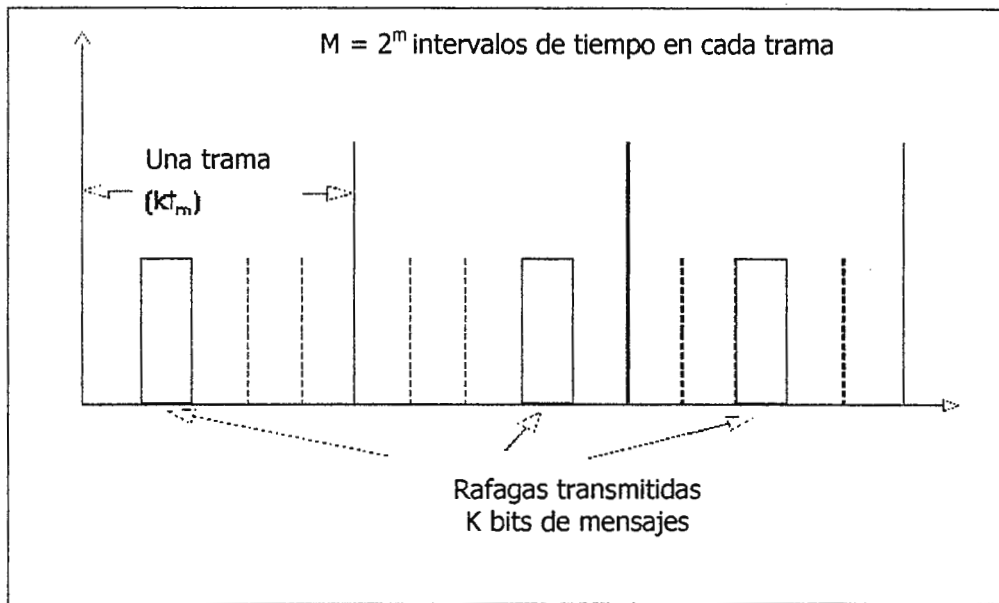


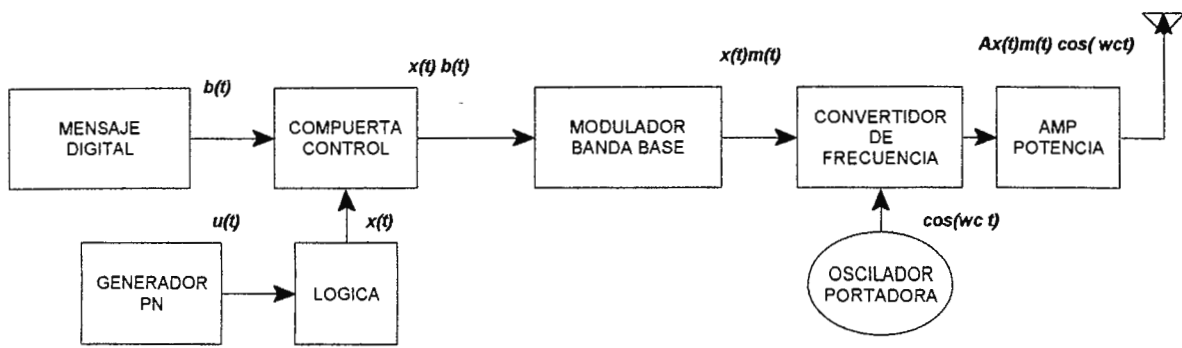
Figura 2. 9 Forma de Onda de saltos de tiempo

En Time Hopping el período de bit (T_b) puede ser dividido en un número de subintervalos. Uno de esos subintervalos es seleccionado pseudoaleatoriamente en cada intervalo de bit y un pulso es transmitido, el cual transporta el valor del bit. En un sentido "Time Hopping" utiliza intervalos de tiempo o subintervalos de una manera análoga a como saltos de frecuencia usa las frecuencias.

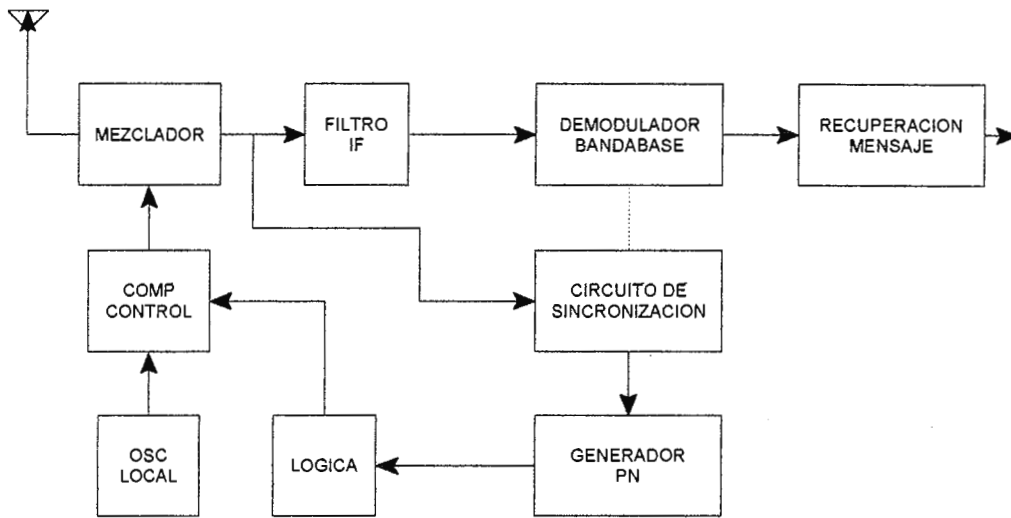
En saltos de tiempo el nivel de potencia es incrementado para mantener el valor de energía por bit constante. Consecuentemente la densidad espectral de potencia para señales de salto en tiempo es cercana a la misma de una señal convencional que tenga la misma energía por bit.

Un diagrama a bloques de un transmisor y un receptor de saltos de frecuencia se muestra en la figura . En el transmisor la lógica provee un pulso corto de duración "c" en cualquier T_b/c subintervalo, donde T_b es el período del bit.

El subintervalo es seleccionado por medio del generador PN. Por ejemplo, varios chips de un generador PN pueden ser capturados y usados para inicializar un contador. Cuando el contador alcanza el valor de cero u pulso corto de duración c se genera. La posición del pulso parecería ser aleatoria y uniformemente distribuida sobre el intervalo del bit, pero podría ser predecido por sincronización apropiada en el receptor indicado. Multiplicando el flujo aleatorio de pulsos y el flujo de datos se produce un flujo aleatorio conteniendo el valor del bit apropiado. Estos pulsos cortos son modulados (BPSK), elevados en frecuencia, amplificados para luego ser transmitidos.



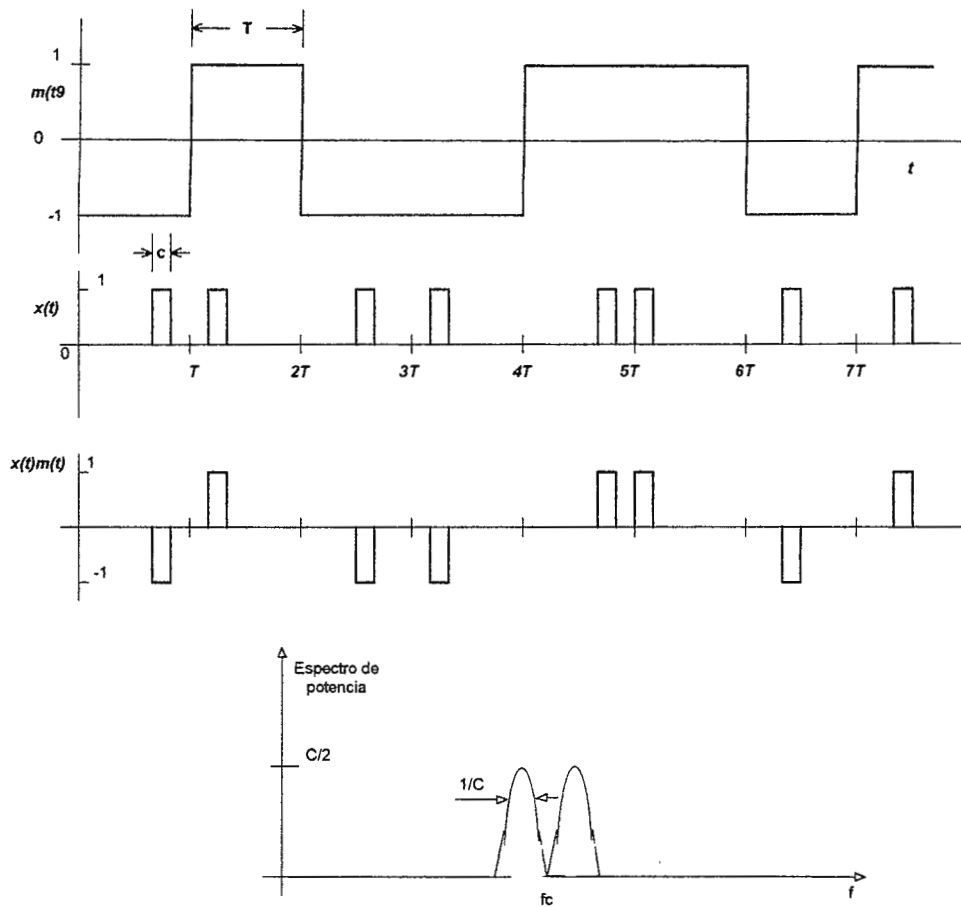
TRANSMISOR DE SALTOS DE TIEMPO



RECEPTOR DE SALTOS DE TIEMPO

Figura 2.10 Diagrama a bloques de TH

La técnicas de saltos de tiempo usualmente es utilizada conjuntamente con otras Técnicas de modulación de espectro disperso.



SEÑALES DE SALTO DE TIEMPO

Figura 2.11 Señales de saltos de tiempo.

2.5 Modelo de un Sistema de Comunicación Digital de Espectro Disperso.

El siguiente diagrama de bloques (figura 2.10) ilustra los elementos básicos de un sistema de comunicación digital de Espectro Disperso .

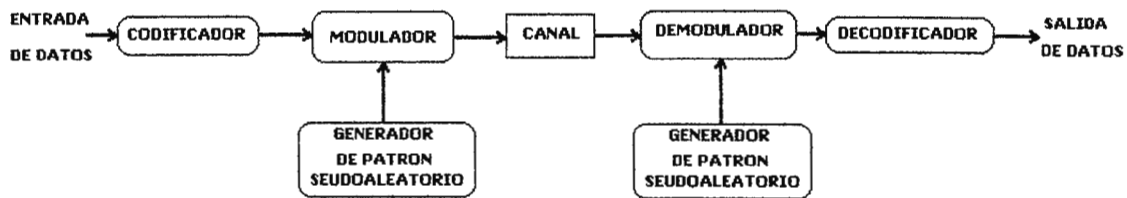


Figura 2. 12 Modelo de sistema de comunicación digital SS

Como puede observarse, este sistema posee etapas de codificación y decodificación, modulador y demodulador, generadores de patrones pseudoaleatorios tanto en la etapa de transmisión como en la de recepción.

Los generadores emiten una secuencia binaria pseudoaleatoria (PN), la cual es impresa en la señal transmitida en el modulador y es removida de la señal recibida en el demodulador.

La sincronización de la secuencia PN generada en el receptor con la secuencia PN contenida en la señal recibida es requerida con el fin de demodular correctamente la información. Antes de la transmisión de la información se debe efectuar la sincronización entre el emisor y el receptor a través de la transmisión de un patrón fijo pseudoaleatorio, el cual, el receptor se encargará de reconocer, en presencia de interferencia, con una alta probabilidad. Después de que se ha establecido la sincronización se procede a enviar la información.

La interferencia es introducida en la señal transmitida a través del canal. Las características de la interferencia dependen hasta cierto punto de su origen. Puede ser categorizada ya sea de banda ancha o banda angosta relativo al ancho de banda de la señal transmitida, o también ya sea continua en tiempo o discontinua (pulsante). Por ejemplo, una señal obstructora de una o más sinusoides en el ancho de banda usado para transmitir la información. Las frecuencias de las sinusoides pueden mantenerse fijas o pueden cambiar con el tiempo de acuerdo a algún patrón.

2.5.1 Definición de Parámetros generales.

De manera más general un sistema de Espectro Disperso básico se muestra en la siguiente figura:

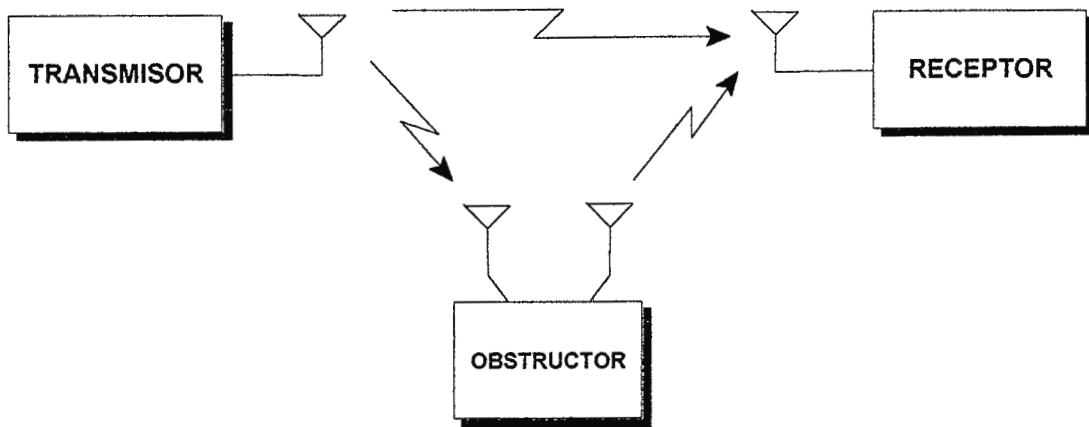


Figura 2. 13 Sistema básico de SS

De donde se definen los siguientes parámetros:

W_{ss} = ancho de banda total disponible de la señal SS

R_b = velocidad de los datos en bps.

S = potencia de la señal SS. } en la entrada del receptor
 J = potencia del obstructor }

El ancho de banda total disponible de la señal SS, W_{ss} , no necesariamente es continuo, es decir que dependiendo de la técnica que se utilice para un sistema determinado, la señal utilice parte del espectro en un tiempo dado, y además, podría ser que un sistema SS en particular no utilice todo el ancho de banda disponible.

La velocidad de los datos, R_b , es la velocidad del flujo de información, sin codificación, a ser transmitida en el enlace de comunicación.

La potencia de la señal S y la potencia del obstructor J son las potencias promedio recibidas por el receptor indicado.

Independientemente de la forma de la señal SS y del obstructor, se define también la relación *energía de bit a ruido obstructor* como:

$$\frac{E_b}{N_j} = \frac{W_{SS}S}{R_b J} \quad (\text{ec. 2.1})$$

de donde se define la *Ganancia de Procesamiento (PG)* como:

$$PG = \frac{W_{SS}}{R_b} \quad (\text{ec. 2.2})$$

y la relación de *potencia de obstructor a potencia de la señal SS*: $\frac{J}{S}$ (ec. 2.3)

En decibeles la expresión se vuelve:

$$\frac{E_b}{N_j} (\text{dB}) = [PG]_{\text{dB}} - [J/S]_{\text{dB}} \quad (\text{ec. 2.4})$$

$$\text{donde: } [PG]_{\text{dB}} = 10 \log_{10}(W_{SS}/R_b) \quad \text{y} \quad [J/S]_{\text{dB}} = 10 \log_{10}(J/S)$$

Las definiciones son independientes del tipo de sistema de Espectro Disperso utilizado, incluyendo el uso de codificación. El propósito de definir estos parámetros es que el funcionamiento de diferentes sistemas SS puedan ser comparados bajo el mismo punto de vista.

2.5.2 Formas de Onda de señales obstructoras o interferentes.

Hay un número infinito de posibles señales obstructoras que pueden considerarse, incluyendo el ruido. Un tipo de señal obstructora se puede

seleccionar para ilustrar los conceptos de la comunicación SS e incluir los peores tipos de señales en los sistemas SS de interés.

“No hay un única señal obstructora que sea la peor para todos los sistemas SS, y no hay un único sistema SS que sea el mejor contra los tipos de señales obstructoras”[1].

Se consideran los siguientes tipos de señales obstructoras o interferentes:

- **Ruido de Banda parcial o de banda ancha.**

Un obstructor de ruido de banda amplia dispersa un ruido Gaussiano de potencia total J sobre el rango completo de frecuencias del ancho de banda W_{ss} , como se muestra en la figura 2.12.

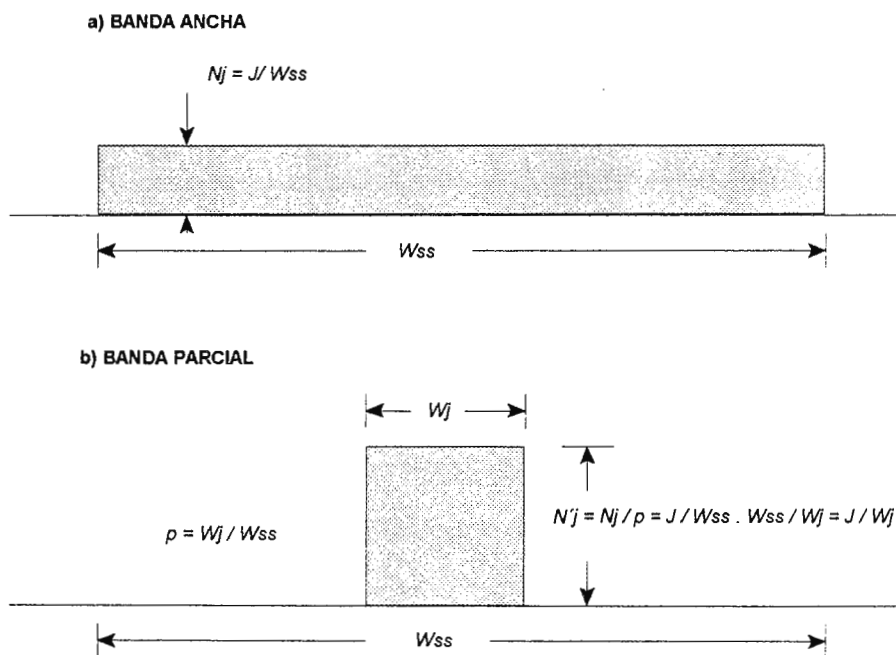


Figura 2. 14 Distribución de obstructor sobre banda ancha y parcial

Esto resulta en una densidad espectral de potencia de ruido: $N_j = \frac{J}{W_{ss}}$ (ec. 2.5)

La señal de *energía por bit* es ST_b , donde $T_b = 1/R_b$ entonces:

$$E_b = \frac{S}{R_b} \quad (\text{ec. 2.6})$$

Este tipo de obstructor no explota el tener cualquier conocimiento del sistema de comunicación SS sino que solamente su dispersión de banda W_{ss} .

La probabilidad de error de bit resultante del sistema anti-obstrucción es la misma que la esperada con Ruido blanco gaussiano aditivo de densidad espectral igual a N_j . Se puede esperar que otras formas de señales obstructoras presenten un peor comportamiento con la misma potencia J .

Para mejorar el desempeño de los sistemas SS se pueden utilizar técnicas de Codificación y Entrelazado reduciendo de esa manera la efectividad del obstructor.

" Un sistema de comunicación anti-obstrucción efectivo es uno que presente un comportamiento cercano o mejor al desarrollado con ruido aditivo gaussiano, independientemente de la forma de la señal obstructora" [1]

Una señal interferente de ruido de ancho de banda parcial se muestra también en la figura anterior. Se observa que el ruido se dispersa solamente en un rango de frecuencias de ancho de banda W_j , el cual es una porción del ancho de banda total de dispersión W_{ss} . Se puede definir a ρ como la relación:

$$\rho = \frac{W_j}{W_{ss}} \leq 1 \quad (\text{ec 2.7})$$

la cual es la fracción de la banda de espectro disperso total, que tiene ruido de densidad espectral de potencia:

$$\frac{J}{W_j} = \frac{J}{W_{ss}} \frac{W_{ss}}{W_j} = \frac{N_j}{\rho} \quad (\text{ec. 2.8})$$

• **Obstructores de Onda Continua y de Multitono.**

Una señal obstructora de onda continua (CW) tiene la forma:

$$J(t) = \sqrt{2J} \cos[\omega t + \theta] \quad (\text{ec. 2.9})$$

mientras que una señal de multitono usando Nt tonos de igual potencia pueden ser descritos como:

$$J(t) = \sum_{l=1}^{Nt} \sqrt{2J/Nt} \cos[\omega_l t + \theta] \quad (\text{ec. 2.10})$$

Estas señales se muestran en la siguiente figura:

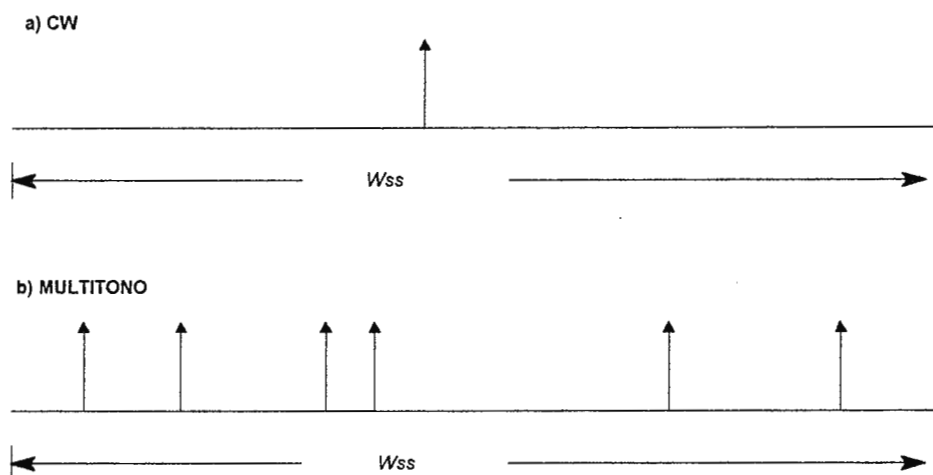


Figura 2. 15 Obstructor de onda continua y multitono

• **Obstructor pulsante.**

Un obstructor pulsante es uno que transmite con potencia $J_{pico} = J/\rho$, para una fracción ρ de tiempo, y nada en la fracción restante $1-\rho$ de tiempo.

Durante el intervalo del pulso, ruido o tonos pueden ser transmitidos mientras la potencia promedio desarrollada es J .

- **Obstructor Repeat-back.**

Un obstructor repeat-back primero estima los parámetros de la señal SS interceptada y luego transmite señales obstructoras que usan esta información.

CAPITULO III

ESPECTRO DISPERSO DE SECUENCIA DIRECTA

3.1 Introducción.

Los términos de Secuencia Directa y Pseudo-Ruido son utilizados intercambiamente en la literatura y ambos se refieren a la misma técnica de Espectro Disperso. Se puede decir que la señal de información en transmisión DS SS es dispersada en banda base y luego modulada en una segunda etapa. En el receptor, la señal primero es demodulada y luego "unida" para recobrar la información original. Este procedimiento es descrito en el siguiente diagrama de bloques [1]:

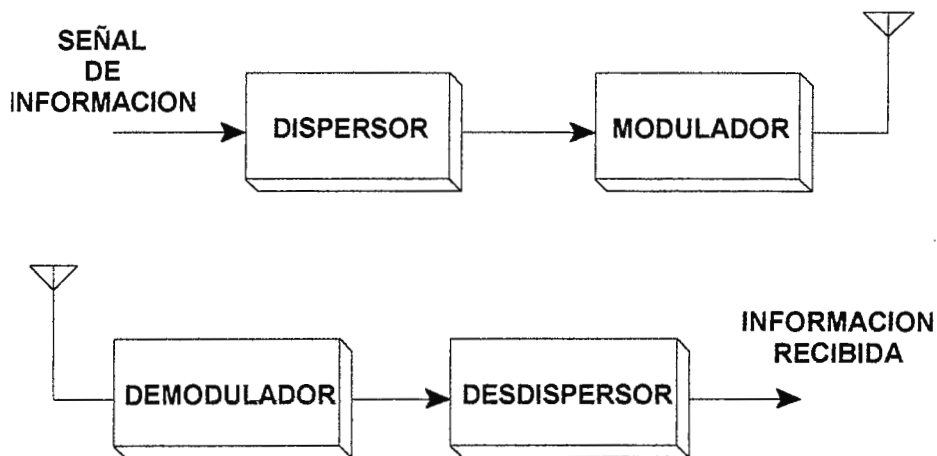


Figura 3. 1 Sistema DSSS

Un transmisor típico de Secuencia Directa es representado por el siguiente diagrama de bloques [1]:

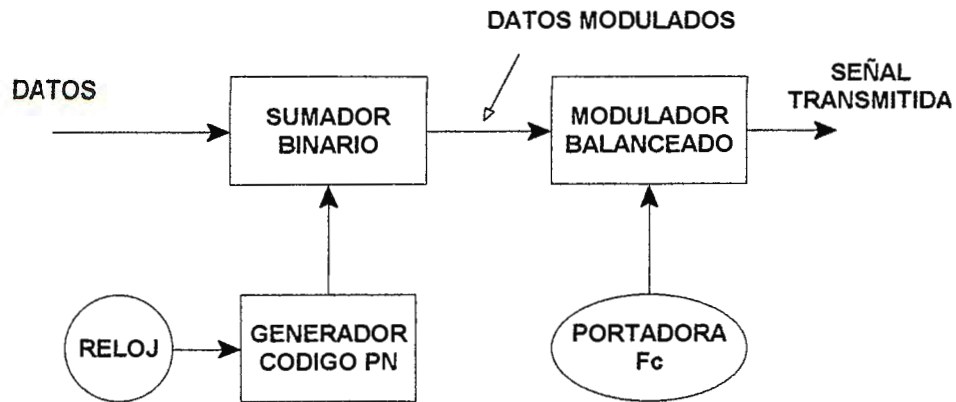


Figura 3. 2 Transmisor DS

El transmisor esta compuesto de un generador de códigos pseudoaleatorio, un sumador binario y un modulador balanceado. La salida binaria del generador PN es sumada,(módulo 2), al mensaje binario, y la suma es usada para modular una portadora. La modulación puede ser tal que se obtenga una señal PSK.

Un simple ejemplo de dispersión y "alargamiento" de señal DS-SS es ilustrada en la figura 3.3 [7].

Un pulso cuadrado con duración de T_b representa parte de una señal binaria. Su transformada de Fourier es una función con un valor de cero en $1/T_b$. Esta señal de información es multiplicada por una secuencia pseudoaleatoria con pulsos angostos de duración de tiempo T_c y cero en $1/T_c$, de tal manera que forman una señal de Espectro Disperso.

Puede observarse que la señal SS tiene , en realidad, un ancho de banda mucho mas grande que el de el mensaje transmitido. El incremento de tiempo más pequeño en la secuencia PN es T_c y es referido como un "chip time".

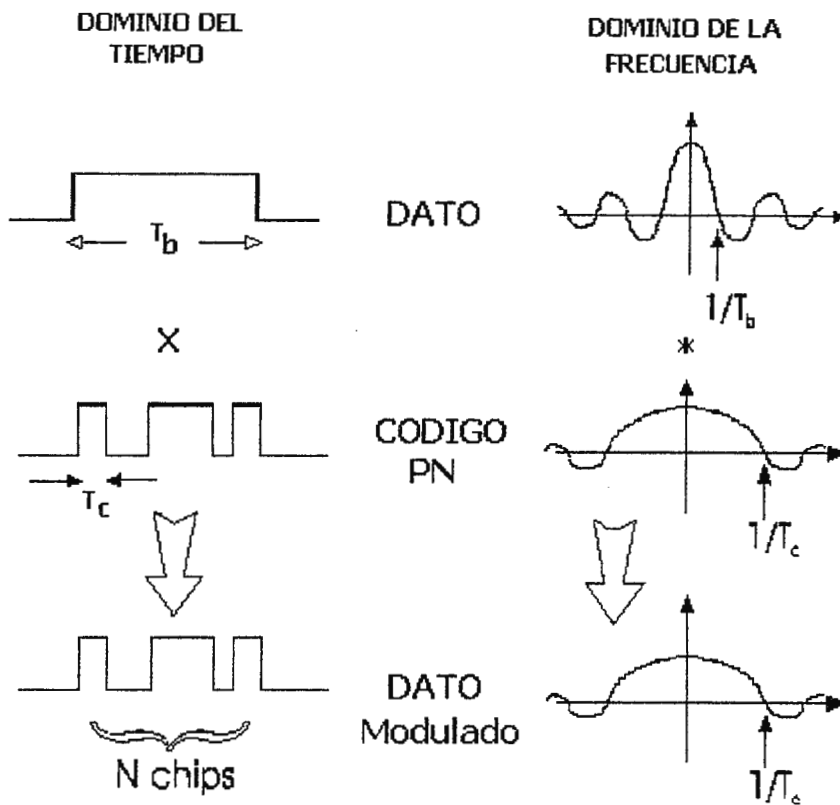


Figura 3. 3 Procesamiento DS

En su forma más general, un sistema de comunicación de Espectro Disperso de Secuencia Directa (DSSS) toma una secuencia de datos binaria y la multiplica con una secuencia binaria pseudoaleatoria (PN) de alta velocidad. El resultado es

una secuencia binaria con una velocidad igual a la de la señal PN, la cual posteriormente es modulada.

El espectro de la señal modulada es *disperso* por un factor N , el cual es la relación de la velocidad de la secuencia de bits a la velocidad de los datos de información.

La figura 3.4 ilustra la modulación de SS de Secuencia Directa general.

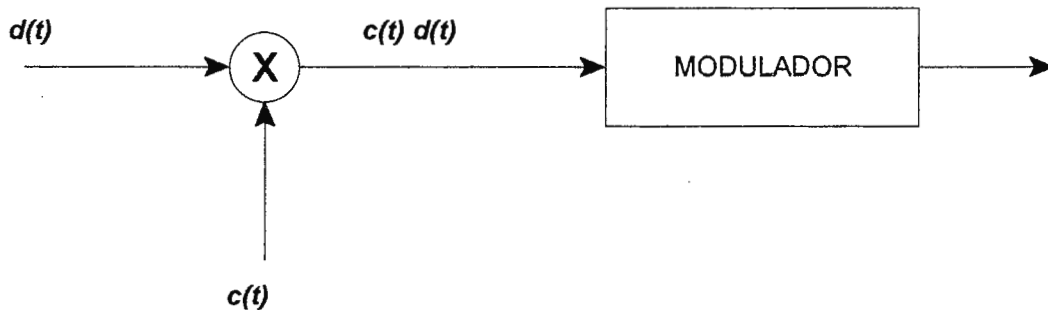


Figura 3. 4 Modulación de DS

La forma de onda de los datos es dada por:

$$d(t) = d_n \quad , \quad nT_b \leq t \leq (n+1)T_b \quad (\text{ec. 2.11})$$

$$d_n \in \{-1,1\} \quad n = \text{entero}$$

donde d_n es la secuencia de los datos representados por valores de -1 y $+1$.

La señal binaria PN es:

$$c(t) = c_k \quad kT_c \leq t \leq (k+1)T_c, \quad c_k \in \{-1,1\}, \quad k = \text{entero} \quad (\text{ec. 2.12})$$

donde c_k es la secuencia binaria.

Aquí $N = \frac{T_b}{T_c}$ (ec. 2.13) es el *factor de dispersión* de espectro de la señal.

Típicamente, N es del orden de 1000 o más. T_b es el tiempo de bit de los datos y T_c es referido como el intervalo de tiempo "*chip*". En la multiplicación de los datos y la secuencia binaria PN, es importante que el reloj de los datos y el reloj de la secuencia PN sean coincidentes, es decir que posean la misma fase [1].

Los tiempos de transición de los datos deben ser igual a los tiempos de transición del símbolo de la secuencia binaria. La figura 3.5 muestra ejemplos de datos multiplicados por una secuencia PN para $N = 10$ cuando: (a) No hay coincidencia de los relojes de las secuencias. El problema aquí es que puede ser posible que cualquiera lea los datos directamente de una copia de la secuencia binaria, aún cuando la secuencia binaria PN sea desconocida. Se puede estimar el reloj de la secuencia y luego determinar las transiciones aperiódicas, las cuales son debidas a los datos. En *b)* se muestra la coincidencia de los relojes de los datos y la secuencia PN, donde es imposible leer los datos sin el conocimiento de la secuencia pseudoaleatoria.

En *c)* se muestra el reloj de la secuencia PN.

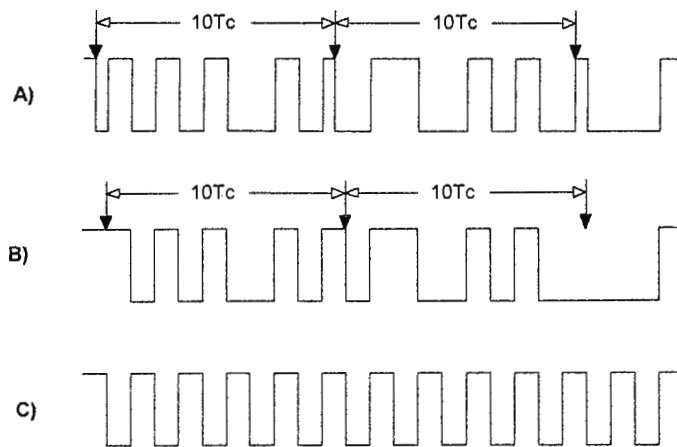


Figura 3. 5 Tiempos de secuencia PN

3.2 Espectro Disperso de Secuencia Directa con BPSK coherente.

La técnica de modulación más comúnmente utilizada para sistemas de Espectro Disperso de Secuencia Directa es la de *Manipulación por Desplazamiento de Fase Binaria (BPSK)*.

Las señales BPSK pueden ser expresadas como:

$$s(t) = \sqrt{2S} \operatorname{Sin} \left[\omega_o t + d_n \frac{\pi}{2} \right]; \quad nT_b \leq t \leq (n+1)T_b; \quad n = \text{entero} \quad (\text{ec. 2.14})$$

donde, como se mencionó anteriormente, T_b es el tiempo de bit de los datos y d_n es la secuencia de los bits independientes, donde:

$$d_n = \begin{cases} 1, & \text{con probabilidad } 1/2 \\ -1 & \text{con probailidad } 1/2 \end{cases}$$

La señal $s(t)$ puede ser también expresada como:

$$s(t) = d_n \sqrt{2S} \operatorname{Cos} \omega_o t \quad (\text{ec. 2.15})$$

$$nT_b \leq t \leq (n+1)T_b ; n = \text{entero.}$$

donde se puede expresar BPSK como modulación de fase o modulación de amplitud.

La dispersión de secuencia directa es efectuada con la secuencia pseudo aleatoria c_k , cuyos elementos poseen valores ± 1 y son generados N veces más rápidos que la velocidad de los datos.

La señal DSSS tiene la forma:

$$\begin{aligned} x(t) &= \sqrt{2S} \text{Sen} \left[\omega_o t + d_n c_{nN+k} \frac{\pi}{2} \right] \\ &= d_n c_{nN+k} \sqrt{2S} \text{Cos} \omega_o t \\ nT_b + kT_c &\leq t \leq nT_b + (k+1)T_c && \text{(ec. 2.16)} \\ k &= 0,1,2,\dots, N-1 \\ n &= \text{entero} \end{aligned}$$

Esta señal es similar a una señal ordinaria BPSK, excepto que la velocidad aparente de los datos es N veces mayor, resultando en una señal con un espectro N más amplio.

S(t) tiene un espectro de la forma $\frac{\text{Sen}^2 x}{x^2}$ de ancho de banda de aproximadamente $1/T_b$, mientras que la señal de espectro disperso $x(t)$ tiene un espectro similar pero con un ancho de banda de aproximadamente $W_{ss} = 1/T_c$. En la figura 3.6 se puede observar el espectro visto en un analizador espectral.

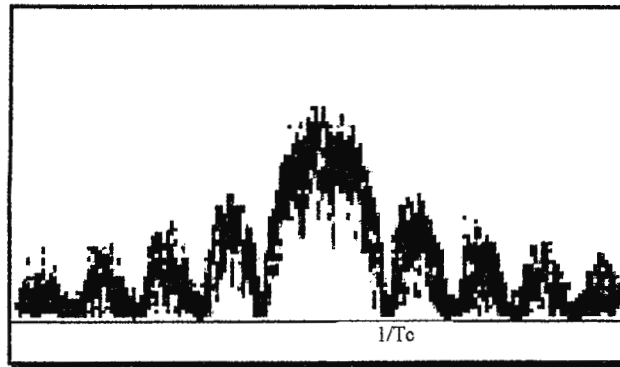


Figura 3. 6 Espectro de una señal de secuencia directa²

Aquí la ganancia de procesamiento es simplemente:

$$PG = \frac{W_{SS}}{R_b} = \frac{T_b}{T_c} = N \quad (\text{ec. 2.17})$$

, donde W_{SS} es el ancho de banda de la señal

DSSS.

Definiendo la función de los datos: $d(t) = d_n, nT_b \leq t \leq (n+1)T_b ; n = \text{entero}$. y una función PN $c(t) = c_k, kT_c \leq t \leq (k+1)T_c, k = \text{entero}$, la señal DS/BPSK puede ser expresada como:

$$\begin{aligned} x(t) &= \sqrt{2S} \text{Sen}[\omega_o t + c(t)d(t)\frac{\pi}{2}] \\ &= c(t)d(t)\sqrt{2S}\text{Cos}\omega_o t. \end{aligned} \quad (\text{ec. 2.18})$$

La figura 3.7 ilustra a $d(t)$, $c(t)$ y $c(t)d(t)$ para $N=6$.

El literal a) de la figura 3.8 muestra la forma normal del modulador DS/BPSK y el literal b) muestra un modelo de análisis más conveniente.

Se puede notar que :

² Fuente: Artículo de Spread Spectrum magazine (www.sss-mag.com)

$$x(t) = c(t)s(t) \quad \text{donde} \quad s(t) = d(t)\sqrt{2S}\cos\omega_c t \quad \text{es la señal BPSK} \quad (\text{ec. 2.19})$$

Luego, también $c^2(t) = 1$ para todo t , lo cual indica que $c(t)x(t) = s(t)$. (ec. 2.20)

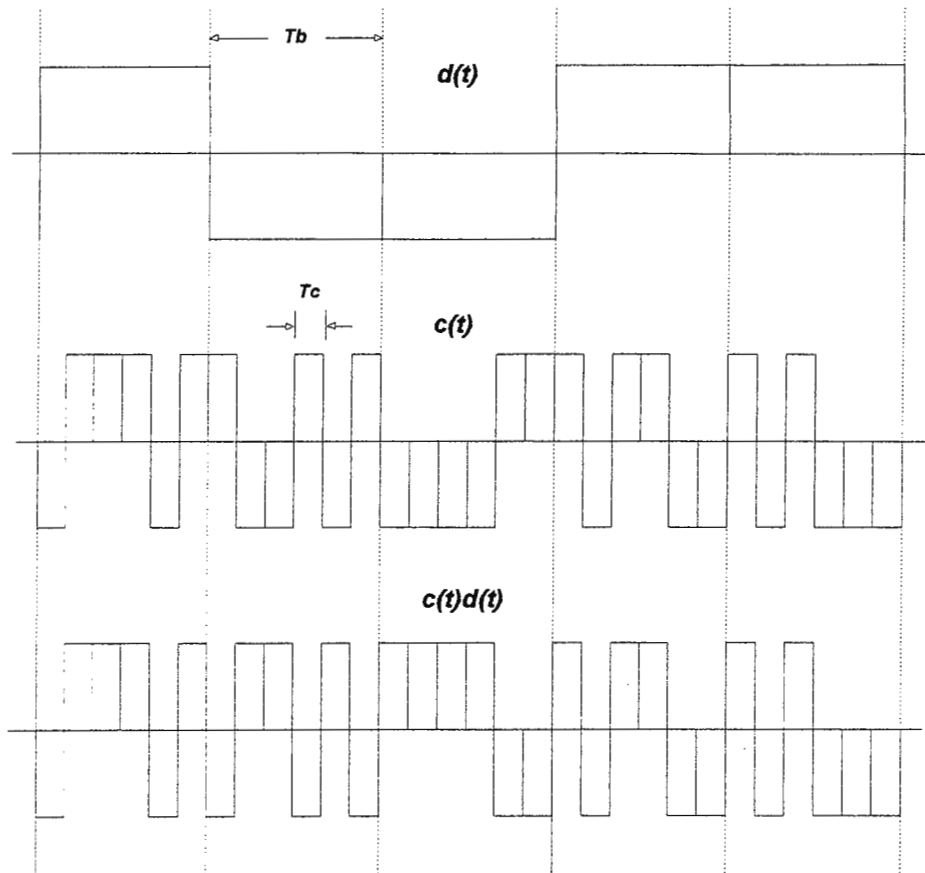
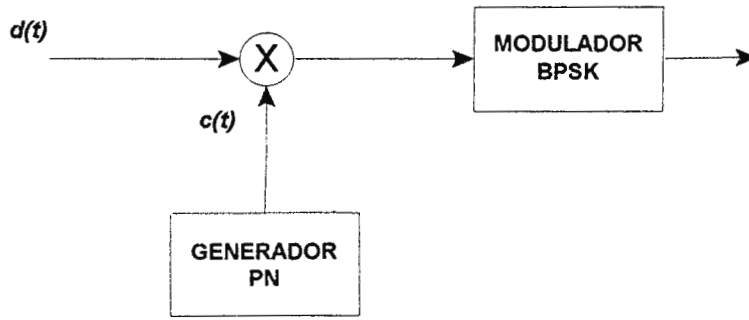
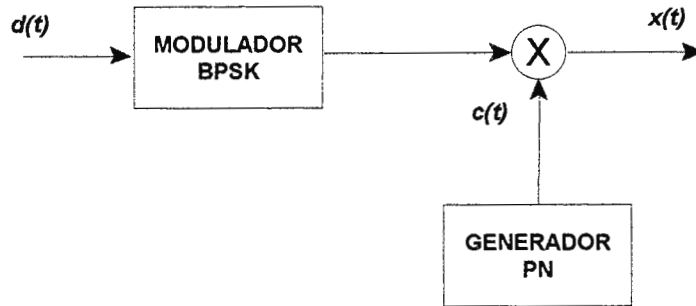


Figura 3. 7 Señal DS/BPSK

Asumiendo que el receptor indicado posee un generador de secuencia PN que esta sincronizado con la secuencia del transmisor, $c(t)$ está disponible tanto para el transmisor como para el receptor. (figura 3.8)



a) Forma Normal.



b) Representación Conveniente.

Figura 3. 8 Modulación DS/BPSK

3.3 Interferencia de banda ancha de potencia constante.

Si existiera una señal de interferencia $J(t)$ con una potencia constante J en el sistema mostrado en la figura 3.9. Un demodulador ideal coherente BPSK toma la señal recibida $y(t)$ multiplicada por la secuencia PN $c(t)$. La señal de salida del canal o medio de transmisión es :

$$y(t) = x(t) + J(t) \quad (\text{ec. 2.21})$$

la cual es multiplicada por la secuencia $c(t)$ para obtener: (figura 3.9)

$$\begin{aligned}
 r(t) &= c(t)y(t) \\
 &= c(t)x(t) + c(t)J(t) \\
 &= s(t) + c(t)J(t)
 \end{aligned}
 \tag{ec. 2.22}$$

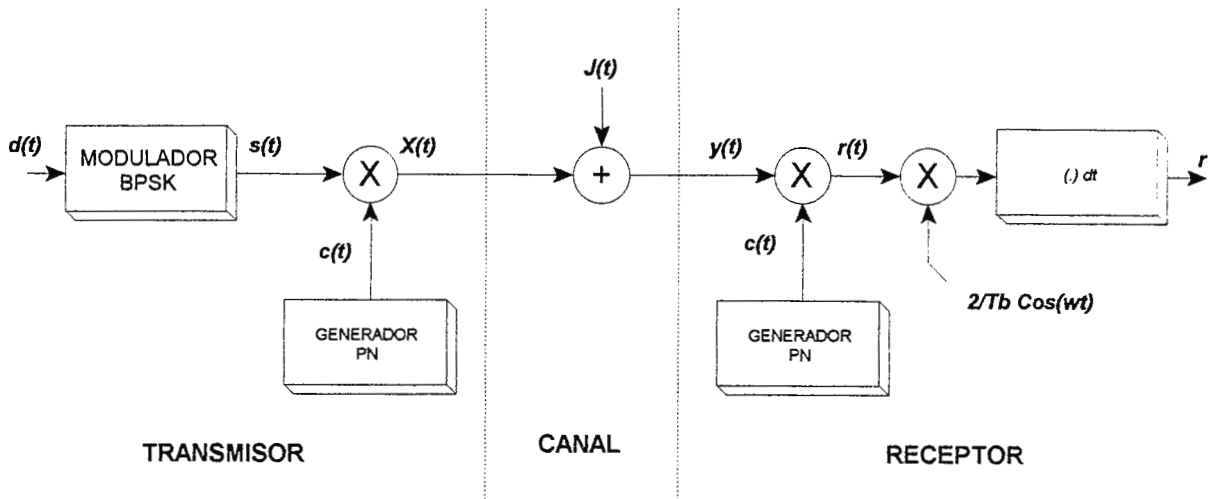


Figura 3. 9 Sistema DS/BPSK

La salida del detector BPSK es :

$$r = d\sqrt{E_b} + n \tag{ec. 2.23}$$

donde d es el bit de dato para el intervalo T_b . $E_b = ST_b$ es la energía de bit, y n es el componente de ruido equivalente dado por la expresión:

$$n = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \int_0^{T_b} c(t)J(t)\text{Cos } \omega_o t dt. \tag{ec. 2.24}$$

La regla de decisión típica para un receptor BPSK es:

$$\hat{d} = \begin{cases} 1. & \text{si } r > 0 \\ -1. & \text{si } r \leq 0 \end{cases} \tag{ec. 2.25}$$

Por lo tanto, la probabilidad de error de bit es: $P_b = \Pr\{n > \sqrt{E_b}\}$ asumiendo que $d=-1$.

El término de ruido es el resultado de los N chips contenidos en el intervalo T_b :

$$n = \sum_{k=0}^{N-1} c_k \sqrt{\frac{2}{T_b}} \int_{kT_c}^{(k+1)T_c} J(t) \cos \omega_o t dt \quad (\text{ec. 2.26})$$

La secuencia PN es aproximada como una secuencia binaria idénticamente distribuida donde: $\Pr\{c_k = 1\} = \Pr\{c_k = -1\} = \frac{1}{2}$

Asumiendo que la interferencia es ruido gaussiano de banda ancha de densidad espectral N_j , los términos

$$n_k = \sqrt{\frac{2}{T_c}} \int_{kT_c}^{(k+1)T_c} J(t) \cos \omega_o t dt \quad (\text{ec. 2.27})$$

son variables gaussianas independientes de media cero con varianza $N_j/2$.

Se puede definir entonces a n como :

$$n = \sum c_k \sqrt{\frac{T_c}{T_b}} n_k \quad (\text{ec. 2.28})$$

Para una interferencia de ruido de banda ancha continua de potencia constante J la probabilidad de error sin codificación es:

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_j}}\right) \quad (\text{ec. 2.29})$$

donde $Q(x) = \int \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} dt$ es la integral de probabilidad gaussiana.

Luego de las expresiones anteriores se tiene que:

$$\begin{aligned}
\frac{E_b}{N_j} &= \frac{PG}{(J/S)} \\
&= \frac{(W_{ss}/R_b)}{(J/S)} \\
&= \frac{N}{(J/S)}
\end{aligned}
\tag{ec. 2.30}$$

donde se puede observar el papel que desempeña N en la probabilidad de error de la señal DS/BPSK.

3.4 Multicamino y Diversidad

En muchos canales de radio las señales se reflejan en superficies de agua, edificios, árboles, etc. causando que señales múltiples lleguen al receptor.

La atmósfera también causa reflexiones, donde algunas veces las señales reflejadas son usadas como el medio principal de envío de información de transmisores a receptores. Ejemplos de esto son comunicaciones de radio ionosféricas en HF (3MHz a 30MHz), troposféricas en UHF (300MHz a 3000MHz) y SHF (3,000MHz a 30,000MHz) y también radiocomunicaciones ionosféricas en VHF (30 MHz a 300MHz). Estos medios se comportan como si se tuviera un filtro variante aleatoriamente en el tiempo junto al ruido y la interferencia.

Un examen del sistema de espectro disperso DS/BPSK en un canal con multicaminos comienza definiendo a la señal DS/BPSK con un término de fase θ ,

$$x(t; \theta) = c(t)d(t)\sqrt{2S}\text{Cos}[\omega_o t + \theta]
\tag{ec. 2.31}$$

El ejemplo de señales multicaminos más simple es donde hay una señal directa y una señal reflejada llegando a un receptor en particular. (figura 3.10)

La señal recibida tiene la forma $y(t) = x(t; \theta) + \alpha x(t - \tau; \theta) + J(t)$ (ec. 2.32)

Aquí α es el término de amplitud, τ es el retraso relativo con respecto a la señal directa, y θ es su fase relativa.

Aquí también $x(t) = c(t)s(t)$ es la señal DS/BPSK sin desvanecimiento y $J(t)$ es la señal interferente.

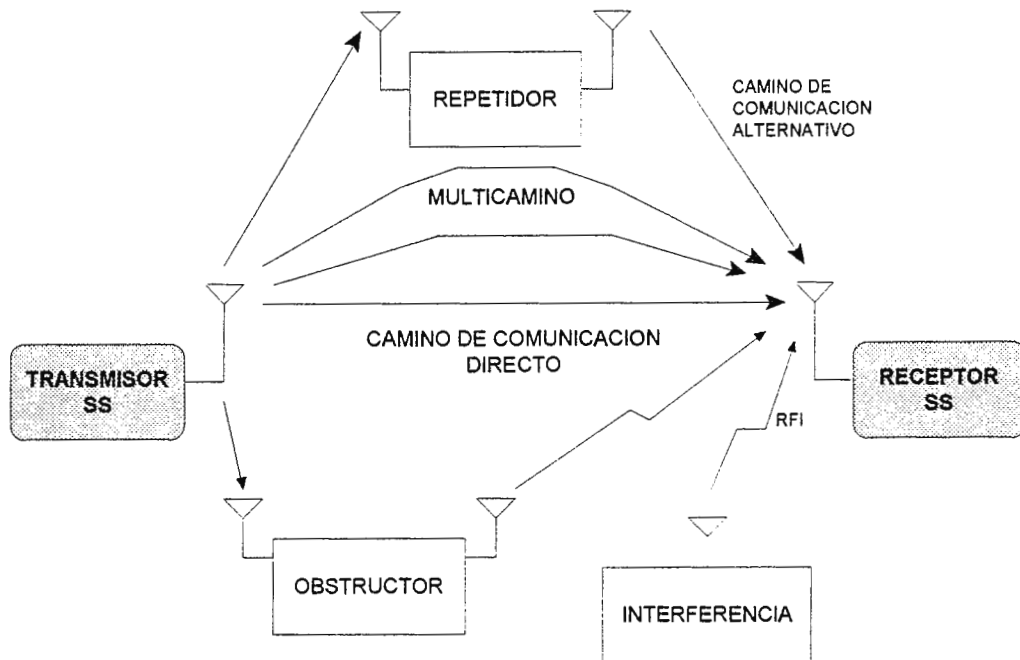


Figura 3. 10 Escenario de operación para SS

El receptor usual DS/BPSK debería multiplicar $y(t)$ con la señal pseudoaleatoria $c(t)$ y luego calcular el componente cosenoidal de la portadora (receptor con correlación),

$$r_o = \int_0^{T_b} r(t)\phi_c(t) dt \quad (\text{ec. 2.33})$$

donde: $r(t) = c(t)y(t)$
 $= s(t) + c(t)\alpha x(t - \tau; \theta) + c(t)J(t)$

$$y \quad \phi_c = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \text{Cos} \omega_o t \quad ; \quad 0 \leq t \leq T_b. \quad (\text{ec. 2.34})$$

Evaluando r_o con $r(t)$ y $\phi_c(t)$ se tiene:

$$r_o = d_o \sqrt{E_b} + n_o + n'_o \quad \text{donde} \quad n_o = \int_0^{T_b} c(t)J(t)\phi_c(t)dt \quad (\text{ec. 2.35})$$

es una variable aleatoria Gaussiana con varianza igual a $Nj/2$ y

$$n'_o = \int_0^{T_b} c(t)\alpha x(t - \tau) \text{Cos}[\omega_o(t - \tau) + \theta] \phi_c(t) dt \quad (\text{ec. 2.36})$$

$$= \alpha d_o \sqrt{2S} \int c(t)c(t - \tau) \text{Cos}[\omega_o(t - \tau) + \theta] \phi_c(t) dt$$

donde d_o es el valor de la señal de los datos $d(t)$ durante el intervalo $(0, T_b)$.

Suponiendo que el retraso satisface $\tau \geq T_c$, donde T_c es el tiempo de chip.

Luego para cada t , $c(t)$ y $c(t - \tau)$ son independientes y n' es una suma de variables aleatorias independientes, las cuales pueden ser aproximadas como variables

aleatorias Gaussianas con varianza no mas grande que $\frac{\alpha^2 S}{2W_{ss}} \cdot [1]$

Puesto que típicamente se asume que $S \ll J$, para valores reales de α , el término de ruido de multicamino n'_o es despreciable comparado con el término n_o , el cual es debido a la interferencia u obstrucción.

De tal manera que se tiene la aproximación:

$$r_o \cong d_o \sqrt{E_b} + n_o \quad (\text{ec. 2.37})$$

para un retraso τ .

Cuando el retraso debido al multicamino τ es más grande que el tiempo de chip T_c , la degradación es despreciable .

Asumiendo que el canal está variando suavemente, de tal manera que los parámetros α , τ y θ son conocidos para el receptor, dicho receptor puede multiplicar $y(t)$ con $c(t-\tau)$ y encontrar el componente cosenoidal correspondiente a

$$\phi_c(t-\tau; \theta) = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \text{Cos}[\omega_o(t-\tau) + \theta] \quad \tau \leq t \leq T_b + \tau \quad (\text{ec. 2.38})$$

Esto resulta en el componente relativo a la señal de multicamino de la forma (ignorando el término de la señal directa):

$$r_1 = d_o \alpha \sqrt{E_b} + n_1 \quad \text{donde} \quad n_1 = \int_{\tau}^{T_b + \tau} c(t-\tau) J(t) \phi_c(t-\tau; \theta) dt \quad (\text{ec. 2.39})$$

es una variable aleatoria Gaussiana con varianza $N_j/2$. Así que hay dos salidas del medio o canal dado por r_0 y r_1 .

Con excepción de algunas señales interferentes, la correlación entre n_0 y n_1 es cero y , eso indica, que son variables aleatorias Gaussianas independientes.

La decisión óptima, basada en r_0 y r_1 es comparar

$$\begin{aligned} r &= r_0 + r_1 \\ &= d_o(1 + \alpha^2) \sqrt{E_b} + n_0 + \alpha n_1 \end{aligned} \quad (\text{ec. 2.40})$$

con el valor de cero para definir el dato como +1 ó -1.

La probabilidad de error de bit es entonces:

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{(1 + \alpha^2) 2E_b}{N_j}}\right) \quad (\text{ec. 2.41})$$

Esta probabilidad de error de bit es mejor que utilizando un receptor convencional DS/BPSK, el cual utiliza solo r_0 en su decisión.

La condición para el retraso de multicamino resulta en un sistema con *Diversidad* donde dos salidas independientes de canal están disponibles.

De esta manera señales de espectro disperso DS/BPSK no solamente proveen protección ante la interferencia sino que *resuelven y toman ventaja de la diversidad natural disponible*.

Si se estima estadísticamente el retraso para cada multicamino se puede tener un receptor ideal que maneja las aportaciones individuales para el valor de decisión; un ejemplo de este tipo de receptor es el denominado RAKE³.

3.5 Secuencias Pseudo Aleatorias

Uno de los aspectos más importantes de la técnica de Espectro Disperso es la secuencia pseudo-aleatoria o pseudo-ruido (Pseudo Noise, PN) *usada para producir la dispersión del espectro*.

La secuencia dispersora toma una forma determinada de acuerdo al tipo de sistema SS utilizado. Para Saltos de frecuencia, el código dispersor es un flujo de números que representan los canales en los cuales se efectuarán los saltos de frecuencias. En sistema DS el código dispersor es un flujo rápido de bits generado

³ Una explicación del funcionamiento puede encontrarse en [1], págs. 446-447.

por un circuito digital. Tanto el transmisor como el receptor tienen almacenada la secuencia dispersora, para transmitir y recibir la señal de datos.

Los códigos PN son secuencias binarias que son determinísticas y fácilmente generalmente generadas con registros de desplazamiento y retroalimentación

Generadores de códigos de pseudoruido (PN) son periódicos desde que la secuencia producida se repite después de cierto período de tiempo. Un generador de códigos pseudoaleatorios es mostrado en la siguiente figura:

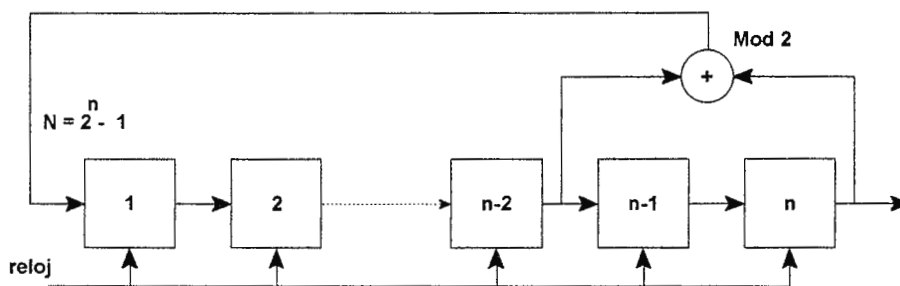


Figura 3. 11 Generador PN

3.5.1 Generador PN

Idealmente, el código de dispersión debería ser diseñado de tal manera que las amplitudes chip sean estadísticamente independientes una con otras. El período entero de una secuencia PN consiste de N tiempos de chips. En caso de generadores PN lineales, el valor de N es $2^n - 1$, donde n es el número de etapas en el generador de códigos.

Las secuencias PN son miembros de una clase de códigos conocidos como *códigos de longitud máxima*. Por definición los códigos de longitud máxima son los más grandes códigos que pueden ser generados por un registro de desplazamiento de longitud dada.

Algunas propiedades de códigos de longitud máxima para el caso binario son:

1	La longitud de secuencia (N) generada por n registros es $2^n - 1$
2	Con excepción de la palabra de todos cero cada posible palabra de n-bits existe en algún tiempo de la generación de un ciclo completo y solo una vez durante el ciclo
3	Cada período de secuencia contiene 2^{n-1} unos y $2^{n-1} - 1$ ceros
4	La correlación de una secuencia de código con una réplica de un periodo produce un pico igual a la longitud de la secuencia $2^n - 1$ en corrimiento cero y en múltiplo de la longitud de la secuencia. En todos los otros corrimientos, la correlación es $2^{n-1} - 1$ para el caso binario (0,1) y -1 para el caso binario polar (-1,1)

En aplicaciones de secuencia directa la secuencia binaria con elementos (0,1) es representada en una secuencia correspondiente de pulsos positivos y negativos, de acuerdo a la relación.

$$p_i(t) = (2b_i - 1)p(t - iT) \quad (\text{ec. 2.42})$$

donde $p_i(t)$ es el pulso correspondiente al elemento b_i en la secuencia con elementos (0,1). Se puede llamar a la secuencia equivalente en elementos (-1,1) una secuencia bipolar.

Una característica importante de una secuencia PN periódica es su *función de Autocorrelación*, la cual es usualmente definida, en términos de la secuencia bipolar como:

$$\phi(j) = \sum_{i=1}^N (2b_i - 1)(2b_{i+j} - 1) \quad 0 \leq j \leq n-1 \quad (\text{ec. 2.43})$$

Donde N es el período. Idealmente una secuencia pseudo aleatoria debe tener una función de autocorrelación con la propiedad de que $\phi(0)$ sea igual a N y $\phi(j)$ sea igual a 0 para $1 \leq j \leq N-1$. En la caso de n secuencias la función de autocorrelación es: (figura 3.12)

$$\phi(j) = \begin{cases} N & j=0 \\ -1 & 1 \leq j \leq n-1 \end{cases} \quad (\text{ec. 2.44})$$

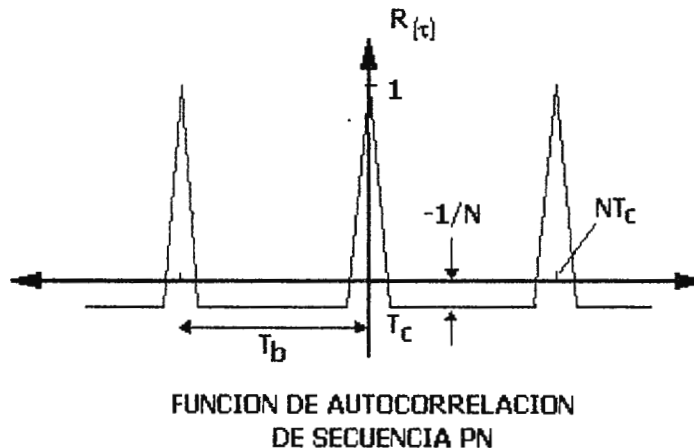


Figura 3. 12 Función de Autocorrelación de secuencias PN

*La correlación es proceso fundamental en un sistema Spread Spectrum y es método común de recepción de señal. La correlación mide qué tan similares son dos señales, dicho grado de similitud es expresado a menudo entre 0 y 1. Un perfecto acople es típicamente indicado por 0. Acoples parciales permiten valores entre 1 y 0 dependiendo de la similitud, en un receptor Spread Spectrum la correlación es usada para identificar una señal que ha sido codificada con una secuencia PN. La correlación es efectuada con circuito conocido como *correlador*. Un correlador esta típicamente compuesto de un mezclador seguido de un filtro pasabajo.*

El mezclador es donde las dos señales a ser comparadas son multiplicadas. Un acople permite un alto valor de salida, pero si las dos señales mezcladas difieren la salida será baja dependiendo de que tan diferentes sean las señales. El filtro reporta la salida promediada del mezclador, este valor es el promedio de la similitud de las dos señales. La figura 3.13 muestra un diagrama de un receptor DS que utiliza un correlador.

El correlador es usado para identificar y detectar señales con el código de dispersión indicado. El circuito de sincronización permite obtener la señal de temporización adecuada para la generación de la secuencia pseudoaleatoria, con el fin de recuperar correctamente la información. Señales dispersas con otros códigos PN diferirán estadísticamente de la señal deseada y el correlador dará una salida

baja. La señal deseada tendrá un fuerte acople con el código PN generado localmente y el correlador dará una salida alta.

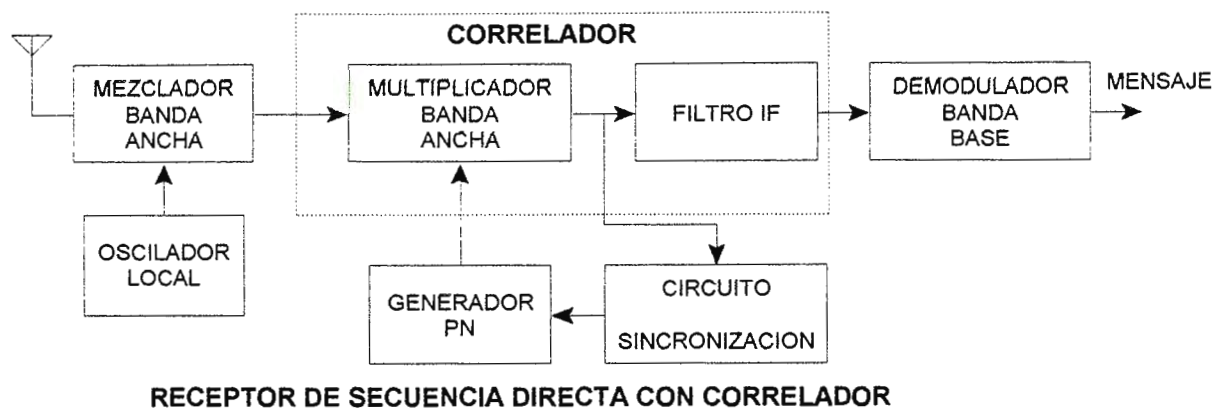


Figura 3. 13 Receptor DS con Correlador

Si hay presentes ruido o interferencia, después del proceso de mezcla estas señales son dispersadas a nivel de ruido, mientras que la señal deseada es desdispersada y colocada en banda angosta (figura 3.12). El filtro consecutivo se encarga de eliminar la señal de ruido y deja pasar la señal de banda de información.

Este es el corazón del proceso de rechazo de interferencia en Secuencia Directa.

En aplicaciones de anti-obstrucción de señales PN de espectro disperso, el período de la secuencia puede ser tan grande de manera que el lazo de retroalimentación no pueda ser fácilmente ubicado.

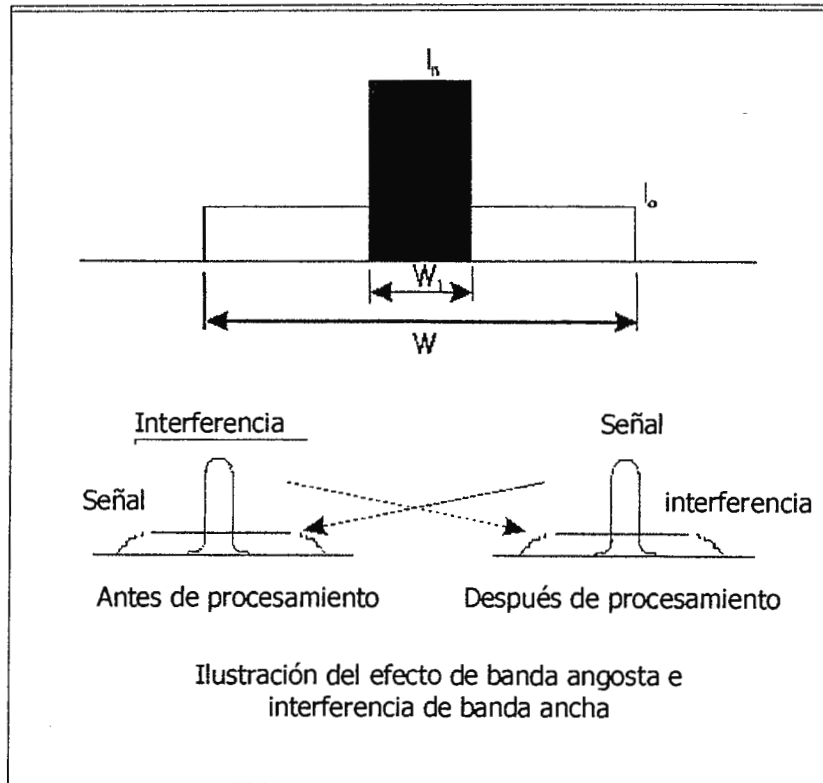


Figura 3. 14 Señal DS con interferencia de banda angosta

Sin embargo en algunas veces esta conexión de retroalimentación puede ser ubicada con la única observación de $2m$ chips de la secuencia PN, debido a las propiedades lineales del generador. Para reducir esto, secuencias de salida de varios estados del registro de desplazamiento o *salidas de distintas secuencias son combinadas en una manera no lineal para producir una secuencia no lineal la cual es mas difícil de descifrarla.*

Para ciertas aplicaciones tales como CDMA valores altos de correlación de cruce no son permitidos, por lo que se tiene que seleccionar un pequeño subconjunto de secuencias que nos permita disminuir el valor pico de la correlación de cruce.

Secuencias PN con mejores propiedades de correlación de cruce son dadas por *Gold* y *Kasami*⁴. Algunos de estos códigos son presentados en la siguiente figura. (figura 3.15)

Useful PN Codes

Gold Code Set (Length = 7)
1001011
1010110
0100010
1001110
1110001
0011000
0000101
0111111
1101100

Kasami Code Set (Length = 15)
100010011010111
001111110111010
111001000001100
010100101100001

Figura 3. 15 Códigos de Gold y Kasami

Las secuencias de Gold son útiles ya que proveen un gran número de códigos. Ellas pueden ser seleccionadas sobre un conjunto de códigos disponibles de un generador dado. En la figura se presenta la generación de un código de Gold (figura 3.16).

⁴ Para ampliar tema consultar referencia [1] capítulo V.

Las secuencias de Gold no son secuencias de registros de desplazamiento de máxima longitud. Por lo que su función de autocorrelación no tiene dos valores. Gold (1968) ha mostrado que la función de correlación de cruce para algún par de secuencias de un conjunto de $n + 2$ secuencias de Gold es evaluado tres veces con posible valores $\{-1, -t(m), t(m) - 2\}$, donde $t(m)$ es dado por

$$t(m) = 2^{(m+1)/2} + 1 \quad m \text{ impar} \quad (\text{ec. 2.45})$$

$$2^{(m+2)/2} + 1 \quad m \text{ par}$$

Similarmente se pueden encontrar los picos más bajos de la función de autocorrelación. Una buena comparación es la de los valores picos de la correlación de cruce de secuencias de Gold con un enlace de bajada conocido (lower bound) sobre su correlación de cruce entre algún par de secuencias binarias.

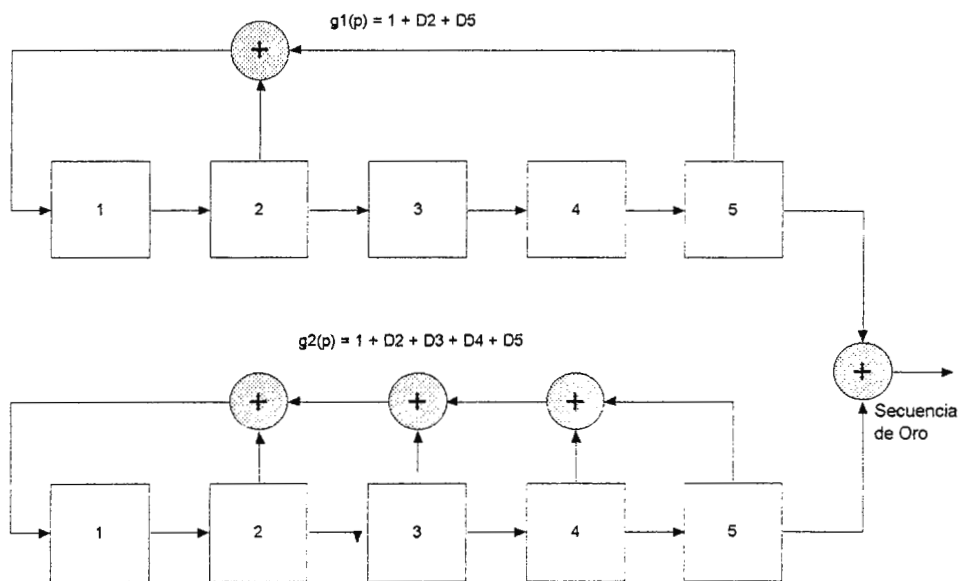


Figura 3. 16 Generador de Secuencias de Gold

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE EQUIPO DIDÁCTICO

4.1 Introducción

En el presente capítulo se hace una descripción de los módulos electrónicos que conforman el sistema de transmisión de datos a implementar. La técnica seleccionada, como se mencionó anteriormente, es la de Espectro Disperso de Secuencia Directa, la cual se basa principalmente en la generación de una secuencia pseudoaleatoria para efectuar el proceso de dispersión del espectro.

El equipo didáctico consiste de los siguientes elementos principales:

- **Módulos electrónicos.**

Los cuales tienen la finalidad de generar las señales necesarias para estudiar el comportamiento de los datos, códigos pseudoaleatorios, procesos de modulación, tanto en el dominio del tiempo como de la frecuencia. Para lo cual se proveen puntos de prueba en las diferentes etapas, que permiten la visualización y análisis de las señales presentes por medio de equipos de medición tales como osciloscopio, medidores digitales, analizadores de espectro, etc.

En algunas etapas del sistema se hace uso de módulos existentes en el laboratorio de la Universidad, por lo cual se harán las indicaciones correspondientes al momento de la práctica.

- **Guías de laboratorio.**

Contienen la información necesaria para introducirse en el estudio de la técnica de manera autodidáctica en los temas fundamentales y efectuar las mediciones más comunes en el campo de la transmisión de datos, haciendo uso de los módulos anteriormente mencionados y de programas de simulación de circuitos.⁵

Los temas a cubrir a través del sistema de enseñanza son:

- Generación de Secuencias Pseudoaleatorias de máxima longitud. (PN)
- Generación de señales de Secuencia Directa de Espectro Disperso.
- Evaluación de la técnica de modulación BPSK.
- Comparación de los diferentes espectros.

4.2 Etapas del sistema didáctico.

En las siguientes figuras se muestran los diagramas a bloques del sistema de los módulos electrónicos a implementar.

Los diagramas de bloques nos muestran las partes generales de un sistema de transmisión de datos de Secuencia Directa de Espectro Disperso, donde a su vez se han colocado varios puntos de prueba para poder efectuar las evaluaciones correspondientes a cada etapa con el uso de equipos de medición adecuados.

⁵ DesignLab Eval 8. Microsim Pspice

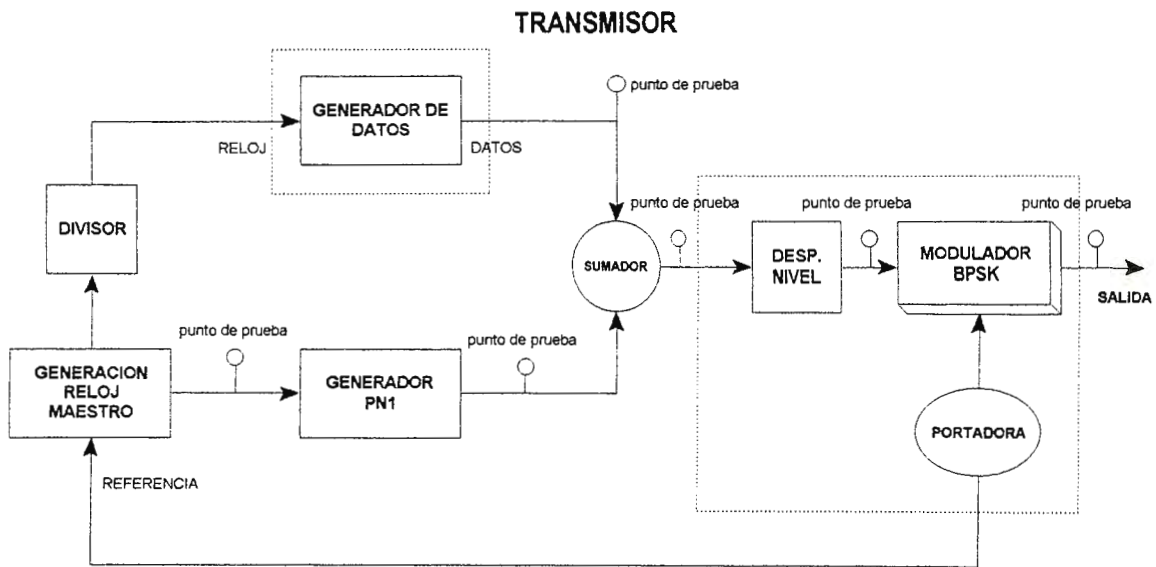


Figura 4.1 Modulo de Etapa de transmisión

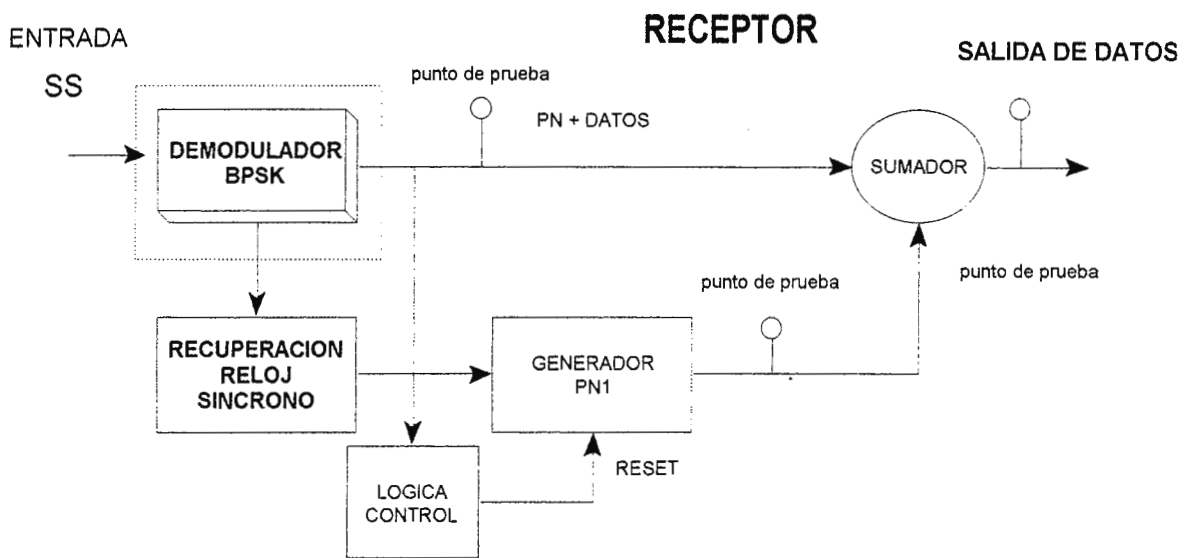


Figura 4.2 Modulo de etapa de Recepción.

Se puede observar en la figura 4.1 el módulo de la etapa de transmisión y generación del espectro disperso, mientras que en la figura 4.2 se muestra el

módulo encargado de la recepción de la señal y de efectuar el sincronismo y generación de la secuencia pseudoaleatoria local.

Se hace notar con las líneas discontinuas las etapas del sistema que ya están construidas, es decir, que se hace uso de distintos módulos del laboratorio de Telecomunicaciones de la universidad Don Bosco.

Estos módulos son los utilizados para el estudio de las modulaciones digitales de portadoras senoidales (LabVolt).

4.2.1 Modulo de Transmisión

Este módulo es el encargado de la generación del código pseudoaleatorio y habilitación de los datos con los cuales se modula en fase una portadora analógica. El diagrama esquemático de la figura 4.3 es el correspondiente al diagrama de bloques mostrado anteriormente.

- **Generador de datos**

Se utiliza una fuente de datos externa que posea características aleatorias de tal manera que se asemeje o, en el mejor de los casos, sea una fuente de datos real.

El modulo del transmisor esta diseñado para ser compatible con el *ENTRENADOR PARA MODULACIÓN DIGITAL 1-A* del equipo LAB VOLT ya existente en el laboratorio (Ver anexos).

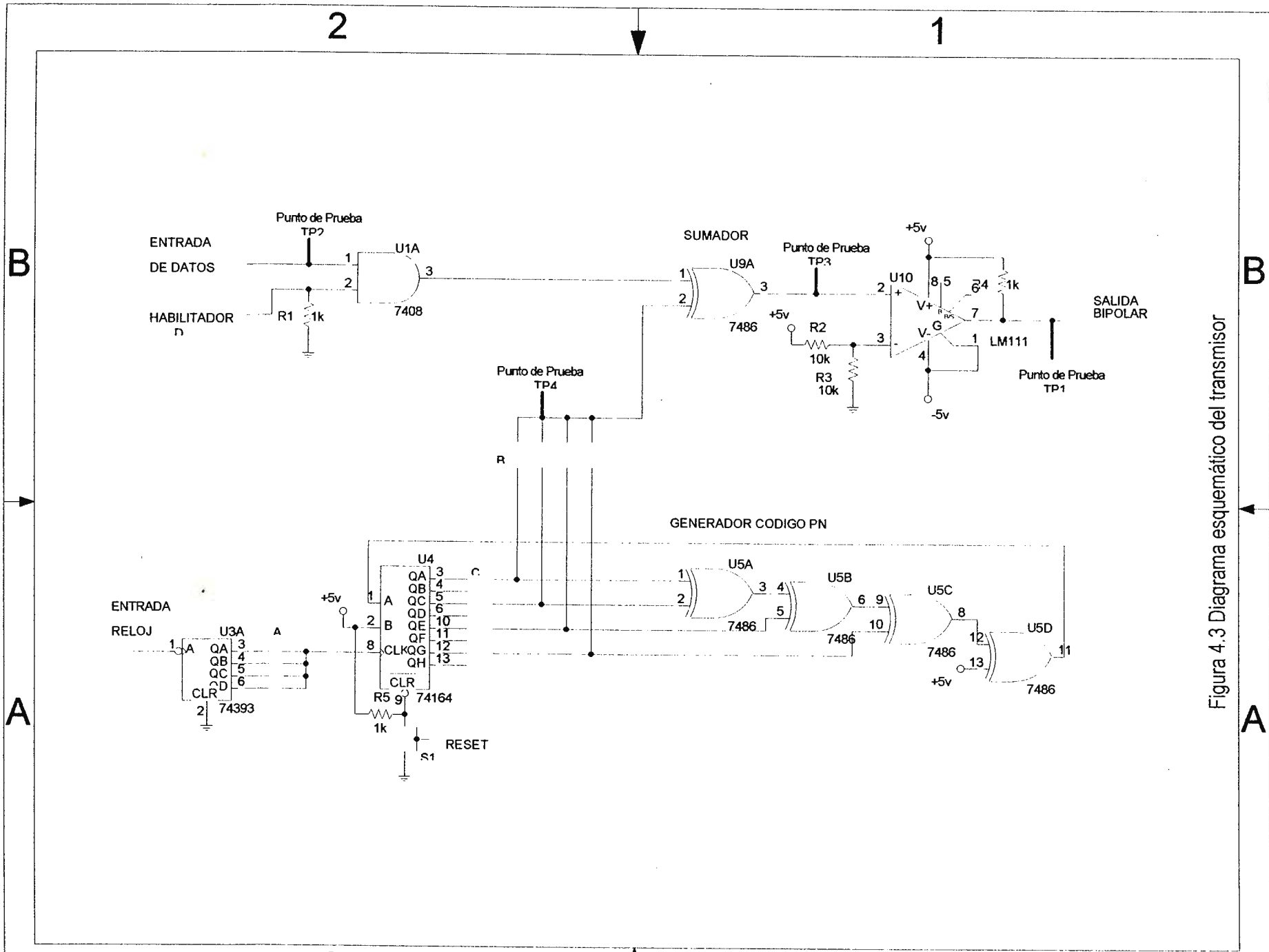


Figura 4.3 Diagrama esquemático del transmisor

Este entrenador es el encargado de efectuar la modulación BPSK utilizando las etapas siguientes:

- Oscilador Local
- Circuito Interfaz.
- Generador de datos.
- Filtro Paso banda de transmisión.
- Mezclador.

Se utiliza el reloj, síncrono con la frecuencia de la portadora del oscilador local, disponible en la salida del circuito interfaz (clavija J2).

La frecuencia a utilizar en la portadora, necesaria para la modulación, es de 192kHz. De aquí se obtiene una señal de reloj a la misma frecuencia, por lo tanto para poder generar el código PN se necesita dividir dicha frecuencia con el objetivo de obtener varios ciclos de portadora por tiempo de chip. Se ha seleccionado entonces una frecuencia de reloj de 96kHz para el código PN, obtenida del IC 74393.

Con el sistema diseñado se puede alcanzar una ganancia de procesamiento mínima de 8. Esto significa que la velocidad de datos máxima a introducir será de 12 kbps.

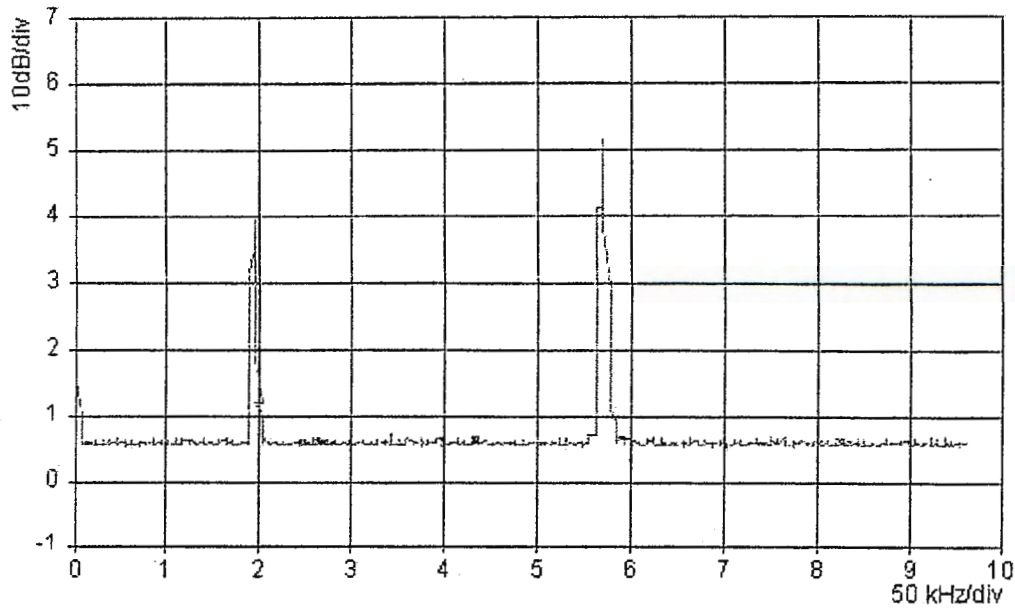


Figura 4.4 Espectro de portadora

- **Generador PN**

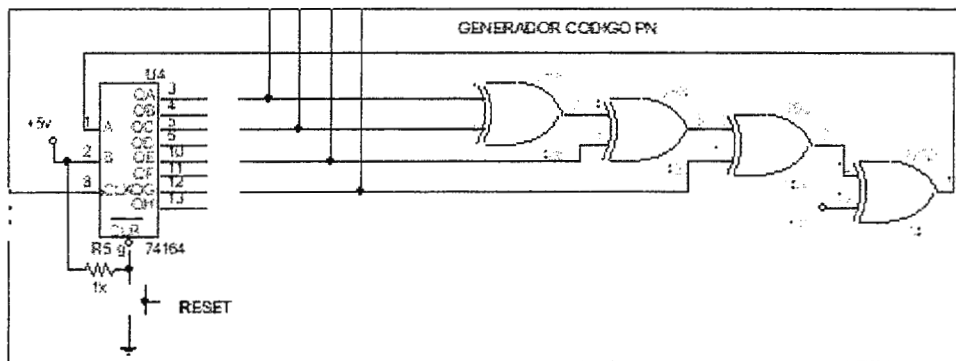


Figura 4.5 Generador PN

Este generador PN está diseñado para utilizarse hasta con siete etapas de registros de desplazamiento y con puntos de retroalimentación capaces de proporcionar códigos de longitudes máximas, efectuando las conexiones

adecuadas. De tal manera que la longitud máxima a obtener será de 2^7-1 , es decir, 127 estados.

El siguiente diagrama de tiempo muestra la secuencia PN para retroalimentaciones [7,3], es decir en la etapa 7 y 3 del registro de desplazamiento.

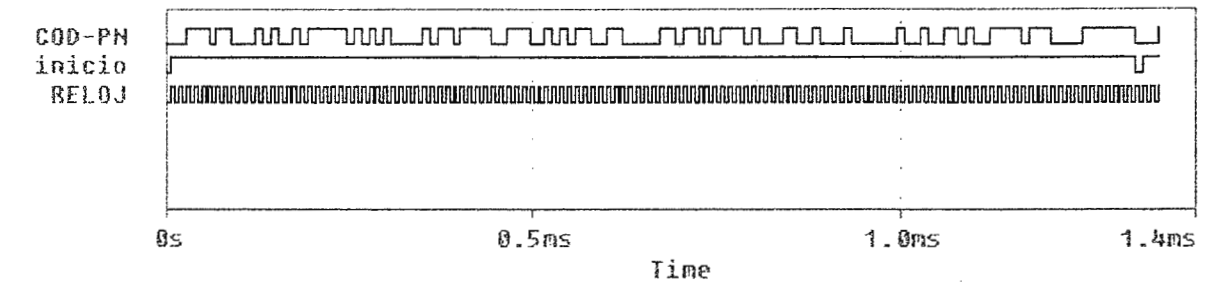


Figura 4.6 Diagrama de Tiempo de código PN

Para el diagrama de tiempo anterior se utiliza un reloj de 96 KHz, produciendo un tiempo de chip de $10.42 \mu\text{s}$. Esta frecuencia se debe a que el modulador BPSK (Modulo para modulación digital 1-A *Lab-Volt*) tiene una frecuencia portadora de 192 KHz, por lo que se aseguran dos ciclos de la portadora por cada chip.

Teniendo esta versatilidad en las conexiones, se tiene la capacidad de utilizar diferentes códigos PN tanto en el transmisor como en el receptor. Solamente entraran en sincronismo los dos equipos si se seleccionan los mismos registros y los lazos de retroalimentación.

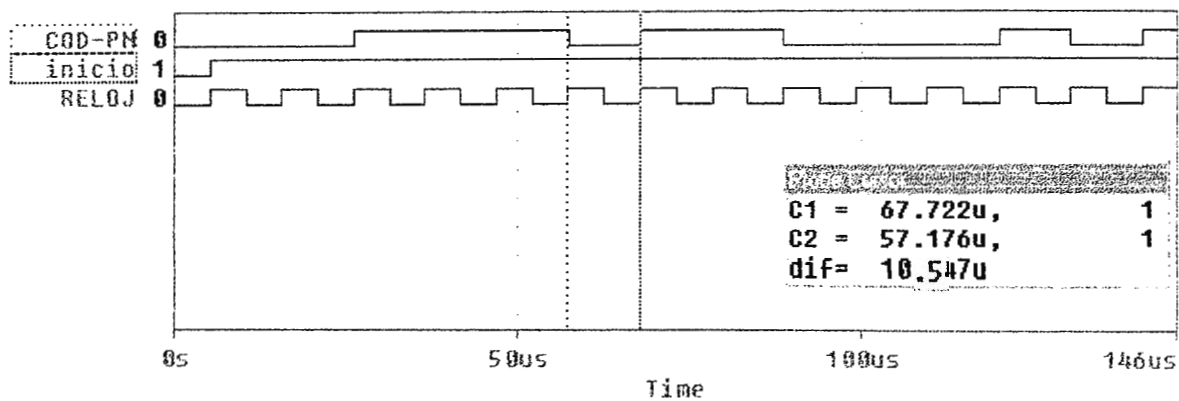


Figura 4.7 Tiempo de Chip

La siguiente figura muestra el espectro de frecuencia del código PN de 7 etapas

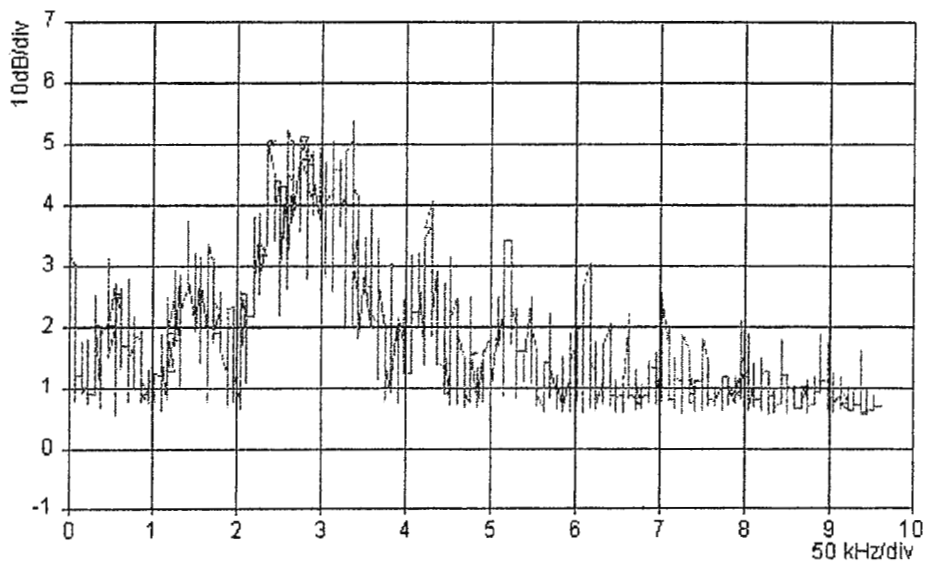


Figura 4.8 Espectro de código PN

- **Sumador y Elevador de Nivel.**

Esta etapa se encarga del proceso de dispersión, pues efectúa la suma de los datos con el código pseudoaleatorio. Evaluando la señal en el punto de prueba se pueden observar las características en el dominio del tiempo y de la frecuencia.

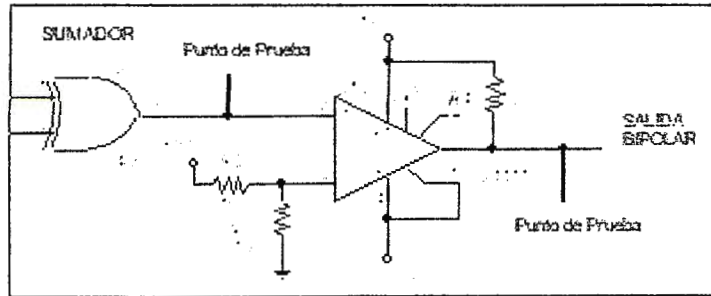


Figura 4.9 Sumador y Elevador de Nivel.

El circuito elevador de nivel tiene como fin efectuar el acople de la señal de nivel TTL a bipolar para poder excitar al modulador BPSK en la clavija J20. Esto se lleva a cabo por medio de un comparador de voltaje LM311.

La figura 4.6 muestra el espectro obtenido al efectuar la modulación BPSK.

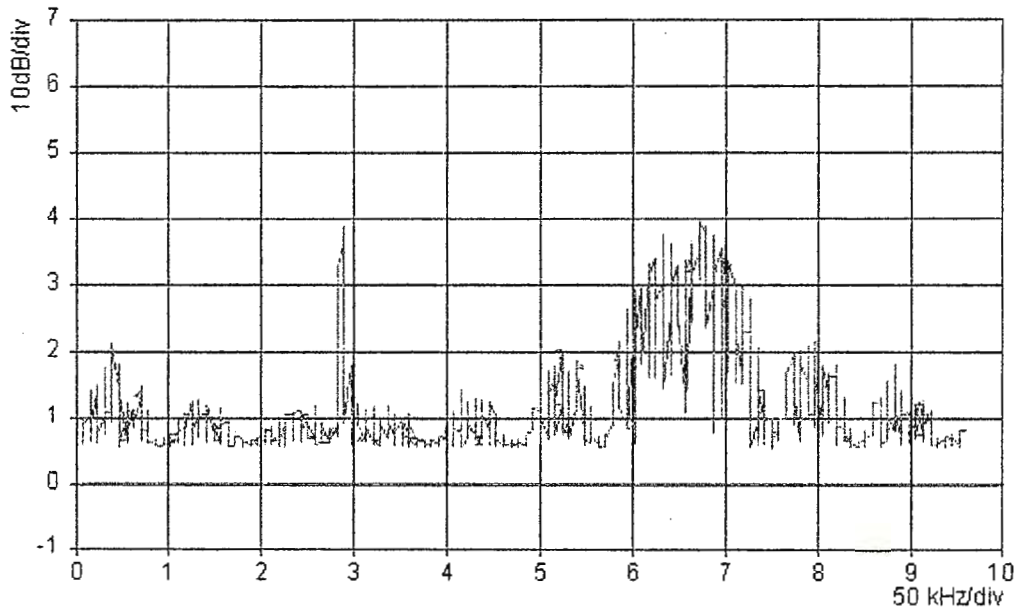


Figura 4.10 Espectro de DS-BPSK

4.2.2 Módulo de Recepción.

En la figura 4.12 se muestra el diagrama esquemático del Módulo de Recepción.

Este consiste de las siguientes partes o etapas:

- **Detector de Inicio de Código PN.**

Este circuito tiene como finalidad obtener el sincronismo entre el código PN inherente en la información proporcionada por el transmisor y el código PN originado localmente. Si esta condición no se cumpliera sería imposible recuperar los datos en recepción y se daría una información errónea de salida.

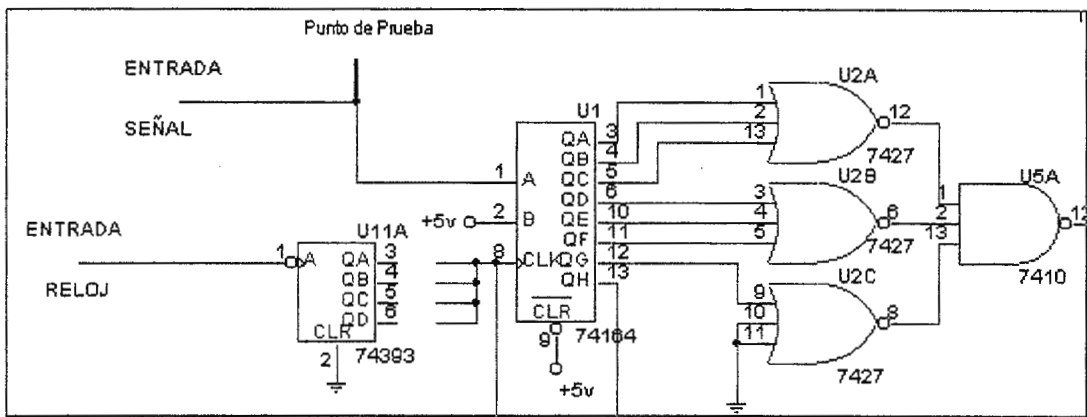


Figura 4.11 Detector de inicio de código PN

El sistema entra en sincronismo con el reconocimiento del comienzo del patrón pseudoaleatorio (ver diagrama de tiempo de generador PN), por lo que, en un inicio, es necesario deshabilitar los datos de entrada a través del IC 7408 en el transmisor, enviando de esta manera solo ceros como datos.

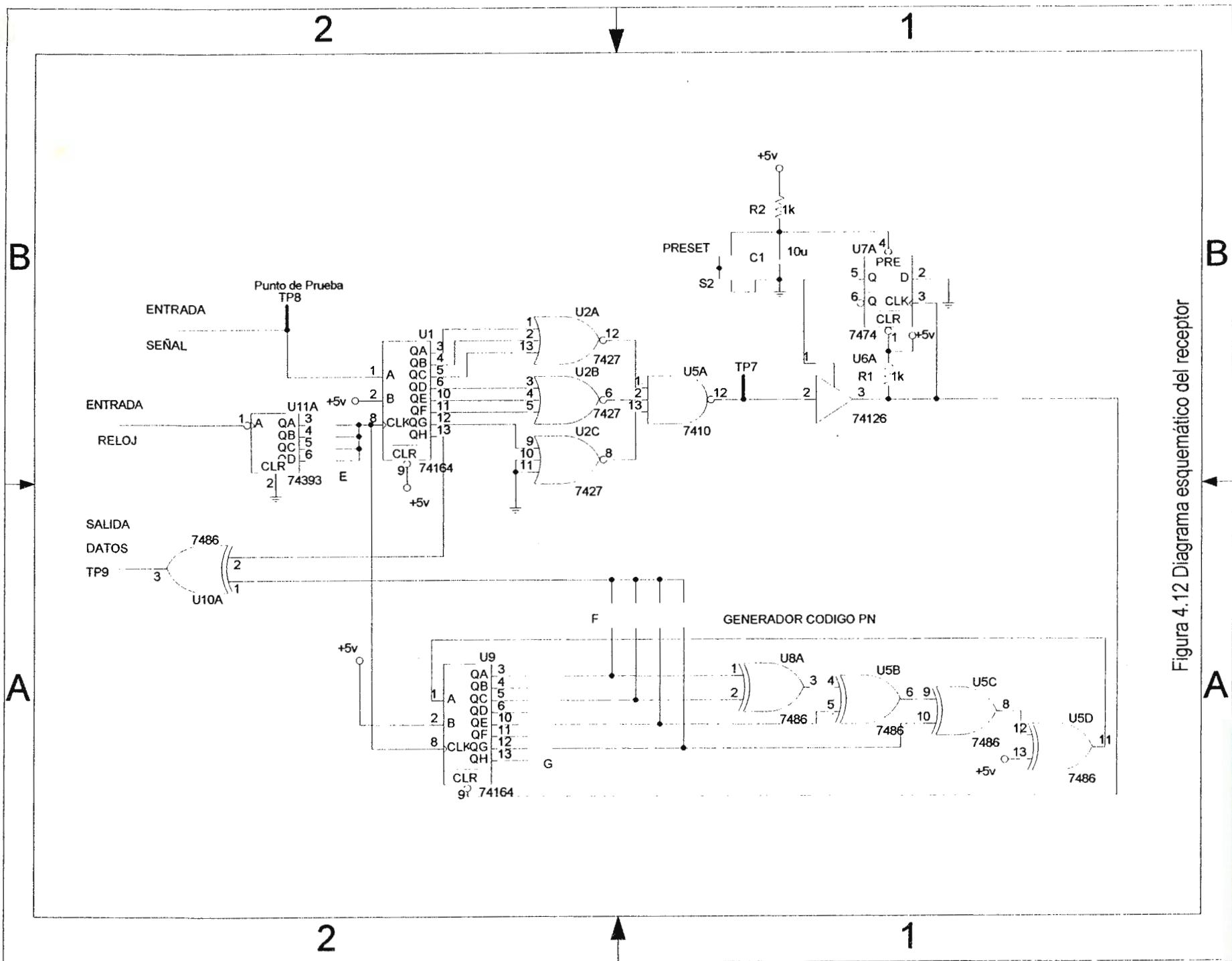


Figura 4.12 Diagrama esquemático del receptor

Para realizar el reconocimiento se evalúa la condición "0000000", la cual corresponde a la secuencia de los últimos 7 bits (chips) de la secuencia de 127 bit del patrón pseudoaleatorio, a través de un decodificador formado por el registro de desplazamiento (74164) y las siguientes etapas lógicas (7427, 7410). Esta etapa emite un impulso negativo hacia la entrada de reposición del circuito generador PN.

El siguiente diagrama muestra cómo se genera el pulso de reconocimiento del patrón, aquí se evalúan todos los estados 1's (ya que los datos se encuentran invertidos) con respecto a la explicación anterior.

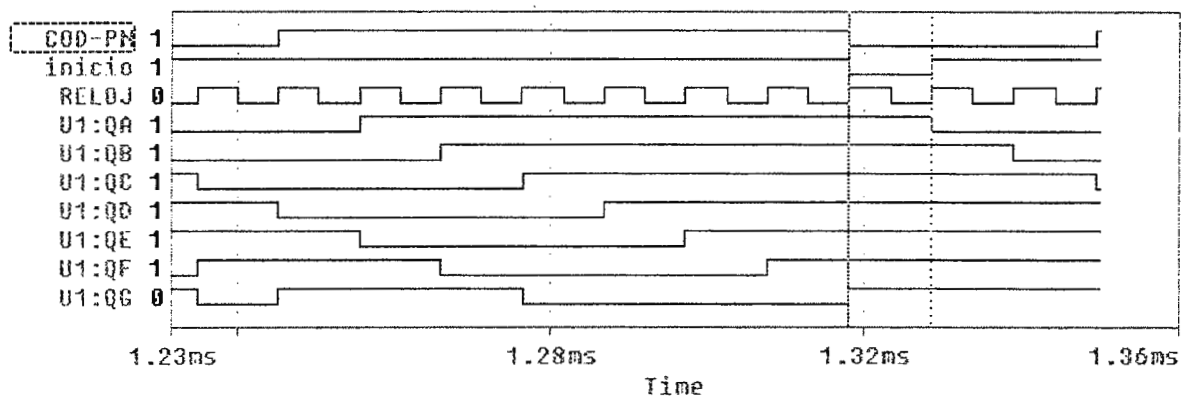


Figura 4.13 Generación de pulso de sincronización

- **Etapla discriminadora de impulsos.**

Cuando se ha reconocido el inicio del patrón PN, ya no es necesario volver a emitir un impulso de reposición puesto que ya se ha efectuado la sincronización .

Para eliminar los subsiguientes impulsos se utiliza un flipflop D en conjunto con una compuerta de 3 estados.

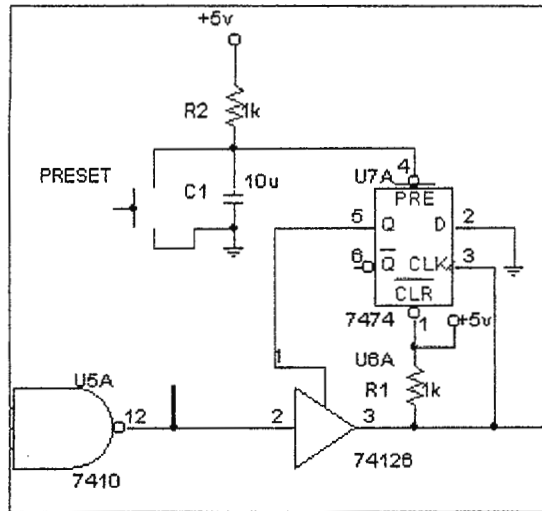


Figura 4.14 Discriminador de impulsos

Para detectar el primer impulso es necesario habilitar la compuerta por un tiempo determinado, hasta que se presenta el primer impulso, el cual provocará un cambio de estado en la salida Q por causa de la detección de la transición en la entrada de reloj. De esa forma se deshabilita la compuerta de tres estados y no llegarán nuevos impulsos al generador de códigos.

- **Recuperación de los datos.**

Con el generador PN local sincronizado, se procede a habilitar la aplicación de datos en el transmisor y éstos podrán ser recuperados en el receptor a través de la compuerta EXOR que efectúa el proceso de separación del código pseudoaleatorio.

En la siguiente figura se muestra el espectro del código PN generado en el receptor.

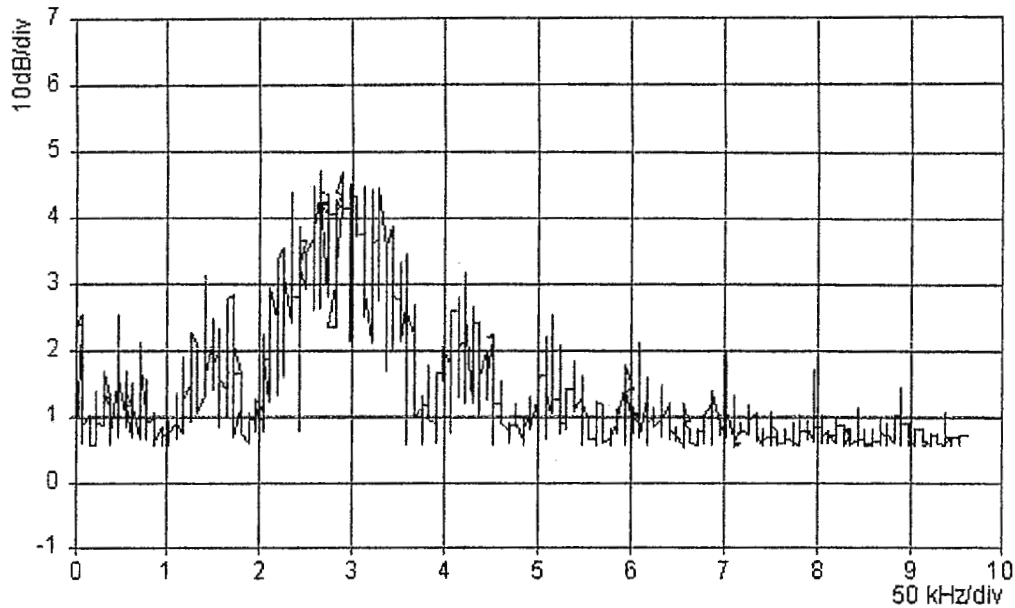


Figura 4.15 Espectro de PN recuperado

Haciendo uso de los módulos descritos anteriormente, tanto los que se han diseñado como los existentes en el laboratorio, y del programa de simulación, se pueden realizar diferentes prácticas que demuestren los principios fundamentales de la técnica de Espectro Disperso de Secuencia Directa.

Una de las capacidades del sistema es la de utilizar como portadora una señal de Microondas utilizando la banda X (10.5 GHz), con lo que se llevaría la demostración a un nivel más cercano a la realidad; pues como se ha estudiado en los capítulos anteriores, se utiliza esta técnica en anchos de banda establecidos en el espectro electromagnético.

Además se puede evaluar el comportamiento de la señal SS en presencia de ruido e interferencia en el canal de transmisión a utilizarse por medio del uso de módulos del equipo ya existente. Lo cual permitirá que se puedan efectuar mediciones de relaciones de señal a ruido y también de tasa de bit errados (BER) de la información transmitida.

Las prácticas de laboratorio se presentan de una manera secuencial en los anexos del presente documento, donde se detallan las conexiones a efectuar y el equipo a utilizar. También se presenta un listado de los componentes utilizados en el diseño de los módulos didácticos y de los circuitos impresos elaborados.

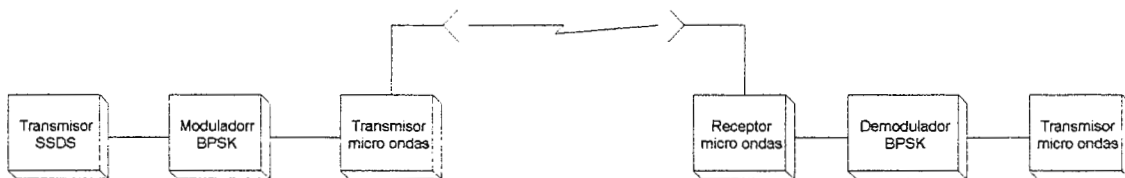


Figura 4.16: Diagrama a bloques de sistema SS inalámbrico

4.3 RECOMENDACIONES

A continuación se presentan algunas recomendaciones y sugerencias para mejorar el diseño del sistema didáctico:

1. Diseñar un generador local de datos o crear la interfaz adecuada para utilizar el generador disponible en el entrenador para modulación digital 1-A
2. Utilizar componentes de tecnología CMOS para tener la capacidad de trabajar a voltajes y velocidades superiores a los establecidos
3. Mejorar la inmunidad al ruido en el diseño de los circuitos impresos y la distribución de los componentes.
4. Se puede modificar el circuito generador de códigos PN aumentando el número de registros de desplazamiento y puntos de suma, para poder generar un mayor número de secuencias y de diferente longitud.
5. En el circuito del receptor se sugiere mejorar el sincronismo de la señal por medio de la identificación de una palabra o código de sincronismo, de tal manera que el sistema pueda ser capaz de autosincronizarse aún con la presencia de datos.
6. Diseñar una etapa completa, tomando en cuenta el modulador y demodulador BPSK para aumentar la frecuencia portadora con el fin de mejorar la ganancia de procesamiento y utilizar una mayor velocidad de datos.

CAPITULO V

EQUIPO CON TECNOLOGÍA DE ESPECTRO DISPERSO.

Una de las aplicaciones importantes de la tecnología de Espectro Disperso es en el campo de las *comunicaciones de datos*. Los enlaces de comunicación de Radiofrecuencia (RF) han sido utilizados por muchos años como una solución para ofrecer conectividad en aplicaciones de baja velocidad punto a punto y multipunto.

Tradicionalmente, estas aplicaciones han utilizado radios de banda angosta, y si el espectro de frecuencia estaba disponible, era una buena solución de conectividad. Actualmente se requiere la utilización de un ancho de banda mucho más grande para el transporte de los diferentes tipos de información (voz, vídeo, datos, etc.), por lo cual los sistemas de banda angosta presentan limitantes. En el caso de Espectro Disperso bandas de frecuencias enteras (902-928 MHz, ICM) están disponibles para los usuarios.

En la industria de datos inalámbrica hay requerimientos de servicios de datos de velocidad relativamente baja soportando usuarios móviles sobre áreas geográficamente amplias. Por otra parte hay requerimientos para servicios de datos de alta velocidad en áreas locales.

A continuación se presenta un ejemplo de un equipo de comunicaciones que utiliza tecnología de Espectro Disperso.

5.1 Modem Punto a Punto , AirLink .

La familia de modems AirLink de Cylink proveen una solución inalámbrica para conectividad de voz y datos utilizando tecnología spread spectrum. Estos modems están disponibles en los siguientes modelos:

AirLink 128. Soportando velocidades de datos a 128/112 kbps síncrono full-duplex y hasta 19.2 kbps en modo asíncrono.

AirLink 256. Soportando velocidades de datos a 256/224 kbps síncrono full-duplex y hasta 64 kbps en modo asíncrono.

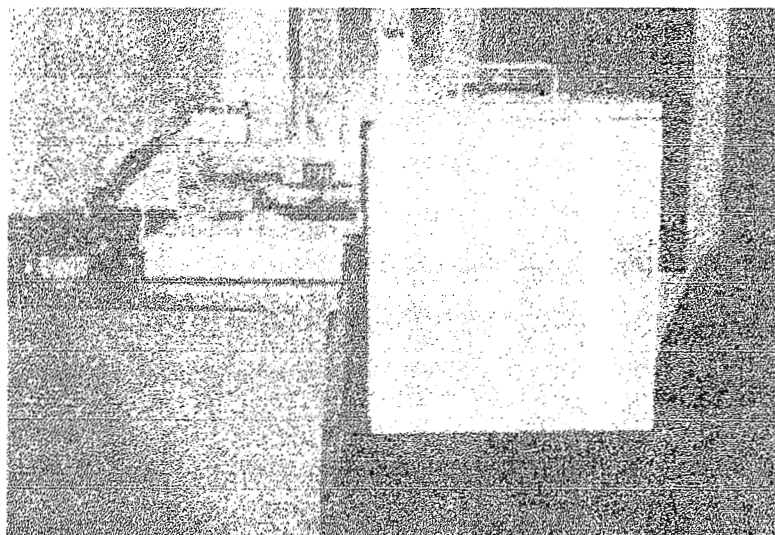


Figura 5.1 Modems AirLink.

5.1.1 Características.

Los modems AirLink Banda L poseen las siguientes características:

- De 33 a 48 km. entre AirLinks.
- Frecuencias de operación 2.4 – 2.4835 GHz.
- Opera en redes punto a punto.
- Protocolo transparente al host.
- Selección de canales
- Nivel de potencia RF de salida seleccionable.
- Capacidad de repetidor para redes flexibles
- Antena direccional u omnidireccional.
- Indicadores de sincronismo y encendido.
- Indicador de calidad de recepción.
- V.11/V.35, y opciones de interface EIA-530 DTE para AirLink 256.
- Fuente de reloj interna o externa.

Los modems inalámbricos Airlink están diseñados para reemplazar los modems alámbricos.

5.1.2 Aplicaciones.

Estos modems pueden ser configurados para enlaces punto a punto, repetidor o aplicaciones de concentrador (hub).. Por ejemplo, en una configuración punto a punto (dentro o entre edificios) pueden proveer un enlace de radio entre varios dispositivos tales como computadoras, printers o puentes de redes de área local. Es muy común cubrir distancias de 8 a 16 km. Y con el uso de antenas direccionales de alta ganancia se alcanzas distancias de hasta 48km.

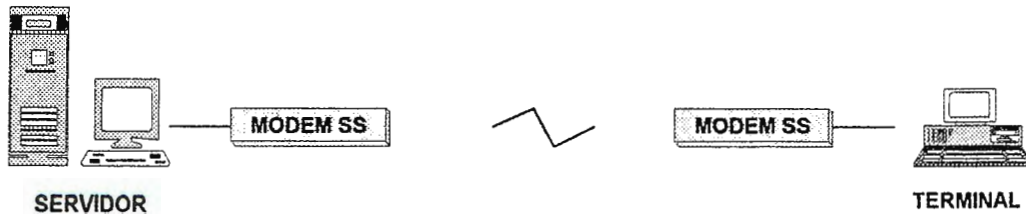


Figura 5.2 Aplicación punto a punto.

5.2 Mediciones Experimentales.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los experimentos desarrollados en las instalaciones de una empresa de telecomunicaciones salvadoreña.

Se utilizó un par de radiomodems AirLink 256 para efectuar un enlace punto a punto implementando el siguiente sistema de comunicación:

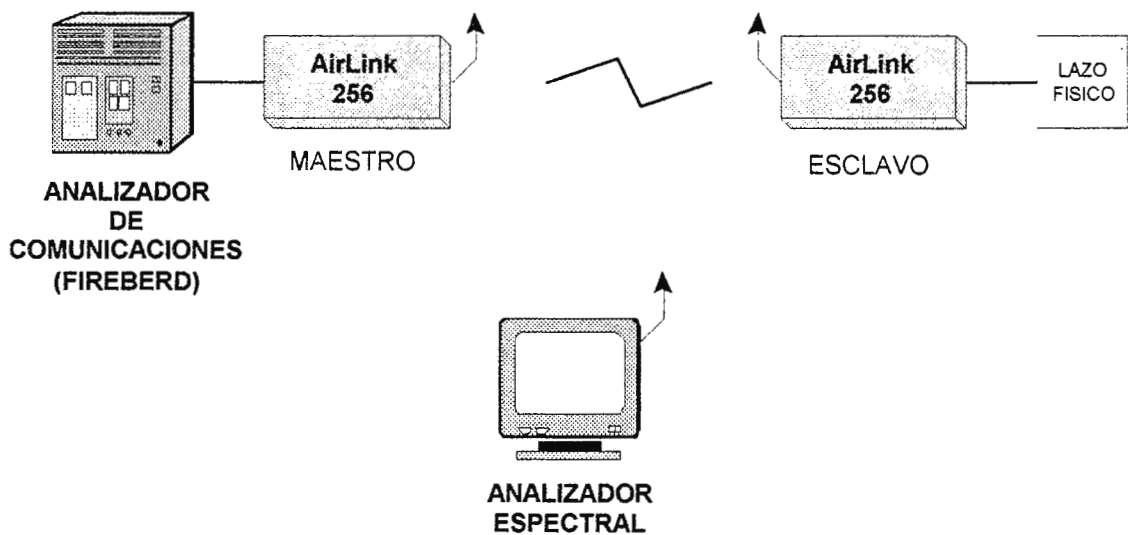


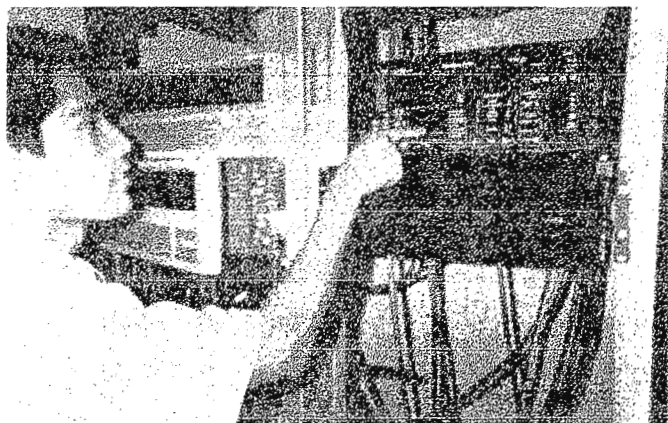
Figura 5.3 Enlace punto a punto a 256k bps.

En la figura anterior se puede observar que en un radiomodem se colocó, como equipo terminal, un Analizador de Comunicaciones, el cual se encargó de generar un patrón de datos a una velocidad de 256 kbps con el fin de efectuar las mediciones correspondientes. En el otro punto se encontraba otro radiomodem con un lazo de retroalimentación físico, el cual, devuelve la señal recibida hacia el analizador de comunicaciones. Además se colocó un analizador espectral para poder observar las señales de RF generadas por los equipos y observar sus características.

Las configuraciones y condiciones ambientales bajo las cuales se efectuaron las mediciones fueron:

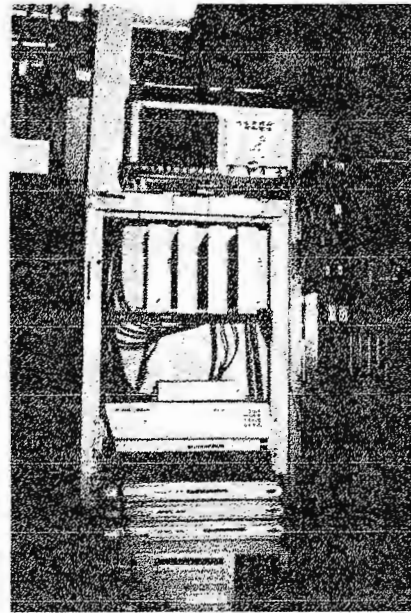
5.2.1 Analizador de Comunicaciones:

- Velocidad 256 Kbps.
- Reloj: Sintetizador
- Emulación: DTE
- Longitud de Patrón : $2^{15}-1$
- Interfaz V.35
- Modo síncrono



5.2.2 Radio Maestro:

- Canal: 2.41061 GHz.
- PN: 1
- Potencia Salida: 1mW (0dBm)
- Reloj interno de sincronismo.
- Velocidad 256 kbps.
- Fuente de Reloj de Transmisión: DTE (TT)
- Antena omnidireccional.

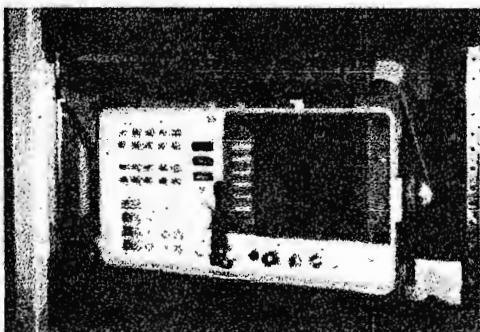


5.2.3 Radio Esclavo:

- Fuente de reloj de Transmisión: DCE (TT)
- Los demás parámetros iguales al del radiomodem maestro.



5.2.4 Analizador Espectral:



- Como se muestra en las diferentes gráficas obtenidas en la medición.

- Entrada de señal de Antena omnidireccional.

5.2.5 Condiciones Ambientales:

- Distancia entre radios: 5 metros.
- Distancia entre radios y analizador espectral: 6 metros.
- Temperatura: 18° C.
- Lugar: Sala de equipo de transmisión.

5.3 EVALUACIÓN DE RESULTADOS.

Al efectuar las configuraciones en cada equipo, descritas anteriormente, se procedió a evaluar las señales en el analizador espectral, dando como resultado los siguientes registros:

- REGISTRO 1:

Se observa la envolvente de la señal de Espectro Disperso centrada a una frecuencia de 2.41061 GHZ, que corresponde al valor de la portadora de RF. Al evaluar los puntos de menos 3dB don respecto al nivel máximo , se pudo tomar lectura de su respectivo ancho de banda para una velocidad de 256 k bps de transmisión. $BW = 9.84 \text{ MHz}$.

Tomando en cuenta estos valores se puede tener una idea de la *ganancia de procesamiento* desarrollada en el sistema, en términos de la relación de el ancho de banda de la información y el ancho de banda de Espectro Disperso, es decir se tiene que : $W_{ss} = 5 \text{ MHz aprox.}$ y $R_b = 256 \text{ k bps}$.

Entonces la $GP = 5M / 256k = 19.53$, lo cual también equivale a $GP = 12.9\text{dB}$, lo cual significa que el sistema está trabajando dentro de los valores esperados. Además teniendo conocimiento de este valor y de las potencias utilizadas en la señal y el ruido se podrían efectuar los cálculos de la probabilidad de error, según las expresiones estudiadas en la sección 3.3.

- REGISTRO 2:

En la figura 2a se puede observar la relación existente entre la señal de Espectro Disperso de los radiomodem y el nivel de ruido de piso resultante en ausencia de la señal.

En la figura 2b se puede hacer una comparación entre los valores máximos de la señal recibida y una gráfica de la señal de espectro disperso para un determinado tiempo.

- REGISTRO 3:

En esta gráfica se puede observar la señal de espectro disperso desplegada con un margen distinto en el analizador espectral, de tal forma que permite observar la relación entre el nivel de ruido y de otras señales de banda angosta dentro de la misma banda de operación.

- Registro 4:

La gráfica muestra la diferencia en el ancho de banda de una señal de espectro disperso con respecto al ancho de banda de una señal de banda angosta.

No se puede efectuar una comparación más detallada entre dichas señales, ya que no se conoce el origen de la señal de banda angosta, pero si se puede observar que en condiciones normales, una señal de banda angosta percibirá como ruido el nivel de señal de la de banda ancha. Por lo tanto si puede seguir trabajando y compartiendo el mismo espectro de frecuencias.

Referencias Bibliográficas

- [1] Marvin K. Simon, Jim K. Omura, Robert A. Scholtz, Barry K. Levitt, "Spread Spectrum Communication Handbook", McGraw-Hill, Inc. Revised Edition,,, 1994.
- [2] Wayne Tomasi, "Sistemas de Comunicación Electrónica", Prentice Hall, segunda edición, 1996
- [3] Stremler, " Introduction to Communications Systems", Addition-Wesley Publishier Company, Third Edition, 1990.
- [4] Ruben O. Kustra, Oswaldo O. Tujsnaider, "Principios de Comunicaciones Digitales", Colección Técnica AHCIET-ICI.
- [5] Andy D. Kucar, " Mobile Radio: An Overview", IEEE Communications Magazine Noviembre de 1991
- [6] Bijan Jabbari, " Wideband CDMA", IEEE Communication Magazine September 1998 Vol 36 No. 9.
- [7] William C.Y. Lee, "Mobile Communication Design Fundamentals", Second Edition,1993
- [8] Raymond L. Pickholtz, Laurence B. Milstein, Donald L. Schilling, " Spread Spectrum for Mobile Communications", IEEE Transactions on vehicular technology, vol 40 No 2, Mayo de 1991
- [9] William H. Tantarand Kurt L. Kosbar, "Simulation of Communication System", IEEE Communications Magazine, July 1994.

- [10] Bran D. Woerner, Jeffrey H. Reed, and Theodore S. Rappaport, "Simulation Issues for Future Wireless Modems", IEEE Communications Magazine, July 1994.
- [11] Laurence B. Milstein, Theodore S. Rappaport and Rashad Barhouthi, "Performance Evolution for Cellular CDMA", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 10, No 4, May 1992.
- [12] Jack Glas, "The Principles of Spread spectrum Communications", last modified on August 1996.
- [13] Witold Jachimczyk, "Spread Spectrum", August 1996. [9] William C. Y. Lee, "Spectrum Efficiency in Cellular", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 34, No 2, May 1989.
- [14] Kaveh Pahlavan and Allen H. Lavesque "Wireless Data Communications", Proceeding of the IEEE, vol 82, No 9, September 1994.
- [15] Paul G. Flikkema. "Spread-Spectrum techniques for Wireless Communications", IEEE Signal Processing Magazine, May 1997
- [16] George R. Cooper, Clare D. McGillem, "Modern Communications and Spread Spectrum, McGraw Hill, book Company, 1986.
- [17] Robert C. Dixon, John Wiley, "Spread Spectrum System with Commercial Applications", third Edition, Sons Inc. 1994.
- [18] Nicholson, David L., "Spread Spectrum Signal Desing, LPE & AJ System", Computer Scienc press Inc. 1988.

- [19] Charles E. Cook, "Spread Spectrum Communication" , IEEE Press, Ney York 1992
- [20] Norman Abramson, "Multiple Access Communications", IEEE Press, Ney York 1992
- [21] Robert C. Dixon, "Spread Spectrum Techniques", IEEE Press, Ney York 1976
- [22] K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, "On the Capacity of a Power Controlled CDMA System", IEEE Transactions on vehicular Technology, May 1991
- [23] A. Salamasi and K. S. Gilhausen, "On the System Design Aspects of Code Division Multiple Access (CDMA) Aplied to Digital Cellular and Personal Communicatins networks", Proc. 41st IEEE Veh. Techol. Conf., St Loui, MO, pp. 57-62,May 1991
- [24] E. Tiedemann, "Data Services for the IS-95 CDMA Standard", Fourth IEEE International Symposium on personal, Indoor and Mobile radio Communications, Japan, September 1993.
- [25] Robert A. Scholtz, "The Origins of Spread Spectrum Communications", IEEE Trans. Communications, vol. Com-30, May 1982.

Glosario.

Acceso Múltiple: Procedimiento de redes de trabajo por la cual varios usuarios pueden comunicarse sobre un medio común a un punto particular. En CDMA la estructura del código permite el uso simultáneo de una banda de frecuencia común.

Acceso Múltiple por División de Código (CDMA): métodos por cual varios usuarios se comunican o co-utilizan el mismo intervalo de frecuencia. La co-utilización es posible a causa de la baja correlación de cruce esperada entre la palabra de código asignada al usuario individual.

Anti-jam: Diseño y pasos de operación tomados en dispositivos electrónicos o sistemas para limitar la degradación de funcionamiento cual resulta de una interferencia electromagnética intencional o jamming.

Banda base: termino usado para denotar el mensaje actual o información. Por consiguiente, ancho de banda de banda base es el ancho de banda del mensaje.

Bifase Phase Shift keying (PSK): También conocido como binario PSK, el termino es usado para describir una operación de una señal cual usa justamente dos

valores de fases, a menudo ya sea 0° ó 180° . Bifase PSK es una forma común de modulación de secuencia directa en Spread Spectrum (SS).

Bit: Forma contraída de binary digit. Cuando es usado para indicar información, un bit es la unidad de información necesaria para resolver la incertidumbre de entre dos igualmente probables escogitaciones.

Chip: Termino usado para especificar un estado particular de la salida de un generador pseudoruido (PN). También algunas veces usado para especificar un estado particular de la modulación (SS).

Chirp: termino usado para describir una señal con una frecuencia instantánea, donde la fase de la señal varía linealmente con el tiempo sobre un cierto intervalo de tiempo.

Demodulador: La circuiteria del receptor que transforma los símbolos de la modulación de banda base o estados dentro del mensaje correspondiente.

Espectro de Potencia: Es la distribución de la potencia de las componentes de frecuencia de una señal.

Función de Autocorrelacion: Medida de la similitud entre una señal probabilística y una versión retrasada de la misma señal sobre un intervalo de tiempo T.

Función de correlación de cruce: Medida de la similitud entre dos señales.

Ganancia de procesamiento: La señal a ruido más la razón jamming (SIR) en banda base de un receptor SS dividido por el SIR en RF, ancho de banda de SS.

Interferencia: Una señal o energía electromagnética presente en un receptor que tiene el efecto de complicación o degradación en la operación del receptor. Interferencia incluye efectos térmicos y otras formas de ocurrencia natural ya sea como ruido.

Jamming: La radiación deliberada, re-radiación, o reflexión de energía electromagnética para el propósito de perjudicar el uso de un adversario o dispositivo electrónico, equipo, o sistema.

Modulación Spread Spectrum: Modulación que puede ser considerada para crear una banda ancha, portadora determinística en la cual el ancho de banda es mucho más grande que el ancho de banda del mensaje de banda base.

Multi-trayectoria: Condición en la cual hay más de una trayectoria resultando en apreciables amplitudes por lo cual una señal propagada desde un transmisor a un receptor.

Phase Shift Keying (PSK): Técnica de modulación de banda base en el cual el desplazamiento de fase de la portadora son usados para llevar información. Cuando dos valores de fase son usados, la modulación es llamada binaria PSK (BPSK). La modulación PSK es usada para dispersar la portadora en DS.

Porción de Código (code rate): Cuando nos referimos a un código (PN), este se refiere a la porción a la cual los chips son generados, sin embargo, la porción de código también puede ser usada para describir el número de entradas, información, dígitos binarios entre una detección de error y correlación.

Porción de datos: La porción de la generación de información o transferencia. Típicamente expresada por el número de dígitos binarios o bits de información por segundo y dado en términos de bits por segundo (bps).

Portadora Despreading: Operación requerida para un receptor SS en el cual la portadora de banda ancha (comúnmente SS) esta colapsada en el ancho de banda para ser comparada la banda angosta al mensaje, banda base, ancho

de banda. El resultado después de la portadora desprecinding es una forma de onda cuyo ancho de banda es igual en ancho de banda del mensaje.

Portadora: Forma de onda usada para facilitar el transporte del mensaje eléctrico a través de un medio a un sitio reservado. En comunicaciones convencionales, la portada es típicamente banda angosta comparada al ancho de banda del mensaje. En comunicación SS, la portadora es banda ancha comparada al ancho de banda del mensaje y aparece en forma aleatoria o como ruido.

Privacidad: termino usado para describir las comunicaciones cual proveen una protección limitada ya sea detección no autorizada, interceptación, y extracción del contenido del mensaje.

Propagación: termino cual describe la medida por la cual una señal transmitida alcanza un receptor.

Ruido pseudoaleatorio (PN): Termino usado para describir algunas de las clases de secuencias que muestran propiedades estadísticas como ruido. Esas secuencias PN son usadas para proveer modulación SS con propiedades aleatorias usadas por la modulación para crear incertidumbre sobre las partes de propiedades no amigables potencialmente.

Secuencia Directa (DS): Forma de modulación SS en cual la corriente de bits a ser transmitido es multiplicada directamente por (o módulo-2) el chip de la secuencia generada por el generador PN.

Sistema Híbrido. Sistema que emplea dos o más de las técnicas de modulación SS.

Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias. El Salvador

Banda 890 – 1,240 MHz

Atribución Nacional	Observaciones	Uso
<p>890 - 902 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico Radiolocalización</p>	<p>Ampliación de Sub banda B: 845-849 MHz/ 890-894 MHz</p> <p>La banda de 901 - 902 MHz espectro de Banda Estrecha de los Servicios de Comunicación Personal (Narrowband PCS)</p> <p>USV / RL 10 / FCC -42 (PARTE 24 129)</p>	<p>R R O</p>
<p>902 - 928 FIJO Aficionados Móvil salvo móvil aeronáutico Radiolocalización</p>	<p>La banda 902 – 928 MHz, con frecuencia central de 915 MHz, esta designada para aplicaciones industriales, científicas y médicas (ICM)</p> <p>Se autoriza a los sistemas de espectro ensanchado, a compartir esta banda con el ICM.</p> <p>La banda de 910 – 914 MHz . se puede ser utilizada para telefonía inalámbrica fija en el área rural.</p> <p>La banda 902-928 MHz podrá ser utilizado por la tecnología espectro ensanchado, también denominada "SPREAD SPECTRUM" bajo las siguientes condiciones de operación: Los equipos que operen en esta banda, así como otras, determinadas por el CNAF, con potencias que no excederán de 1 Watt a la salida del transmisor, con antenas de ganancia máxima de 6 dBi, es decir que la máxima potencia radiada no excederá de 6 dBWatt (aprox. 3.98 Watt). De exceder la ganancia antes señalada, se deberá limitar la potencia de salida del transmisor por la misma cantidad de dB excedidos en la ganancia de la antena transmisora.</p> <p>No se ofrecerá protección contra interferencias perjudiciales, a quienes utilicen esta tecnología. Esta banda utilizando esta tecnología es de uso libre.</p> <p>USV LT10 FCC 47/ PARTE 15.247</p>	<p>R L R O</p>
<p>928 - 942 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico Radiolocalización</p>	<p>Las bandas 930.400 - 931 MHz y 940 - 941 MHz espectro NBPCS</p> <p>Las bandas de 929 -930 MHz y 931 – 932 MHz se utilizara para el servicio de buscapersonas de una vía. separación entre canales 25 kHz, con un ancho de banda de 25 kHz</p> <p>USV LT 10 FCC 47 PARTE 24.129</p>	<p>R R O</p>
<p>942 - 960 FIJO MÓVIL</p>	<p>RR 8</p>	<p>R R</p>

Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias. El Salvador

Banda 2,290 – 2,500 MHz

Atribución Nacional	Observaciones	Uso
<p align="center">2,290 – 2,300 FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio lejano) (espacio-Tierra)</p>	<p align="center">La banda de 2,100 – 2,300 MHz sistema de 960 canales analógicos ó 300 canales analógicos Rec 283 - 4 volumen IX - I CCIR-UIT (1986) USV</p>	<p align="center">R R O</p>
<p align="center">2,300 – 2,450 FIJO MÓVIL RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados</p>	<p>La banda 2,400 – 2,500 MHz designada para aplicaciones industriales, científicas y medicas (ICM) con una frecuencia central de 2,450 MHz</p> <p>La banda 2,445 – 2,475 MHz pueden ser utilizadas en redes de área local para la interconexión sin hilos entre ordenadores en interior de edificios</p> <p>La banda de 2,300 – 2,500 MHz es utilizada para sistemas de punto a punto y punto a multipunto, hasta 120 canales digitales.</p> <p>La banda 2,400-2,483.5 MHz podrá ser utilizado por la tecnología espectro ensanchado, también denominada "SPREAD SPECTRUM" bajo las siguientes condiciones de operación: Los equipos que operen en esta banda, así como otras, determinadas por el CNAF, con potencias que no excederán de 1 Watt a la salida del transmisor, con antenas de ganancia máxima de 6 dBi, es decir que la máxima potencia radiada no excederá de 6 dbWatt (aprox. 3.98 Watt). De exceder la ganancia antes señalada, se deberá limitar la potencia de salida del transmisor por la misma cantidad de dB excedidos en la ganancia de la antena transmisora.</p> <p>No se ofrecerá protección contra interferencias perjudiciales, a quienes utilicen esta tecnología. Esta banda utilizando esta tecnología es de uso libre. RR 752 (FCC 47/PARTE 15.247)</p>	<p align="center">R R O L</p>

Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias. El Salvador

Banda 2,290 – 2,500 MHz

Atribución Nacional	Observaciones	Uso
<p>2,450 – 2,483.5 FIJO MÓVIL RADIOLOCALIZACIÓN</p>	<p>La banda 2,400 – 2,500 MHz designada para aplicaciones industriales, científicas y medicas (ICM) con una frecuencia central de 2,450 MHz</p> <p>La banda 2,445 – 2,475 MHz pueden ser utilizadas en redes de área local para la interconexión sin hilos entre ordenadores en interior de edificios</p> <p>Informe 933 volumen IX - I CCIR- UIT (1986)</p> <p>300 canales analógicos ó 120 canales digitales</p> <p>La banda 2,400-2,483.5 MHz podrá ser utilizado por la tecnología espectro ensanchado, también denominada "SPREAD SPECTRUM" bajo las siguientes condiciones de operación: Los equipos que operen en esta banda, así como otras, determinadas por el CNAF, con potencias que no excederán de 1 Watt a la salida del transmisor, con antenas de ganancia máxima de 6dBi, es decir que la máxima potencia radiada no excederá de 6 dbWatt (aprox. 3.98 Watt). De exceder la ganancia antes señalada, se deberá limitar la potencia de salida del transmisor por la misma cantidad de dB excedidos en la ganancia de la antena transmisora.</p> <p>No se ofrecerá protección contra interferencias perjudiciales, a quienes utilicen esta tecnología. Esta banda utilizando esta tecnología es de uso libre. RR 752 FCC 47 / PARTE 15.247</p>	<p>R R O</p>
<p>2,483.5 – 2,500 FIJO MÓVIL MÓVIL POR SATÉLITE (espacio-Tierra) RADIOLOCALIZACIÓN RADIODETERMINACIÓN POR SATÉLITE (espacio-Tierra)</p>	<p>La banda 2,400 – 2,500 MHz designada para aplicaciones industriales, científicas y medicas (ICM) con una frecuencia central de 2,450 MHz</p> <p>La banda 2,445 – 2,475 MHz pueden ser utilizadas en redes de área local para la interconexión sin hilos entre ordenadores en interior de edificios, l a potencia efectiva radiada máxima, no excederá de 100 mWatt.</p> <p>RR 752 USV</p>	<p>R R L/R O O</p>

Los servicios aquí indicados no son de exclusivo cumplimiento, pudiendo estas bandas ser utilizadas por otros servicios de acuerdo al desarrollo de nuevastecnologías, según lo especifique la UIT y no exista incompatibilidad electromagnética con servicios existentes.

Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias. El Salvador

Banda 5,725 – 7,300 MHz

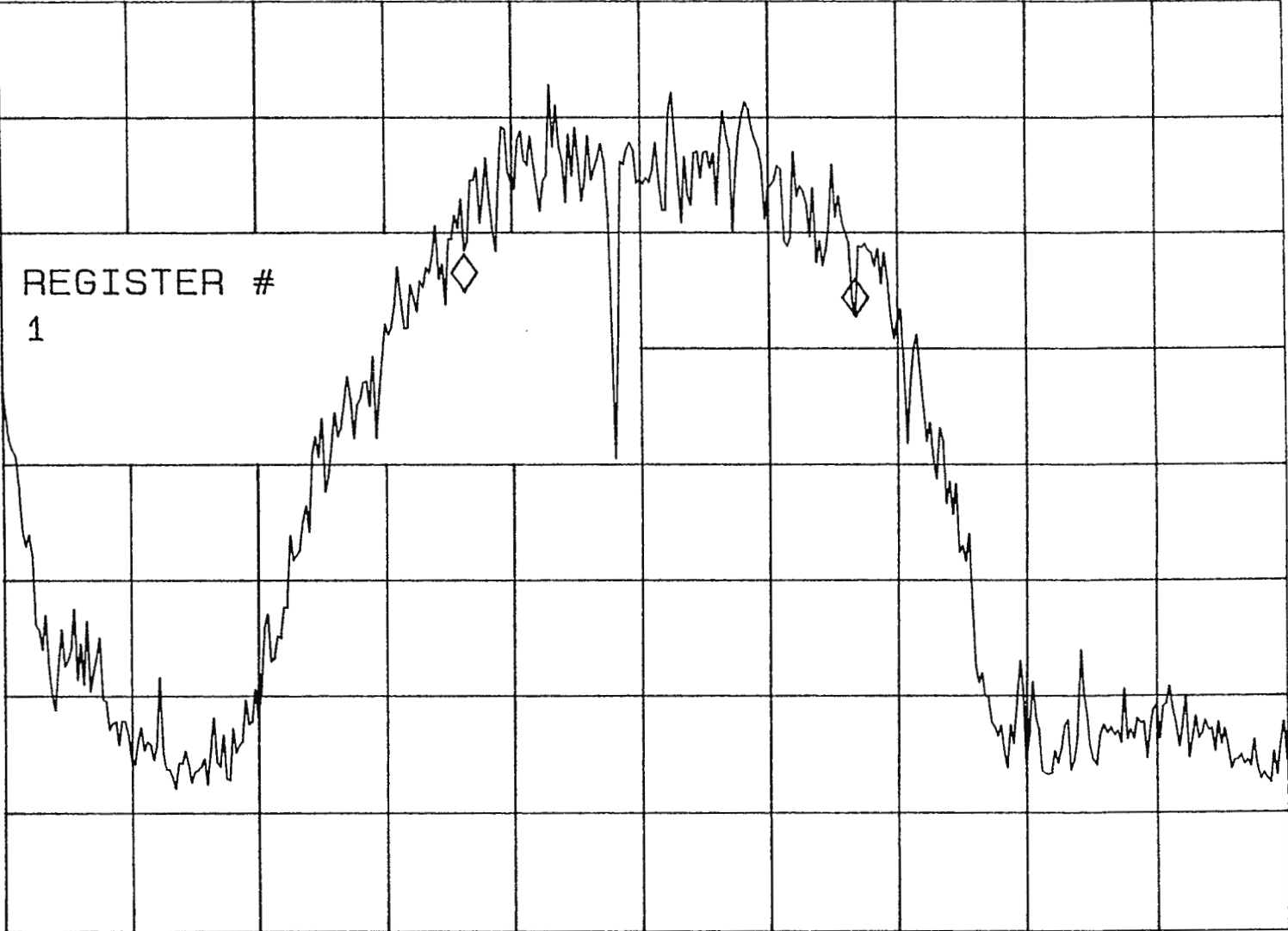
Atribución Nacional	Observaciones	Uso
<p align="center">5,725 – 5,850 RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados</p>	<p>La banda 5,725 – 5,875 MHz, con frecuencia central de 5,800 MHz, esta asignada para aplicaciones industriales, científicas y medicas (ICM)</p> <p>La banda 5,725-5,850 MHz podrá ser utilizado por la tecnología espectro ensanchado, también denominada "SPREAD SPECTRUM" bajo las siguientes condiciones de operación: Los equipos que operen en esta banda, así como otras, determinadas por el CNAF, con potencias que no excederán de 1 Watt a la salida del transmisor, con antenas de ganancia máxima de 6 dBi, es decir que la máxima potencia radiada no excederá de 6 dBWatt (aprox. 3.98 Watt). De exceder la ganancia antes señalada, se deberá limitar la potencia de salida del transmisor por la misma cantidad de dB excedidos en la ganancia de la antena transmisora.</p> <p>No se ofrecerá protección contra interferencias perjudiciales, a quienes utilicen esta tecnología. Esta banda utilizando esta tecnología es de uso libre. USV LT 10 FCC 47 (PARTE 15.247)</p>	<p align="center">O L</p>
<p align="center">5,850 – 5,925 FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) MÓVIL Aficionados Radiolocalización</p>	<p align="center">REC. 383-4 UIT-R</p> <p>La banda 5,945.2 – 6,404.75 MHz se utiliza en el Salvador para enlaces digitales de 1,920 canales REC: 383 - 3 volumen IX - I CCIR-UIT (1986)</p>	<p align="center">R R R L O</p>
<p align="center">5,925 – 7,075 FIJO FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) MÓVIL</p>	<p align="center">REC. 384-5 UIT-R</p> <p>La banda 5,945.2 – 6,404.75 MHz se utiliza en el Salvador para enlaces digitales de 1,920 canales REC: 383 - 3 volumen IX - I CCIR-UIT (1986)</p> <p>La banda 6,440 – 7,080 MHz se utiliza en El Salvador para enlaces digitales de 1,920 canales y enlaces analógicos de 960 canales y enlaces de televisión REC. 384-4 volumen IX-I CCIR-UIT (1986)</p>	<p align="center">R R R</p>
<p align="center">7,075 – 7,250 FIJO MÓVIL</p>	<p align="center">REC. 385-5 UIT-R</p> <p>REC. 385-3 volumen IX-I CCIR-UIT (1986) La banda 7125 – 7425 MHz se utiliza en El Salvador para enlaces analógicos de 300 canales y enlaces digitales de hasta 480 canales</p>	<p align="center">R R</p>
<p align="center">7,250 – 7,300 FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL</p>	<p align="center">REC. 385-5 UIT-R</p> <p>REC. 385-3 volumen IX-I CCIR-UIT (1986) La banda 7,425 – 7,725 MHz se utiliza en El Salvador para enlaces analógicos de 300 canales y enlaces digitales de hasta 480 canales</p>	<p align="center">R R R</p>

Los servicios aquí indicados no son de exclusivo cumplimiento, pudiendo estas bandas ser utilizadas por otros servicios de acuerdo al desarrollo de nuevas tecnologías, según lo especifique la UIT y no exista incompatibilidad electromagnética con servicios existentes

08: 46: 57 19 NOV 1998
SS 256K 22: 29: 45 18 NOV 1998
REF -66.3 dBm #ATTEN 0 dB

MKR Δ 9.84 MHz
-.85 dB

PEAK
LOG
4
dB/



CENTER 2.41061 GHz
#RES BW 30 KHZ

#VBW 3 MHz

SPAN 32.25 MHz
SWP 110 msec

09:39:12 19 NOV 1998

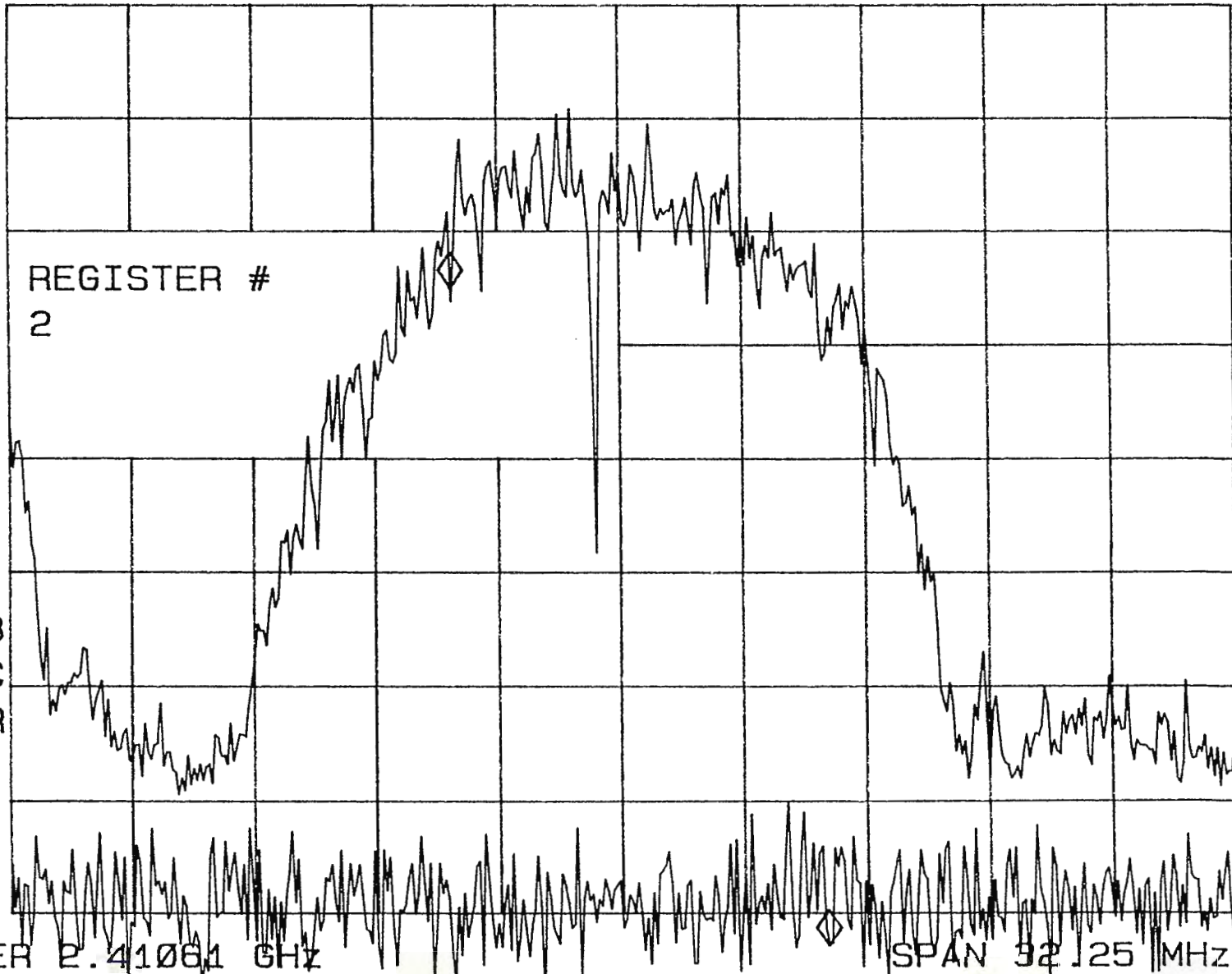
SS 256K 22:32:03 18 NOV 1998

REF -66.3 dBm #ATTEN 0 dB

MKR Δ 9.84 MHz

-23.14 dB

PEAK
LOG
4
dB/



09:34:48 19 NOV 1998

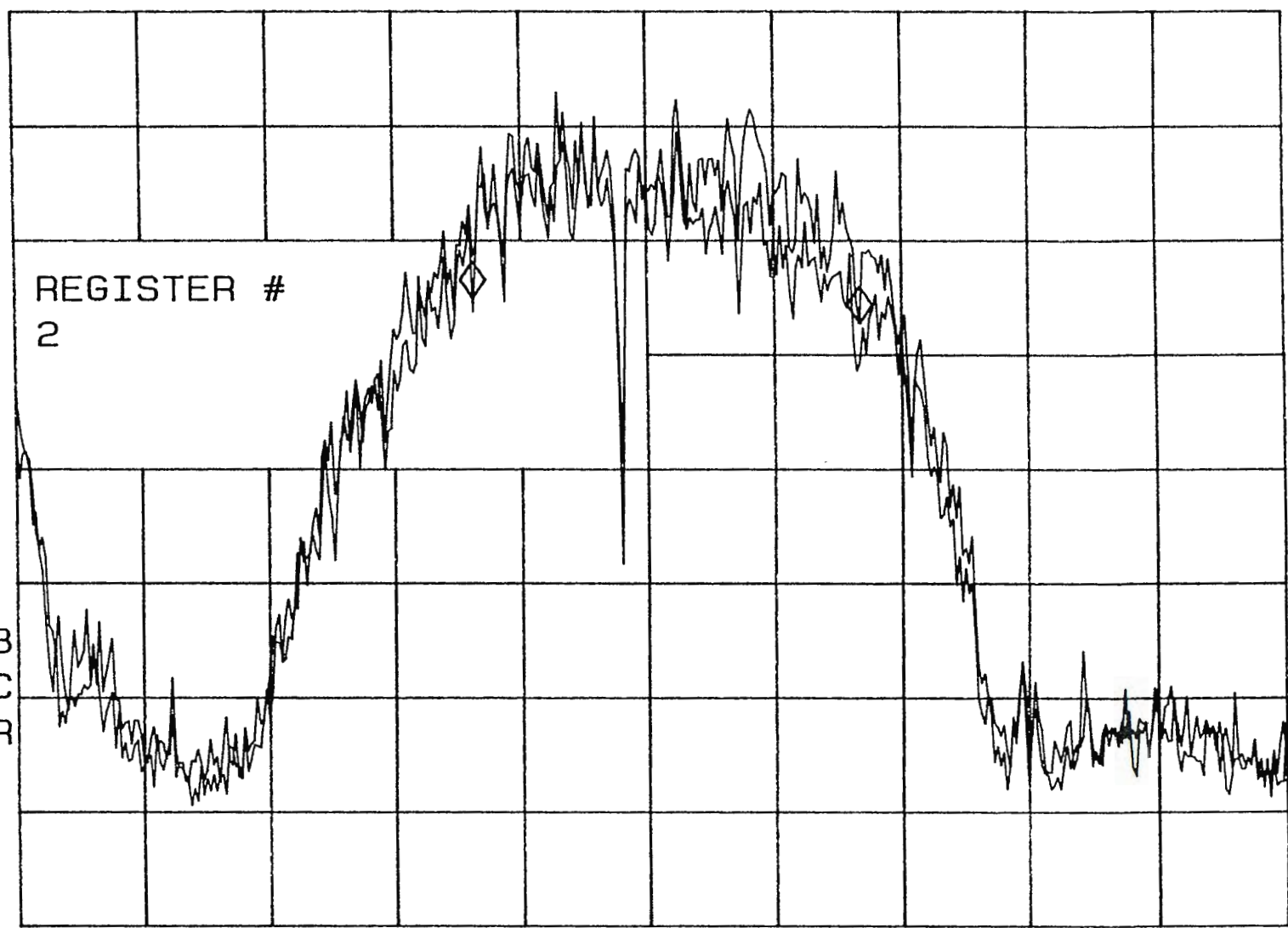
SS 256K 22:32:03 18 NOV 1998

MKR Δ 9.84 MHz

REF -66.3 dBm #ATTEN 0 dB

-.85 dB

PEAK
LOG
4
dB/



REGISTER #
2

VA MB
SC FC
CORR

CENTER 2.41061 GHz

SPAN 32.25 MHz

#RES BW 30 kHz

#VBW 3 MHz

SWP 110 msec

09:23:41 19 NOV 1998

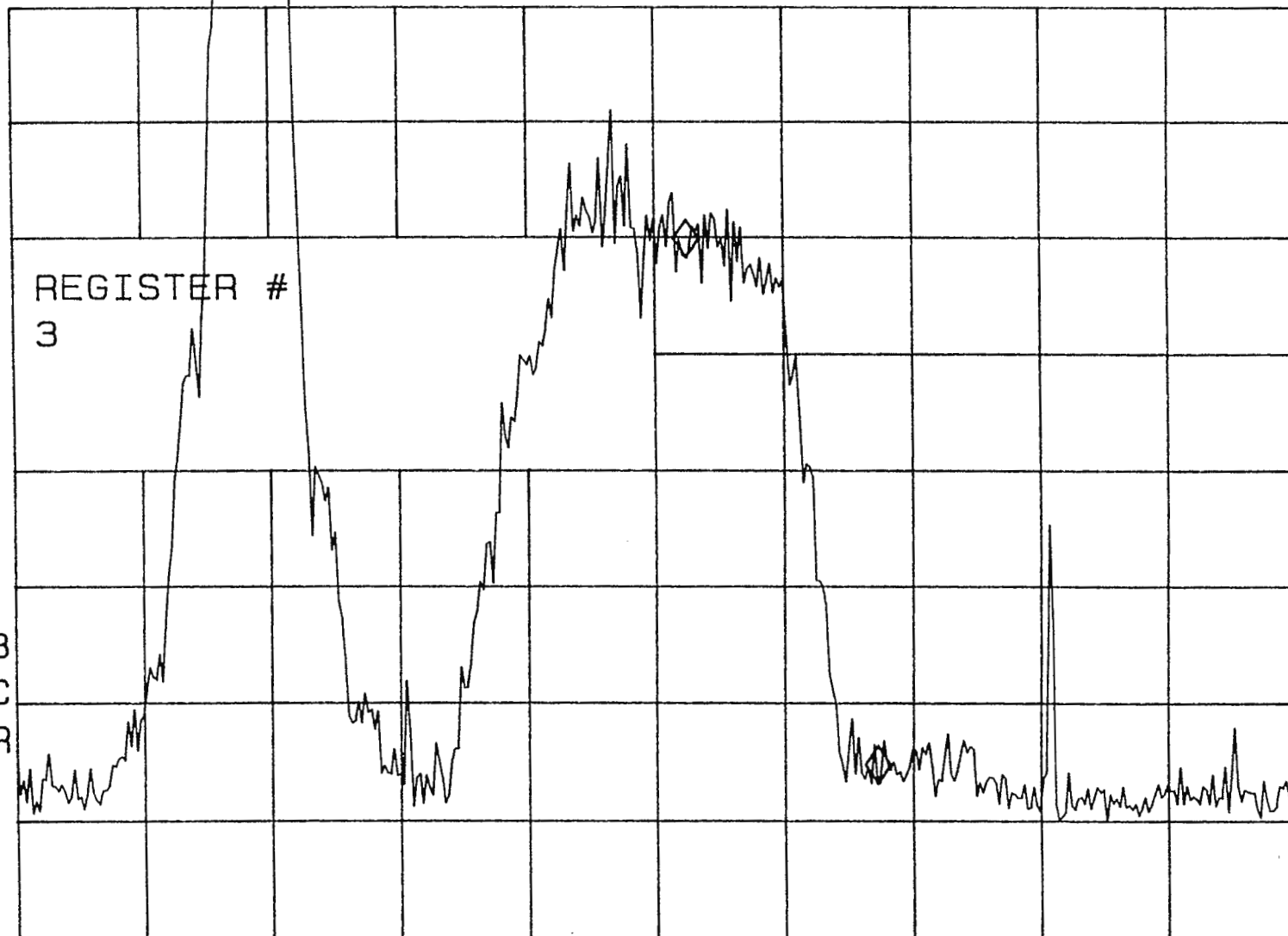
SS 256K 22:37:28 18 NOV 1998

MKR Δ -9.24 MHz

REF -66.3 dBm #ATTEN 0 dB

18.03 dB

PEAK
LOG
4
dB/



CENTER 2.41061 GHz

SPAN 62.66 MHz

#RES BW 30 kHz

#VBW 3 MHz

SWP 210 msec

09: 28: 53 19 NOV 1998

SS VRS NB 22: 45: 16 18 NOV 1998

MKR Δ -2.82 MHz

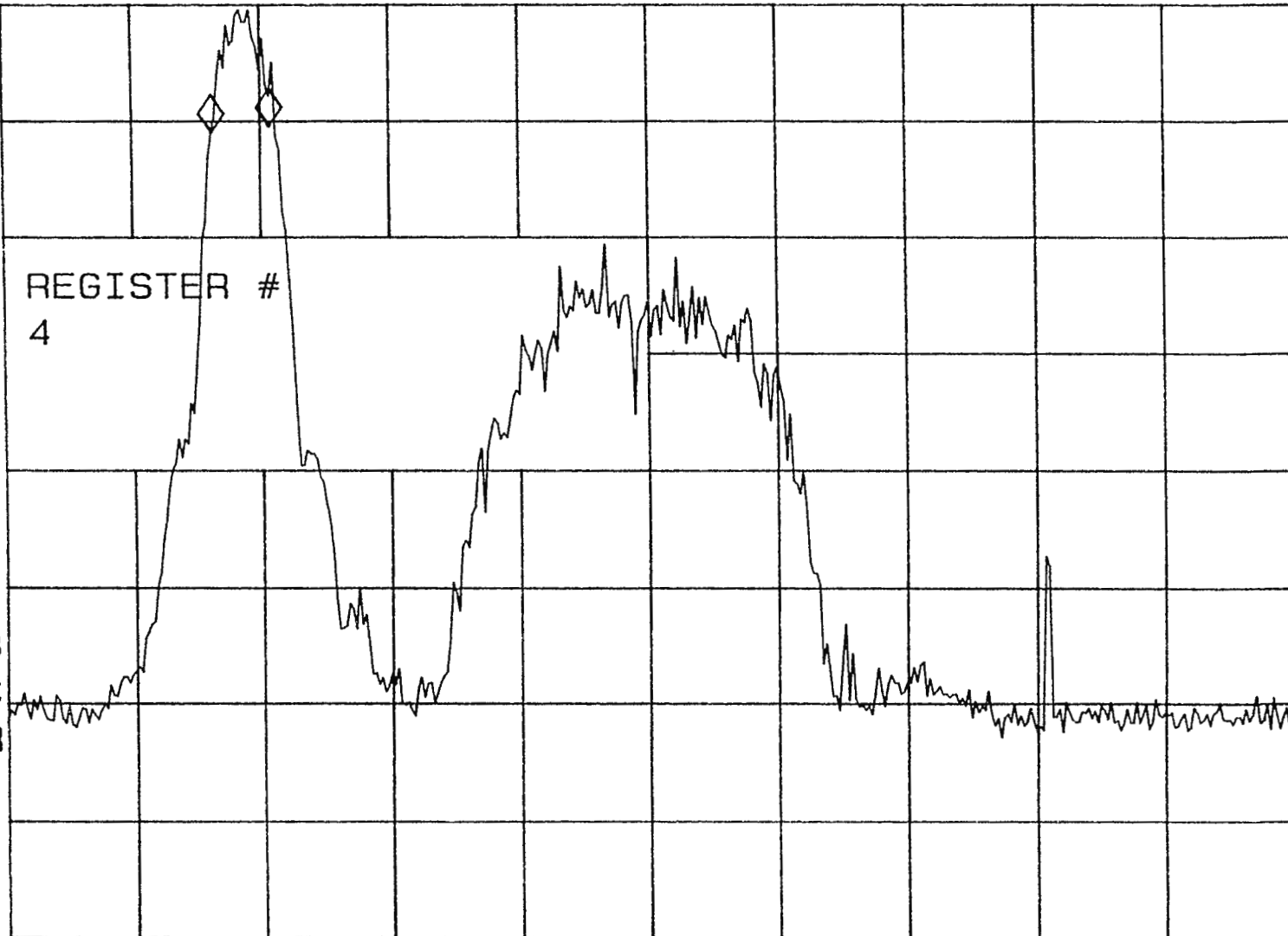
REF -56.4 dBm #ATTEN 0 dB

-.33 dB

PEAK
LOG
6
dB/

REGISTER #
4

VA SB
SC FC
CORR



CENTER 2.41061 GHz

#RES BW 30 KHZ

#VBW 3 MHz

SPAN 62.66 MHz

SWP 210 msec



GUÍA No. 1

Escuela: ELECTRÓNICA **Facultad:** INGENIERÍA
Asignatura: SISTEMAS DE COMUNICACIÓN II
Título: GENERACION DE SECUENCIAS PSEUDOALEATORIAS
Lugar de ejecución: Laboratorio de TELECOMUNICACIONES.
Tiempo de ejecución: 2 hrs.

I. Objetivos Específicos

- Que el estudiante se capaz de construir y simular un generador de Secuencia Pseudoaleatoria de Longitud Máxima.
- Observar y describir el espectro de una señal pseudoaleatoria.

II. Introducción Teórica

Las Secuencias Pseudoaleatorias de Longitud Máxima son los códigos más grandes que pueden ser generados por un registro dado o un elemento de retardo de una longitud dada.

En un generador de secuencias de registros de desplazamiento binarios, la secuencia de longitud máxima es $2^n - 1$ chips, donde n es el número de etapas en el registro de desplazamiento.

Un ejemplo de generación de secuencia de máxima longitud es presentada en la siguiente ilustración.

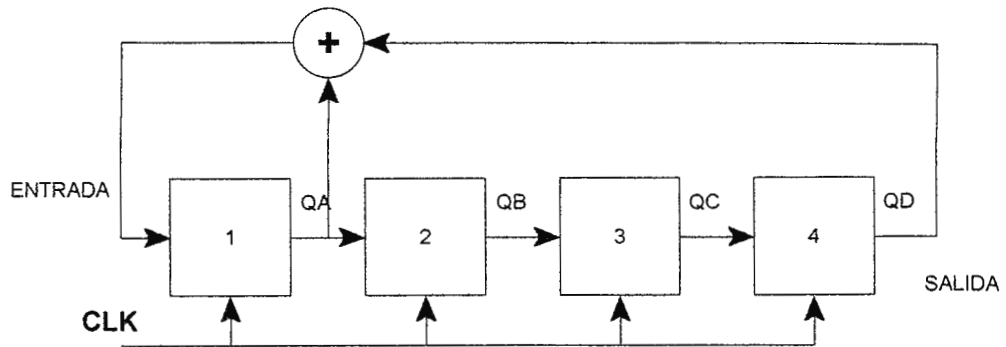


Ilustración 1.1 Generador de 4 etapas

De este diagrama se puede decir que tiene $2^4 - 1$ chips. Para máxima secuencias el número de unos es $(2^n)/2$ y el de ceros es $(2^n - 1)/2$, estadísticamente la distribución de unos y ceros contribuye a limitar el grado de supresión de portadora, ya que la supresión de la portadora es dependiente de la simetría de la señal de modulación.

Una señal digital aleatoria presenta un espectro de frecuencias de la forma $(\text{Sen } X)/X$, similar al representado en la siguiente ilustración:

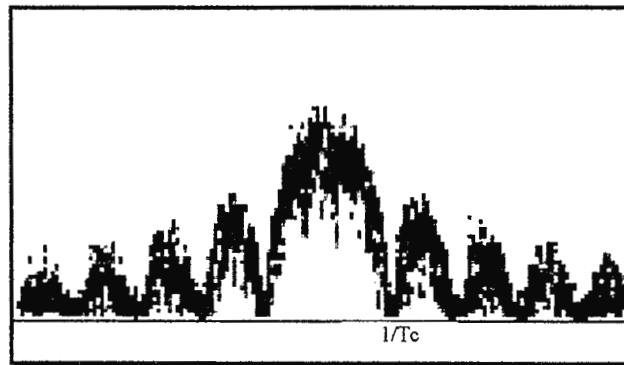


Ilustración 1.2. Espectro de una señal pseudoaleatoria.

Los puntos de frecuencia en los cuales la magnitud de la señal se hace cero corresponden al valor de frecuencia del reloj utilizado para generar el patrón PN.

III. Materiales y Equipo

CANTIDAD	DESCRIPCION
1	Computadora Personal
1	Software de simulación de circuitos PSPICE.

IV. Procedimiento

1. Encienda la computadora, busque el programa de simulación PSPICE y ejecútelo.
2. Basándose en el esquema de la ilustración 1.1, diseñe un circuito generador de patrones pseudoaleatorio de máxima longitud utilizando los circuitos integrados de una compuerta EXOR y flip flops D.
3. Busque en los manuales de componentes los números de IC adecuados o utilice las librerías del programa para elegirlos.
4. Una vez ha efectuado su diseño, proceda a dibujar el esquema y a realizar la simulación utilizando el subprograma Schematics. En la configuración para la simulación asegúrese de colocar la opción de valor de inicio de los flip flops todos en 1.
5. Identifique los puntos en donde se necesita evaluar las señales y coloque marcadores de voltaje, principalmente en la salida del circuito.
6. Compruebe cuál es la longitud del código generado evaluando su periodicidad.

Longitud: _____

7. Evalúe la cantidad de ceros y unos correspondientes a la secuencia generada.

Número de ceros: _____ Número de unos: _____

8. Cambie aleatoriamente las etapas de retroalimentación y evalúe el código generado a la salida.
9. Coloque una resistencia de 10 k ohms entre la salida del circuito y tierra.
10. Observe el voltaje en la resistencia y posteriormente visualice esa señal en el dominio de la frecuencia utilizando las herramientas proporcionadas por el programa Probe.
11. Identifique los valores de cruce por cero de la señal y tome nota de los valores de frecuencia.

V. Análisis de Resultados

1. De las señales observadas en el paso 6 , ¿cuál es la longitud del patrón?
¿Concuerda con el valor esperado? Explique.
2. ¿Qué características de una señal aleatoria observa en la señal de salida del generador?
3. ¿Qué observó al cambiar los puntos de retroalimentación? ¿Son todas señales de máxima longitud?. Explique.
4. En la señal observada en el dominio de la frecuencia ¿cuál es la forma de la señal?. ¿En qué valor de frecuencia se da el primer cruce por cero del “lóbulo” y a qué corresponde?.

VI. Investigación Complementaria

1. Investigue cuáles son las conexiones de retroalimentación para la generación de secuencias lineales de máxima longitud para un código de 10, 11 y 12 etapas.
2. Investigue qué son los códigos de Gold y cuáles son sus características.

VII. Bibliografía.

- [1] Comunicaciones Digitales Vol. III . “ Modems y Transmisión de Datos” Lab Volt.
- [2] Proakins, John G. , “Digital Communications”, 2º Edición McGraw Hill, 1989.
- [3] Marvin K. Simon, Jim K. Omura, “Spread Spectrum Communications Handbook”, McGraw-Hill, Inc. Revised Edition 1994.

GUÍA No. 2

Escuela: ELECTRÓNICA **Facultad:** INGENIERÍA
Asignatura: SISTEMAS DE COMUNICACIÓN II
Título: ESPECTRO DISPERSO DE SECUENCIA DIRECTA.
Lugar de ejecución: Laboratorio de TELECOMUNICACIONES.
Tiempo de ejecución: 2 hrs.

I. Objetivos Específicos

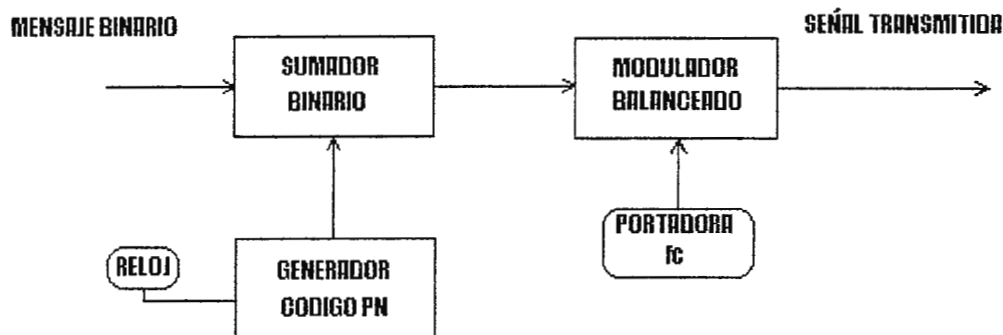
- Construir un circuito para la generación de Espectro Disperso de Secuencia Directa.

II. Introducción Teórica

Un sistema de Espectro Disperso es aquel en el cual la señal transmitida es dispersada sobre una banda de frecuencia amplia, mucho más grande que el mínimo ancho de banda requerido para transmitir la información que está siendo enviada.

Generalmente, hay 3 técnicas populares usadas para obtener las señales de espectro disperso. Una de ellas es “Espectro Disperso de Secuencia Directa”. Con este método se modula una portadora analógica con una secuencia digital de código pseudoaleatorio de máxima longitud (PN), la cual posee una velocidad de bit mucho más grande que el ancho de banda de la información.

Un sistema típico de Secuencia Directa se muestra en la siguiente figura:



TRANSMISOR DE SECUENCIA DIRECTA

Ilustración 2.1

El transmisor está compuesto de un generador de códigos pseudoaleatorio, un sumador binario y un modulador balanceado. La salida binaria de el generador PN es sumada, (módulo 2), al mensaje binario, y la suma es usada para modular una portadora. La modulación puede ser tal que se obtenga una señal PSK.

Un simple ejemplo de dispersión y “alargamiento” de señal DS-SS es ilustrada en la figura 2.

Un pulso cuadrado con duración de T_b representa parte de una señal binaria. Su transformada de Fourier es una función con un valor de cero en $1/T_b$. Esta señal de información es multiplicada por una secuencia pseudoaleatoria con pulsos angostos de duración de tiempo T_c y cero en $1/T_c$, de tal manera que forman una señal de Espectro Disperso.

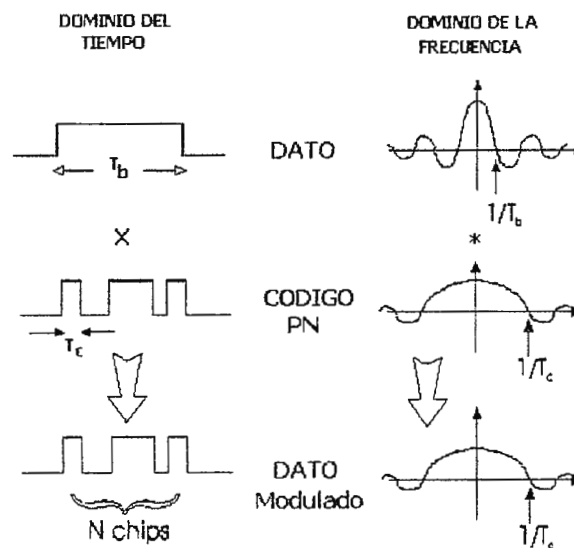


Ilustración 2.2 Procesamiento DS

Puede observarse que la señal SS tiene, en realidad, un ancho de banda mucho más grande que el de el mensaje transmitido. El incremento de tiempo más pequeño en la secuencia PN es T_c y es referido como un “chip time”. En su forma más general, un sistema de comunicación de Espectro Disperso de Secuencia Directa (DSSS) toma una secuencia de datos binaria y la multiplica con una secuencia binaria pseudoaleatoria (PN) de alta velocidad. El resultado es una secuencia binaria con una velocidad igual a la de la señal PN, la cual posteriormente es modulada.

El espectro de la señal modulada es *disperso* por un factor N , el cual es la relación de la velocidad de la secuencia de bits a la velocidad de los datos de información.

III. Materiales y Equipo.

CANTIDAD	DESCRIPCION
1	Módulo de Sistema Didáctico Transmisor de Secuencia Directa TxSD
1	Entrenador para Modulación Digital 1A.
1	Osciloscopio.
1	Analizador Espectral.

IV. Procedimiento

Objetivo A. Generación del Código Pseudoaleatorio de Secuencia Directa.

1. En el módulo del sistema didáctico del Transmisor de Secuencia Directa (**TxSD**) identifique los diferentes componentes, en base a la información proporcionada en la hojas anexas al final de la presente guía.

Las etapas a identificar en el módulo son las siguientes:

- Puntos de alimentación (+5Vdc,-5Vdc,Tierra).
- Entrada de datos.
- Salida de señal de Secuencia Directa bipolar.
- Entrada de reloj.
- Generador de Código PN.
- Divisor de Frecuencia.
- Puntos de Prueba y Puentes:
 - TP1: Salida bipolar SD. A: Selector de Reloj de PN
 - TP2 : Datos de Entrada. B: Selector de salida PN.
 - TP3: Datos + PN. C: Puntos de Retroalimentación.
 - TP4 : Código PN. D: Habilitador de Datos.
 - TP5: +5Vdc. S1: Reinicio de PN.
 - TP6: 0 Vdc. Tierra.

2. En el Entrenador para Modulación Digital 1A (**MD1A**) identifique lo siguiente:

- Oscilador RF (MDF MOD/OSCILADOR).
- Interfaz de Reloj (GEN RELOJ TRANSM / INTERFAZ).
- Modulador BPSK. (MDA MOD / MDF MOD)
- Filtro Pasabanda de Transmisión.

3. Una vez identificadas las etapas anteriores, se procederá a efectuar las conexiones necesarias para generar el código PN como se muestra en la figura 2.3. En el módulo de transmisión PN una la *salida de secuencia bipolar* con el punto J20 del módulo 1A. Efectúe la conexión entre la *entrada de reloj* (TxSD) y la salida J2 de la etapa

Interfaz (MD1A).

4. Haga las siguientes conexiones en el módulo 1A: Una J19 con J21 y con J1; J22 con J23.
5. Seleccione las etapas de retroalimentación adecuadas para la generación de un código PN de longitud 127. Coloque los puentes por medio de alambres en el conector denominado C (IC7). Por ejemplo, si se desea construir un código de 7 etapas y una longitud máxima (127), se pueden realizar las retroalimentaciones [7,3] uniendo los pines 3 con 16 y 7 con 15 del conector C y luego colocando los pines 14 y 13 a tierra para habilitar el buen funcionamiento de las compuertas en IC 7486 (encargadas de efectuar la suma).
Verifique que las etapas del registro de desplazamiento que ha seleccionado puedan generar un código de longitud máxima. (Utilizar tablas). Seleccione por medio del puente B la salida del código PN adecuada para la mezcla con los datos.
6. Conecte el puente A selector de *división de reloj* para obtener una frecuencia de reloj de PN igual a la mitad de la frecuencia de la portadora. Con esto se estará asegurando que existan dos ciclos de portadora por chip de PN.
7. Energice los módulos y ajuste utilizando AJ FREC ALTO del MD1A una frecuencia de portadora igual a 192kHz en el punto J19.

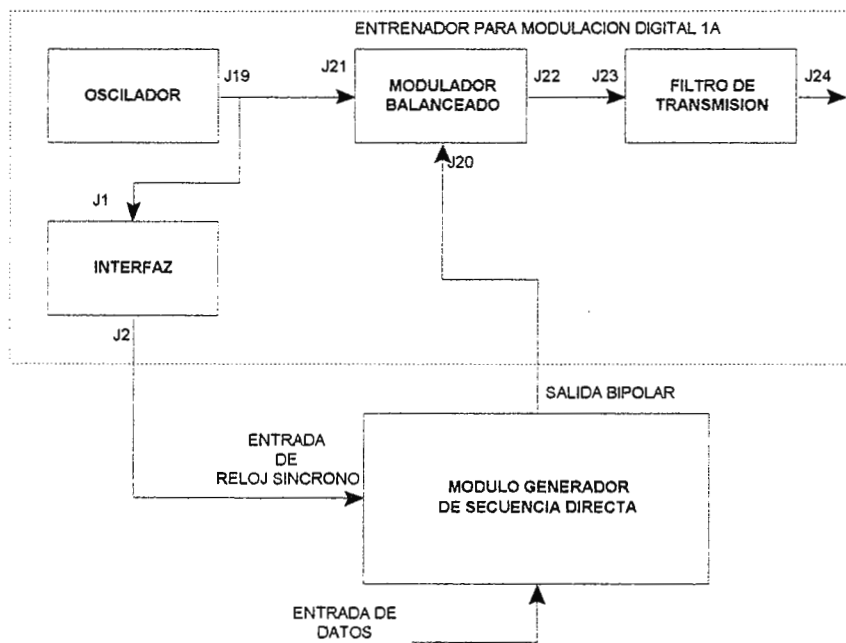
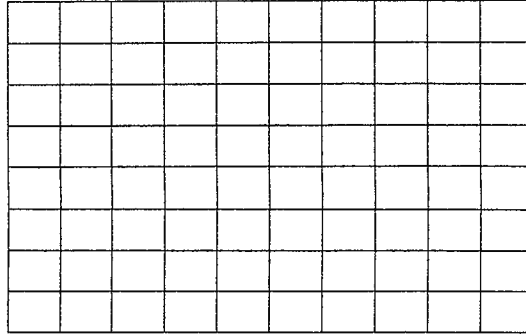
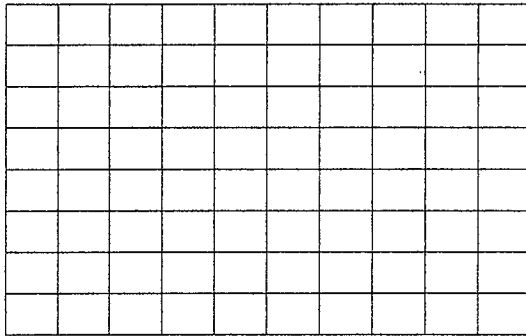


Ilustración 2.3 Conexiones entre módulos TxSD y MD1A.

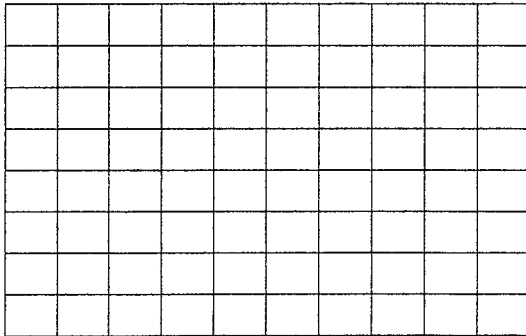
8. Quite la unión en el puente D con el fin de deshabilitar la entrada de datos al sistema.
9. Presione el interruptor S1 para reiniciar la generación del código PN.
10. Evalúe las señales en TP4 y TP1 con la ayuda del osciloscopio. Ajuste los controles para obtener una señal estable (trigger) ¿Qué representan éstas señales?. Dibujelas a continuación.



11. ¿Cuál es el tiempo de chip observado? T_c : _____.
12. Encienda el analizador espectral y efectúe los ajustes siguientes:
- Impedancia de entrada: 1Mohm.
 - Entrada máxima: 20 dBm.
 - Margen de frecuencia: 50 kHz / V.
 - Nivel de salida : CAL.
 - Escala : Logaritmica, 10 dB / V
13. Ahora proceda a evaluar el espectro de las señales vistas anteriormente en el dominio del tiempo.
Espectro de TP1:



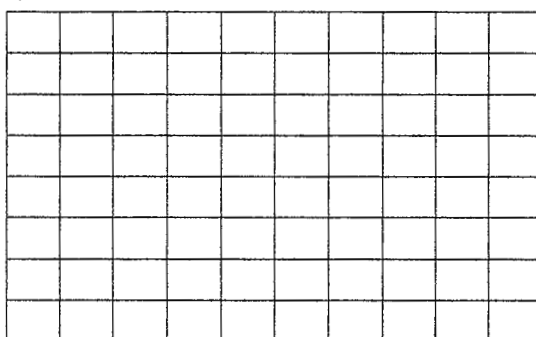
Espectro de TP4:



- De los gráficos obtenidos anote sus conclusiones con respecto a los valores de frecuencias observadas (ancho de banda) y a la forma de sus amplitudes.

Objetivo B. Generación de Señal DS BPSK.

- Observe el espectro de la señal en J19 del módulo MD1A. ¿Cuál es el valor de frecuencia medido?
- Coloque en el canal 1 del osciloscopio la señal de TP1 y seleccione el sincronismo para este canal. Luego coloque en el canal 2 la señal de salida presente en J22. ¿A qué corresponde dicha señal?
- Evalúe también el espectro en J22 y esquematícelo en la siguiente figura.



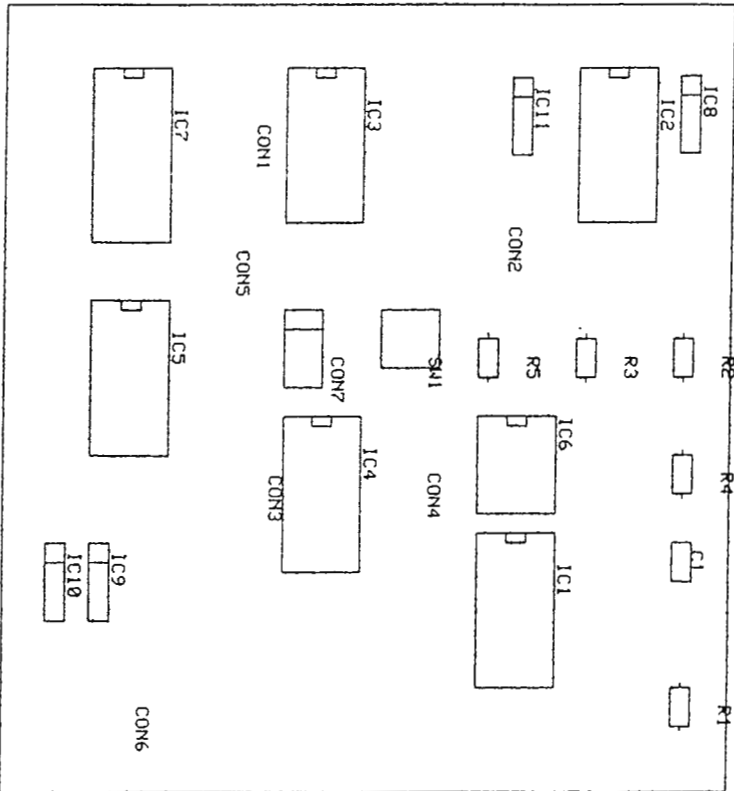
- ¿A qué corresponde éste espectro? ¿Cuál es el valor de frecuencia de máxima amplitud? Explique.
- Observe las señales en el tiempo y en frecuencia del punto J24. ¿Cuál es la diferencia con los observados anteriormente?
- ¿A qué valor corresponde la inversión de fase en el modulador PSK?. ¿Cuántos ciclos de señal portadora hay por tiempo de chip?.
- Anote sus conclusiones.
- Apague el equipo y desconecte todo.

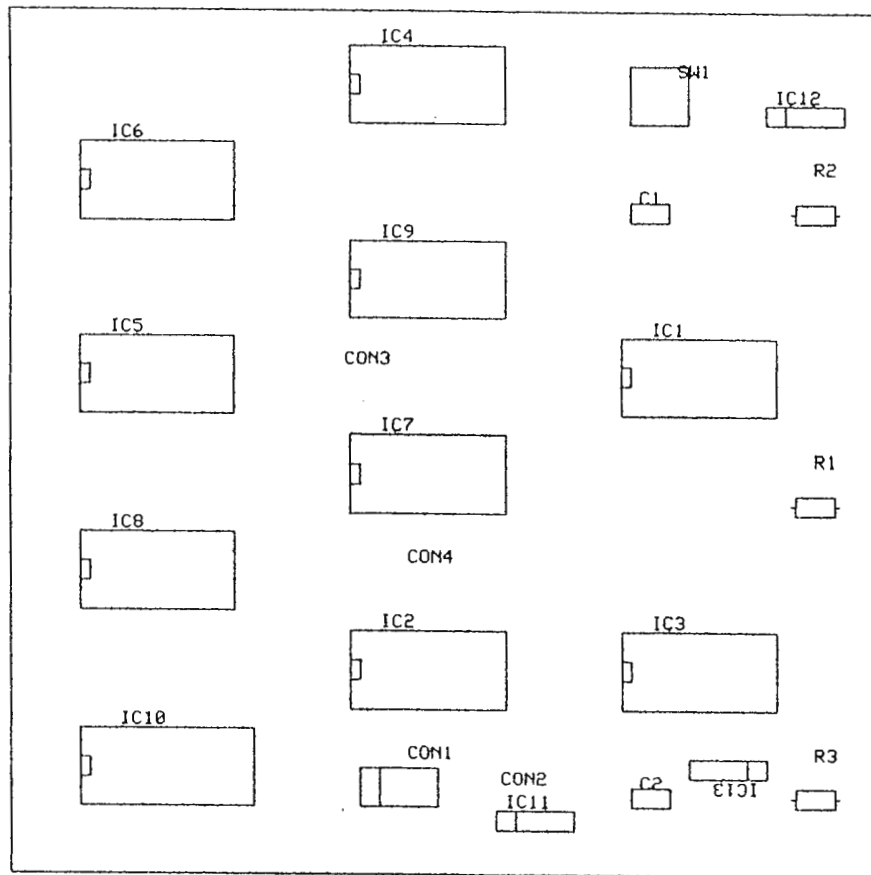
V. Investigación Complementaria

- Investigar acerca del comportamiento de un sistema BPSK en presencia de ruido. (Probabilidad de error, S/N).
- ¿Qué se conoce como ganancia de procesamiento en un sistema de espectro disperso?.

VI. Bibliografía.

[1] Comunicaciones Digitales Vol. III . “Modems y Transmisión de Datos” Lab Volt.
 [2] Proakins, John G. , “Digital Communications”, 2º Edición McGraw Hill, 1989.
 [3] Simon , Marvin K. “Spread Spectrum Communications Handbook” , Mc Graw Hill, 1994
 [4] Buck Engineering Co, “Electricidad y Electrónica Prácticas”. Lab-Volt, 1987.





SELECCIONANDO UN CODIGO LINEAL DE MAXIMA LONGITUD

Nº DE ETAPAS	LONGITUD	RETROALIMENTACIONES
2	3	[2,1]
3	7	[3,1]
4	15	[4,1]
5	31	[5,2][5,4,3,2][5,4,2,1]
6	63	[6,1][6,5,2,1][6,5,3,2]
7	127	[7,1][7,3][7,3,2,1][7,4,3,2][7,6,4,2][7,6,3,1][7,6,5,2] [7,6,5,4,2,1][7,5,4,3,2,1]
8	255	[8,4,3,2][8,6,5,3][8,6,5,2][8,5,3,1][8,6,5,1][8,7,6,1] [8,7,6,5,2,1][8,6,4,3,2,1]
9	511	[9,4][9,6,4,3][9,8,5,4][9,8,4,1][9,5,3,2][9,8,6,5][9,8,7,2] [9,6,5,4,2,1][9,7,6,4,3,1][9,8,7,6,5,3]
10	1023	[10,3][10,8,3,2][10,4,3,1][10,8,5,1][10,8,5,4][10,9,4,1] [10,8,4,3][10,5,3,2][10,5,2,1][10,9,4,2]
11	2047	[11,1][11,8,5,2][11,7,3,2][11,5,3,5][11,10,3,2][11,6,5,1] [11,5,3,1][11,9,4,1][11,8,6,2][11,9,8,3]
12	4095	[12,6,4,1][12,9,3,2][12,11,10,5,2,1][12,11,6,4,2,1] [12,11,9,7,6,5][12,11,9,5,3,1][12,11,9,8,7,4] [12,11,9,7,6,5][12,9,8,3,2,1][12,10,9,8,6,2]
13	8191	[13,4,3,1][13,10,9,7,5,4][13,11,8,7,4,1][13,12,8,7,6,5] [13,9,8,7,5,1][13,12,6,5,4,3][13,12,11,9,5,3] [13,12,11,5,2,1][13,12,9,8,4,2][13,8,7,4,3,2]
14	16383	[14,12,2,1][14,13,4,2][14,13,11,9][14,10,6,1][14,11,6,1] [14,12,11,1][14,6,4,2][14,11,9,6,5,2] [14,13,6,5,3,1][14,13,12,8,4,1][14,8,7,6,4,2] [14,10,6,5,4,1][14,13,12,7,6,3][14,13,11,10,8,3]
15	32,767	[15,13,10,9][15,13,10,1][15,14,9,2][15,1][15,9,4,1] [15,12,3,1][15,10,5,4][15,10,5,4,3,2][15,11,7,6,2,1] [15,7,6,3,2,1][15,10,9,8,5,3][15,12,5,4,3,2] [15,10,9,7,5,3][15,13,12,10][15,13,10,2][15,12,9,1] [15,14,12,2][15,13,9,6][15,7,4,1][15,4][15,13,7,4]

GUÍA No. 3

Escuela: ELECTRÓNICA **Facultad:** INGENIERÍA
Asignatura: SISTEMAS DE COMUNICACIÓN II
Título: SISTEMA DE COMUNICACIÓN DE ESPECTRO DISPERSO.
Lugar de ejecución: Laboratorio de TELECOMUNICACIONES.
Tiempo de ejecución: 3 hrs.

I. Objetivos Específicos

- Construir un circuito para la generación de Espectro Disperso de Secuencia Directa
- Evaluar la dispersión del espectro de datos utilizando DS-BPSK.
- Describir el efecto del ruido en un sistema de comunicación de espectro disperso.

II. Introducción Teórica

Se puede decir que la señal de información en transmisión DS SS es dispersada en banda base y luego modulada en una segunda etapa. En el receptor, la señal primero es demodulada y luego “recopilada” para recobrar la información original. Este procedimiento es descrito en el siguiente diagrama de bloques :

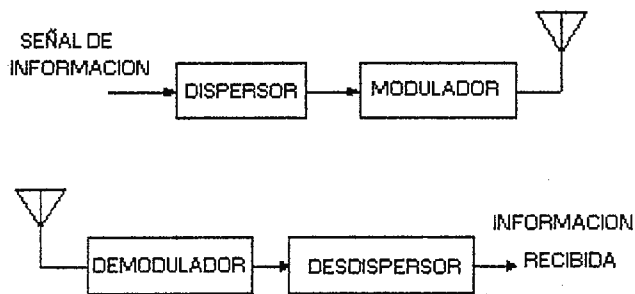


Figura 3.1 Sistema DSSS

En esta práctica de laboratorio se implementará un sistema Transmisor/ Receptor para señales de espectro disperso, donde se podrá observar la dispersión del espectro de una señal de banda angosta.

Un aspecto importante a tomar en cuenta en cualquier sistema de comunicación es el ruido presente en el canal o medio de transmisión. Este permite que haya una eficaz comunicación entre los puntos de información, y es de consideración grande para señales de información digital, como lo son la comunicación de datos.

El demodulador BPSK se encarga de proporcionar la señal digital insertada en la portadora emitida por el transmisor, por medio de la utilización de diversas etapas, hasta llegar a una llamada Comparador donde es evaluado el nivel lógico del bit transmitido.

Si se recupera bien la información va a depender de qué tanto afecte a la señal transmitida la distorsión

provocada por el canal como por señales de ruido.

El ruido puede ser clasificado en tipos diferentes: ruido blanco o térmico, ruido de impulso, diafonía, ruido de intermodulación, ruido debido a la cuantificación, eco y ruido de amplitud.

La relación Señal-Ruido (SNR) es una medición utilizada para comparar el ruido con la señal de información. La SNR es una relación de la potencia de la señal de información con la potencia de la señal de ruido.

La SNR puede ser expresada matemáticamente como:

$$\frac{S}{N} = \frac{\text{POTENCIA DE SEÑAL}}{\text{POTENCIA DE RUIDO}} = \frac{P_s}{P_n} \quad (\text{ec.1})$$

en cualquier punto dado de un sistema de comunicaciones. Es necesario una SNR alta para lograr un mínimo de errores en la detección de señales. Con una SNR de 1, la señal no puede ser reconocida. Con una SNR de 2, la señal puede ser reconocida pero el ruido es la mitad de la amplitud de la señal. Con una SNR de 5, la amplitud del ruido es únicamente un quinto de la amplitud de la señal.

A medida que la señal aumenta en amplitud, es menos afectada por el ruido.

La SNR es igualmente explicada en forma de decibeles en tanto que:

$$\text{decibel} = \text{dB} = 10 \log \left(\frac{P_s}{P_n} \right) \quad (\text{ec.2})$$

Un decibel (dB) es igual a un décimo de bel. El bel es la unidad fundamental en una escala logarítmica que expresa la relación de dos cantidades de potencia. El bel es poco utilizado puesto que es considerado una unidad demasiado grande. El decibel es utilizado como un indicador práctico de una relación de potencia.

Por ejemplo:

$$\begin{aligned} P_s &= 120 \text{ W}; P_n = 10 \text{ W} \\ \text{dB} &= 10 \log(120/10) \\ &= 10 \log(12) \\ &= 10(1.08) \\ &= 10.8 \text{ dB.} \end{aligned}$$

Por lo tanto, si la potencia del ruido es un duodécimo de la potencia de la señal, la SNR es igual a 10.08 dB. Una SNR de 30 dB garantiza una detección de señales virtualmente libre de error en un receptor. Una SNR de 30dB corresponde a una potencia de ruido de 1/1000 de potencia de señal.

El rendimiento de un sistema de modulación digital es evaluado por el número de errores que produce. La tasa de errores de bits (BER) es el número de bits incorrectos recibidos comparado con el número de bits transmitidos. La BER es una norma utilizada para probar y comparar sistemas de modulación digital.

III. Materiales y Equipo.

CANTIDAD	DESCRIPCION
1	Módulo de Sistema Didáctico Transmisor de Secuencia Directa TxSD
1	Módulo de Sistema Didáctico Receptor de Secuencia Directa RxSD
1	Entrenador para Modulación Digital 1A.
1	Entrenador para Modulación Digital 1B.
1	Entrenador Simulador de Canales.
1	Osciloscopio.
1	Analizador Espectral.

IV. Procedimiento

Objetivo A. Evaluación del Sistema de Comunicación de Secuencia Directa.

- En el módulo del sistema didáctico del Transmisor de Secuencia Directa (**TxSD**) identifique los diferentes componentes. Las etapas a identificar son las siguientes:
 - Puntos de alimentación (+5Vdc,-5Vdc,Tierra).
 - Entrada de datos.
 - Salida de señal de Secuencia Directa bipolar.
 - Entrada de reloj.
 - Generador de Código PN.
 - Divisor de Frecuencia.
 - Puntos de Prueba y Puentes:
 - TP1: Salida bipolar SD. A: Selector de Reloj de PN
 - TP2 : Datos de Entrada. B: Selector de salida PN.
 - TP3: Datos + PN. C: Puntos de Retroalimentación.
 - TP4 : Código PN. D: Habilitador de Datos.
 - TP5: +5Vdc. S1: Reinicio de PN.
 - TP6: 0 Vdc. Tierra.
- En el Entrenador para Modulación Digital 1A (**MD1A**) identifique lo siguiente:
 - Oscilador RF (MDF MOD/OSCILADOR).
 - Interfaz de Reloj (GEN RELOJ TRANSM / INTERFAZ).
 - Modulador BPSK. (MDA MOD / MDF MOD)
 - Filtro Pasabanda de Transmisión.

3. En el módulo del sistema didáctico del Receptor de Secuencia Directa (**RxSD**) identifique los diferentes componentes:
 - Puntos de alimentación (+5Vdc, Tierra).
 - Salida de datos.
 - Entrada de SD Recibida.
 - Entrada de reloj.
 - Generador de Código PN.
 - Divisor de Frecuencia.
 - Puntos de Prueba y Puentes:
 - TP7: Inicio de código PN E: Selector de Reloj de PN
 - TP8 : SD Recibida F: Selector de salida PN.
 - TP9: Salida de Datos G: Puntos de Retroalimentación.
 - S2: Preset habilitador.
 - L1: LED indicador de sincronismo.
4. En el Entrenador para Modulación Digital 1B (**MD1B**) identifique las siguientes etapas:
 - Filtro Pasabanda Receptor.
 - Rectificador de Onda Completa.
 - Filtro Pasabajos.
 - Sincronismo de Portadora.
 - Demodulador PSK.
 - Comparador.
5. Una vez identificadas las etapas anteriores, se procederá a efectuar las conexiones necesarias para generar el código PN como se muestra en la figura 3. En el módulo de transmisión PN una la *salida de secuencia bipolar* con el punto J20 del módulo 1A. Efectúe la conexión entre la *entrada de reloj* (TxSD) y la salida J2 de la etapa Interfaz (MD1A).
6. Haga las siguientes conexiones en el módulo 1A: Una J19 con J21 y con J1; J22 con J23.
7. Seleccione las etapas de retroalimentación adecuadas para la generación de un código PN de longitud 127. Coloque los puentes por medio de alambres en el conector denominado **C** (IC7). Verifique que las etapas del registro de desplazamiento que ha seleccionado puedan generar un código de longitud máxima. (Utilizar tablas). Seleccione por medio del puente **B** la salida del código PN adecuada para la mezcla con los datos.
8. Conecte el puente **A** selector de *división de reloj* para obtener una frecuencia de reloj de PN igual a la mitad de la frecuencia de la portadora. Con esto se estará asegurando que existan dos ciclos de portadora por chip de PN.
9. Energice los módulos y ajuste utilizando AJ FREC ALTO del MD1A una frecuencia de portadora igual a 192kHz en el punto J19.

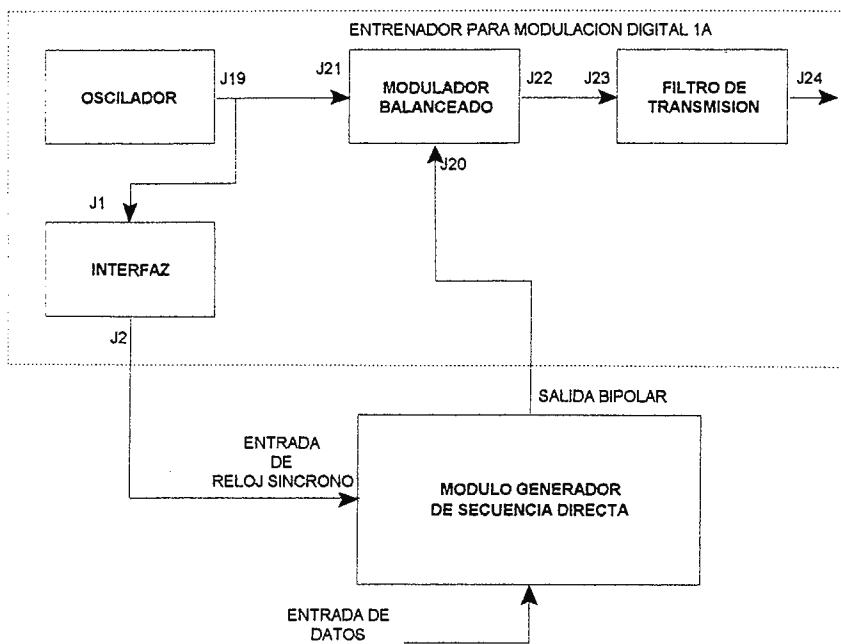


Figura 3.2 Conexiones entre módulos TxSD y MD1A.

10. Deshabilite la unión en el puente **D** con el fin de deshabilitar la entrada de datos al sistema.
11. Presione el interruptor S1 para reiniciar la generación del código PN.
12. Utilizando el Módulo de Recepción de SD y el entrenador de modulación digital efectúe las siguientes conexiones:

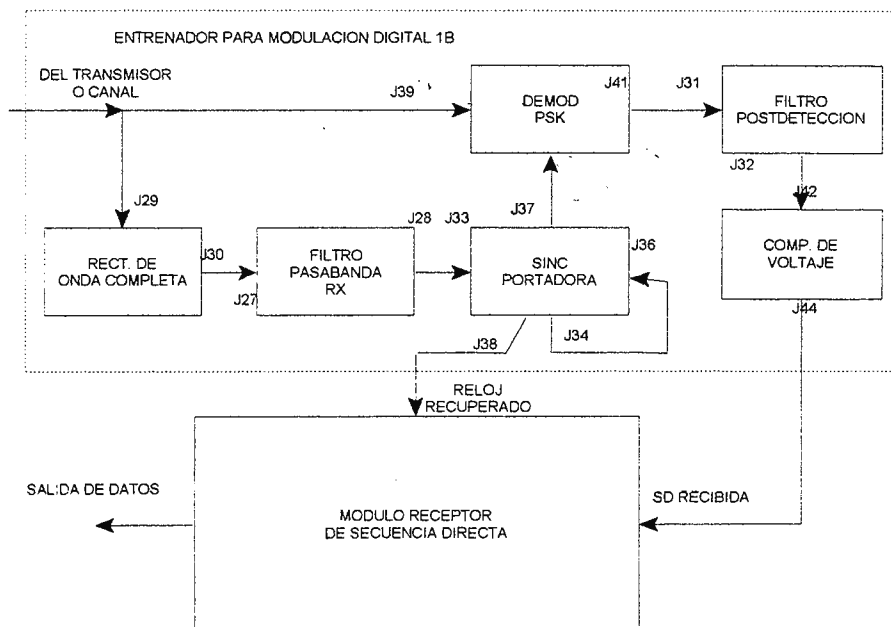
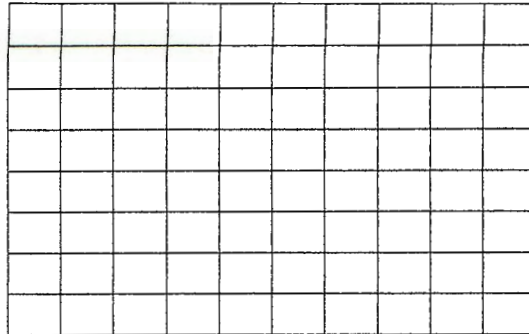
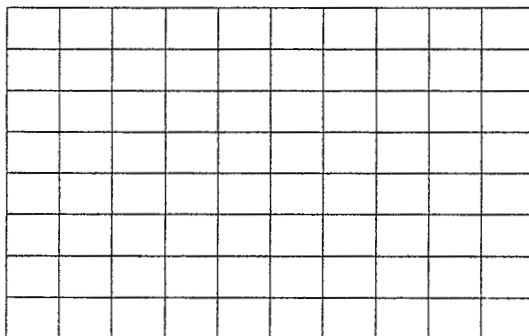


Figura 3.3 Conexiones entre módulos RxSD y MD1B

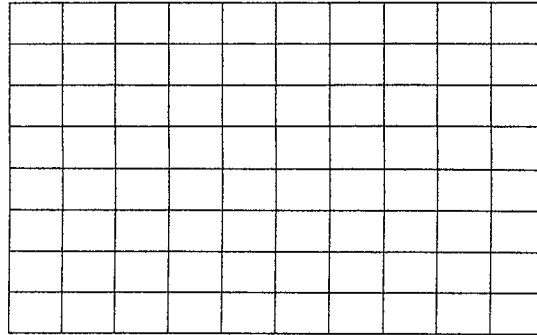
13. Evalúe las señales en TP4 y TP1 con la ayuda del osciloscopio. Ajuste los controles para obtener una señal estable (trigger) ¿Qué representan éstas señales?. Dibujelas a continuación.



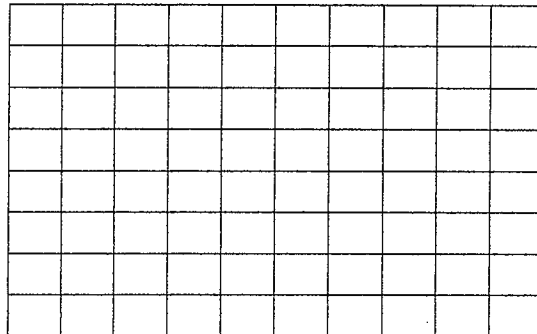
14. ¿Cuál es es tiempo de chip observado? T_c : _____.
15. Observe con el osciloscopio también las señales en los distintos puntos de prueba, tanto del transmisor como del receptor.
16. Para que el circuito receptor entre en sincronismo con los datos de SD recibidos presione el interruptor S2. El LED deberá indicar que se ha obtenido el sincronismo cuando se apague. Si no sucede, presione el interruptor S1 en el transmisor y luego el interruptor S2.
17. Si el LED se apaga, el sistema ha entrado en sincronismo, sino vuelva a revisar las conexiones del patrón PN local y la señal en el TP7, la cual indica los impulsos de inicio de patrón necesarios para el sincronismo.
18. Al obtener el sincronismo encienda el analizador espectral y efectúe los ajustes siguientes:
- Impedancia de entrada: 1Mohm.
 - Entrada máxima: 20 dBm.
 - Margen de frecuencia: 50 kHz / V.
 - Nivel de salida : CAL.
 - Escala : Logaritmica, 10 dB /V
19. Ahora proceda a evaluar el espectro de las señales vistas anteriormente en el dominio del tiempo.
Espectro de TP1:



Espectro de TP4:



Espectro de J44 (MD1B):



20. De los gráficos obtenidos anote sus conclusiones con respecto a los valores de frecuencias observadas (ancho de banda) y a la forma de sus amplitudes.

21. Utilizando un generador de datos externo proporcionado por el instructor, proceda a inyectar datos en el transmisor y habilítelos por medio del puente D.
22. Observe con el osciloscopio la señal de TP9 del receptor. ¿Concuerdan con los datos enviados? Si el sistema se encuentra en sincronismo tienen que recuperarse los datos correctamente. Si no es así, revise sus conexiones y repita los procedimientos anteriores.
23. Evalúe cuántos chips se desarrollan por tiempo de bit. Determine la ganancia de procesamiento. T_b/T_c

Objetivo B. Evaluación del Ruido en el sistema .

24. Coloque entre el transmisor (J24) y el receptor (J39) un canal, al cual se le manejará el ancho de banda y el nivel de ruido.
25. Efectúe las siguientes conexiones en el Entrenador Simulador de Canales: Una J3 con J6, J5 con J19(MD1A), J7 con J9, J8 con J24(MD1A), J10 con J39 (MD1B).
26. Habra los interruptores de control de ancho de banda y de nivel de ruido en el simulador de Canal.
27. ¿Qué observa en la salida J10?

28. En J9 se está ingresando ruido trasladado en banda. Dicho espectro se muestra en la figura:

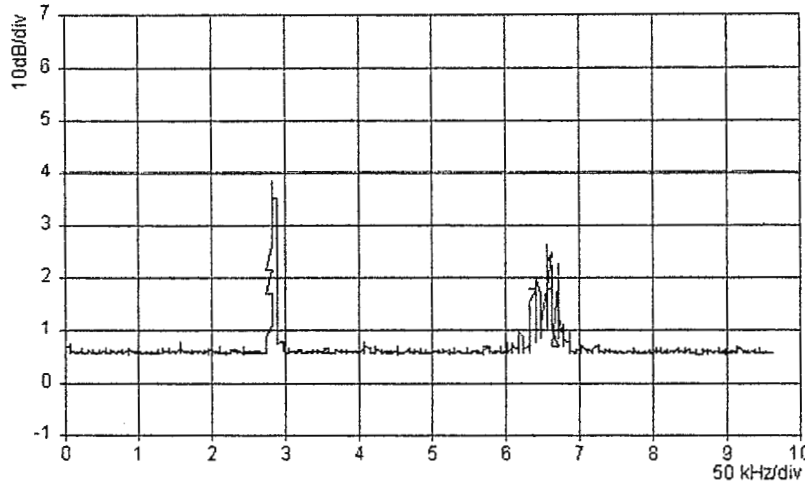


Figura 3.4

29. Disminuya la relación Señal a Ruido del sistema conmutando los interruptores y observando la señal de salida en J10.
30. ¿Qué pasa con los datos SD recuperados en el receptor bajo estas condiciones?. Compruebelo sincronizando el sistema y luego ingresando diferentes niveles de ruido a la señal DSBPSK.
31. Evalúe los datos de salida. ¿Son los esperados?. Explique.

Objetivo C. Evaluación del BER.

32. Manteniendo las conexiones efectuadas en el procedimiento anterior se procederá a efectuar la medición de la Tasa de Error de Bit (BER). Se utilizará como fuente de datos los equipos de medición DATA TOOL existentes en el laboratorio.
33. Efectúe el procedimiento necesario para sincronizar los módulos transmisor y receptor del sistema de secuencia directa.
34. Coloque los Data Tools en el transmisor como en el receptor de tal manera que se pueda ingresar un patrón de datos serial y asíncrono definido en el procedimiento de configuración del equipo. Si no se posee el conocimiento necesario para manejar estas herramientas consulte al instructor.
35. Habilite los datos en el transmisor.
36. ¿Qué sucede en el receptor? ¿Se sincronizó el equipo colocado en el receptor? Si no logra el sincronismo revise las conexiones efectuadas y el sincronismo del sistema.
37. Una vez obtenido la sincronización, proceda a evaluar la tasa de error para diferentes niveles de relación señal a ruido en el canal.

S/N	Bits errados	BER
20dB		
15 dB		
10 dB		
5 dB		

38. Repita el procedimiento anterior para diferentes velocidades de datos tome lectura de la tasa de error.
39. ¿Qué observa a medida que baja la velocidad de los datos con respecto a la tasa de error? ¿Qué sucede cuando aumenta la velocidad de los datos? ¿Cuál es la ganancia de procesamiento para cada velocidad.
40. Anote sus conclusiones.

VI. Bibliografía.

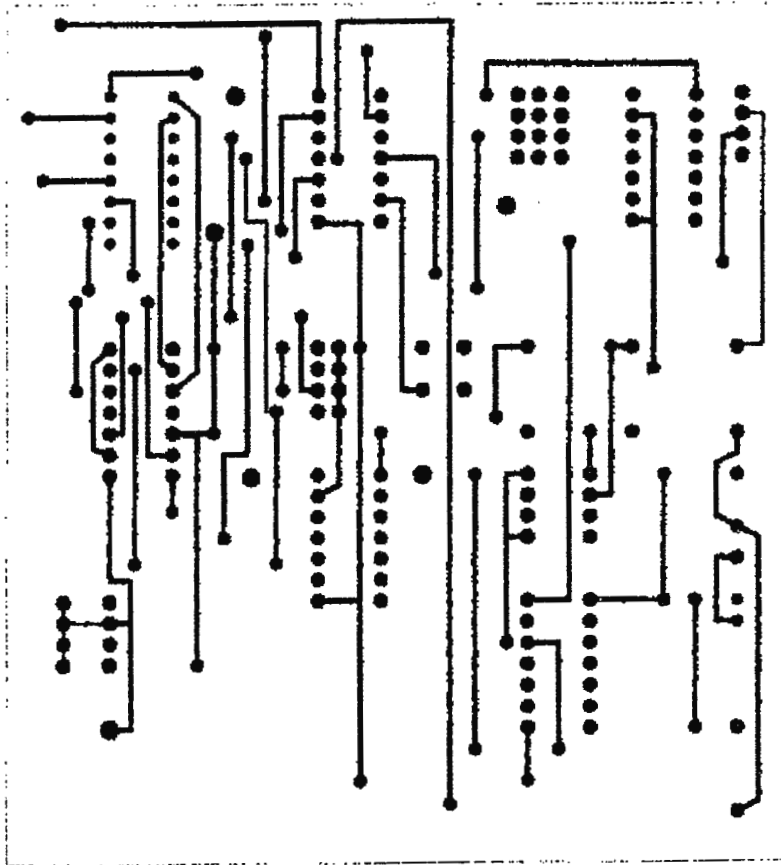
- [1] Comunicaciones Digitales Vol. III . “ Modems y Transmisión de Datos” Lab Volt.
- [2] Proakins, John G. , “Digital Communications”, 2º Edición McGraw Hill, 1989.
- [3] Simon , Marvin K. “Spread Spectrum Communications Handbook”, . Mc Graw Hill, 1994
- [4] Buck Engineering Co, “Electricidad y Electrónica Prácticas” Lab-Volt, 1987.

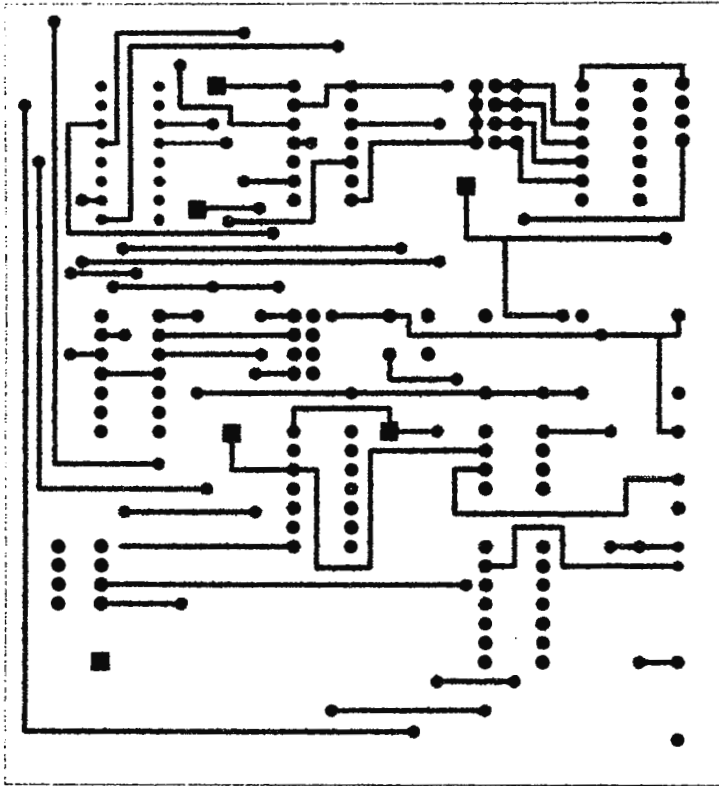
CIRCUITOS IMPRESOS Y COMPONENTES

A continuación se presenta el diagrama esquemático del circuito impreso tanto del transmisor como del receptor, y una lista de componentes que estos involucran.

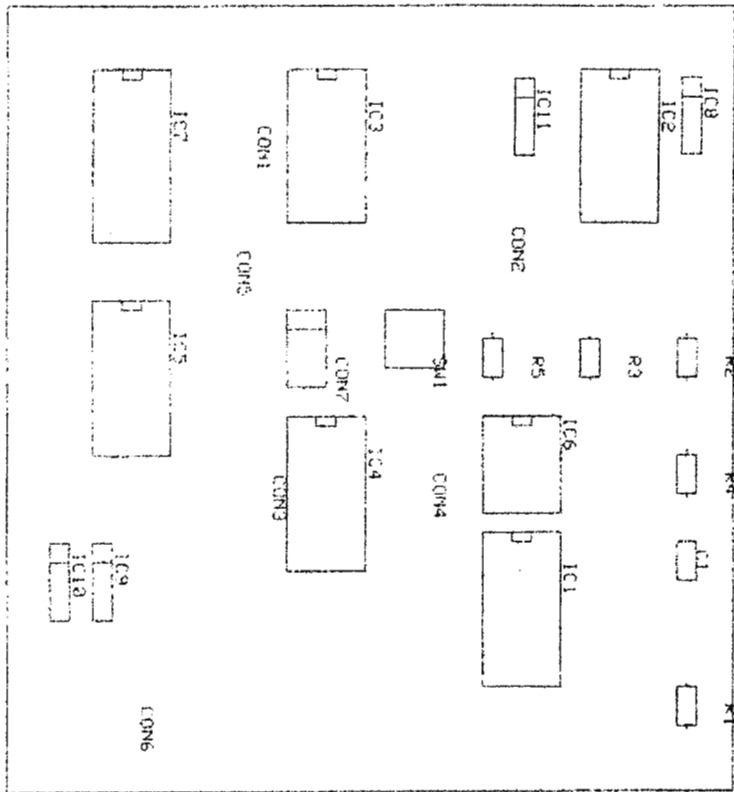
Transmisor

Las siguientes figuras muestran el esquema del circuito impreso y la distribución de componentes dentro de esta.





Circuito Impreso del Transmisor



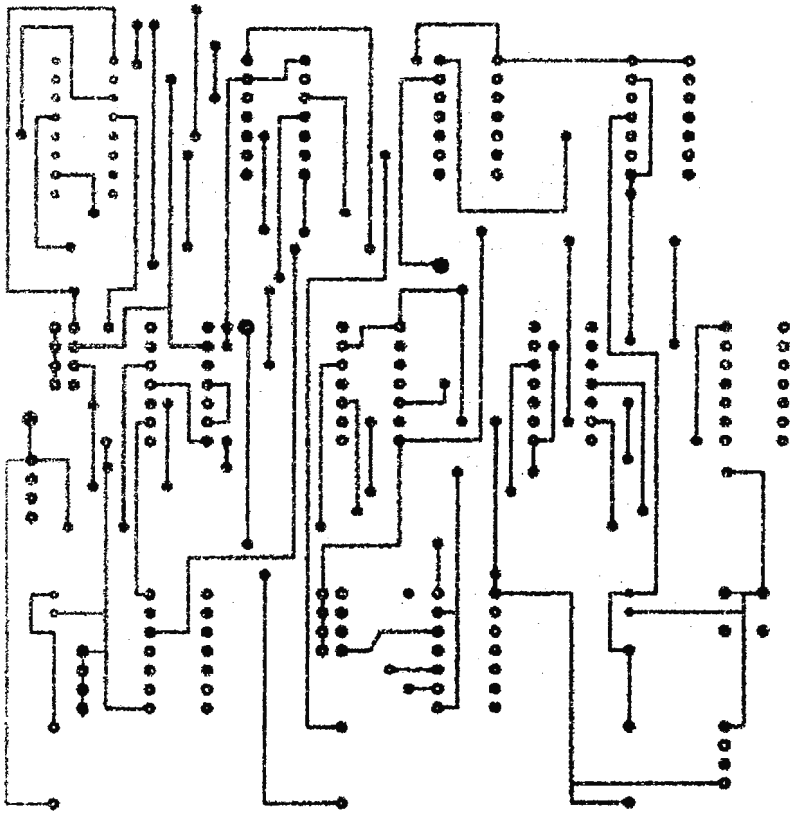
Distribución de componentes en transmisor

Lista de Componentes

Componente	Descripción
IC1	7408
IC2	74393
IC3	74164
IC4	7486
IC5	7486
IC6	LM311
IC7	Conector para uniones
IC8	Conector (entrada, salida, reloj)
IC9	Conector (alimentación)
R1	3.3 K ohm
R2	2.2K ohm
R3	1K ohm
R4	1K ohm
R5	1K ohm
C1	Unión para habilitación de datos de entrada
Sw1	Pulsadora para inicio de patrón PN
CON1	Entrada (A) de IC3
CON2	Salida bipolar
CON3	Datos + PN
CON4	Datos
CON5	+5V
CON6	GND
CON7	Selección de salida de Patrón PN

Receptor

Las siguientes figuras ilustran es diseño del circuito impreso y la distribución de componentes para el modulo receptor.



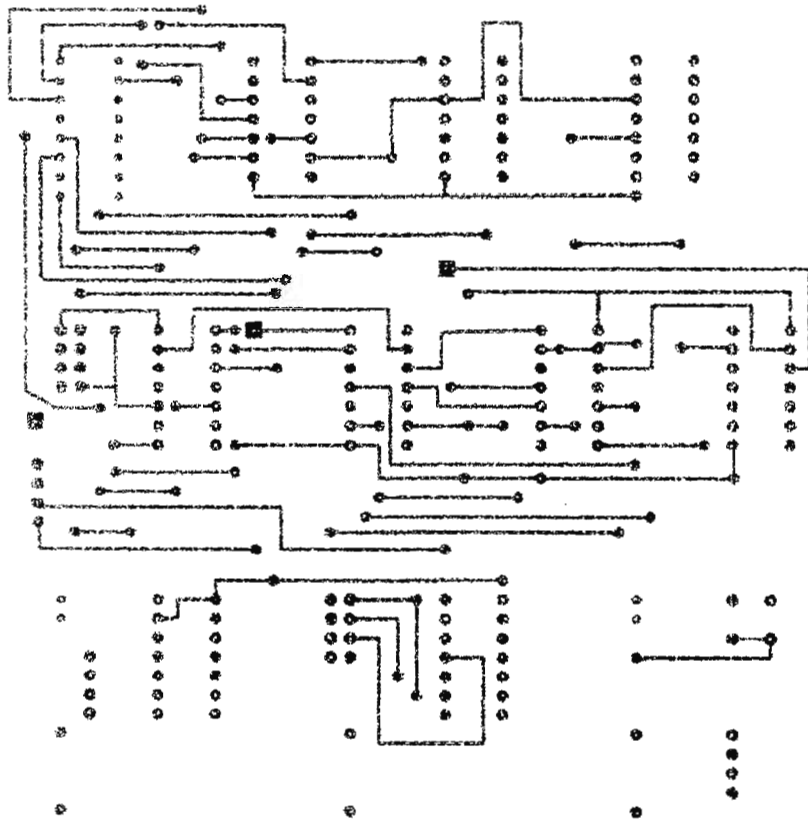


Diagrama de circuito impreso del receptor

Lista de Componentes.

Componente	Descripción
IC1	74393
IC2	7486
IC3	7486
IC4	7410
IC5	74126
IC6	7474
IC7	74164
IC8	74164
IC9	7427
IC10	Uniones para realizar las realimentaciones
IC11	Conector (Entrada, salida, reloj)
IC12	Conector (alimentación)
R1	1k ohm
R2	1k ohm
R3	330 ohm
C1	10 μ F
C2	LED
CON1	Selección de salida de patrón PN
CON2	Salida de datos
CON3	Pulso de sincronización
CON4	Entrada de datos
SW1	Pulsador para inicio de sincronización