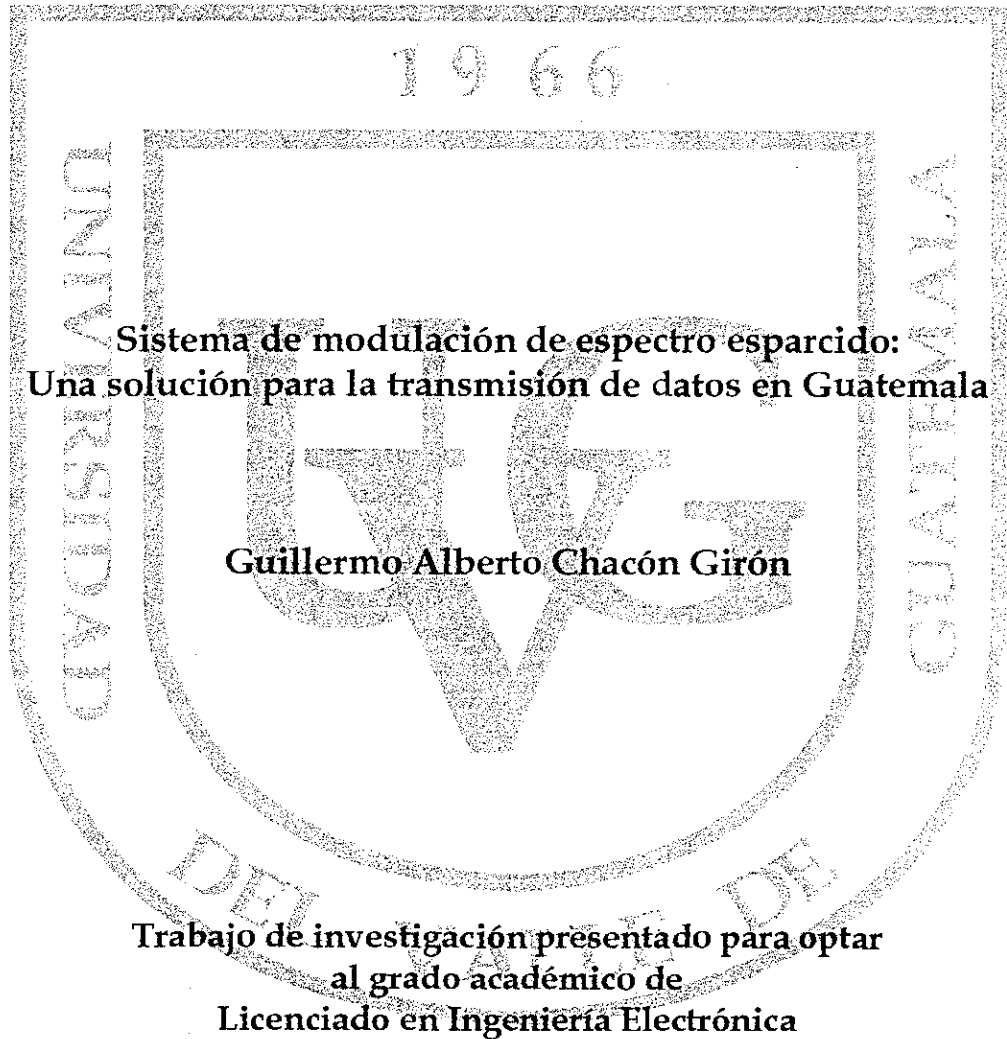


UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ciencias y Humanidades

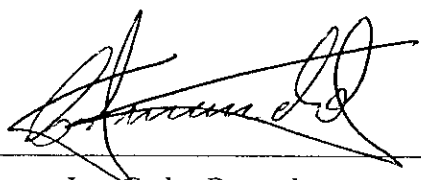


**BIBLIOTECA  
DE LA  
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

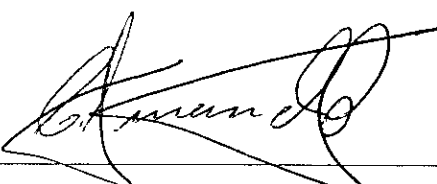
Guatemala  
1996

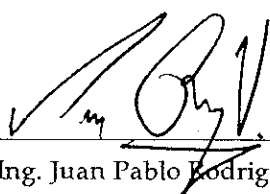
**Sistema de modulación de espectro esparcido:  
Una opción para la transmisión de datos en Guatemala.**


Vo. Bo. :

(f)   
Ing. Carlos Durando

Tribunal:

(f)   
Ing. Carlos Durando

(f)   
Ing. Juan Pablo Rodriguez

(f)   
Ing. Roberto Fejada

Fecha de aprobación: 17 de octubre de 1996

**Sistema de modulación de espectro esparcido:  
Una opción para la transmisión de datos en Guatemala.**

## RESUMEN

El desarrollo de sistemas de informática distribuidos ha provocado una creciente demanda de sistemas de transmisión de datos rentables, confiables y con cierta facilidad de instalar. Esta demanda no ha podido ser satisfecha por GUATEL, por lo que el medio ha buscado soluciones alternas para lograr la comunicación con las aplicaciones remotas. Esta tesis muestra una de las posibles soluciones: transmisión de datos utilizando radios con tecnología de espectro esparcido. Con varias ventajas sobre los sistemas de banda angosta, la demanda de radios de espectro esparcido ha aumentado vertiginosamente en los últimos años.

El presente trabajo se incluyen temas como algunas ventajas de la tecnología en general, descripción de los tipos de espectro esparcido y un ejemplo de implementación de un sistema utilizando esta tecnología.

## CONTENIDO

RESUMEN .....	v
I. Introducción .....	1
II. Especificación del FCC para el espectro esparcido .....	2
III. Beneficios de la tecnología .....	3
A. No interferencia con otros sistemas por disolución de la energía .....	3
B. Inmunidad contra interferencia de otros sistemas. ....	3
C. Inmunidad relativa contra desvanecimientos. ....	4
D. Inmunidad relativa a la interferencia por trayectoria múltiple. ....	4
E. Resistencia a la interceptación. ....	4
F. Eficacia en el campo Cerca-Lejos. ....	4
IV. Administración efectiva de la banda de espectro esparcido. ....	6
V. Tipos de espectro esparcido. ....	7
A. Generalidades. ....	7
1. Elementos básicos. ....	7
2. Sincronización .....	8
a. Sincronización aproximada y preámbulo. ....	8
b. Sincronización fina. ....	8
3. Correlación. ....	9
4. El espectro del espectro esparcido. ....	9
B. Las técnicas de esparcimiento. ....	10
1. Saltos de frecuencia. ....	10
a. Elementos básicos. ....	11
b. Sincronización .....	12
c. El espectro .....	12
d. Ventajas .....	13
2. Secuencia directa. ....	15
a. Elementos básicos .....	16
b. Correlador .....	16
c. Sincronización .....	17
d. El espectro .....	18
e. Campo cerca-lejos .....	19
3. FM lineal (chirp) .....	19
4. Salto de tiempo (time hopping) .....	19

5.	Híbridos .....	20
VI.	Selección de los sitios para las estaciones. ....	21
A.	Trabajo teórico: Estudio de la trayectoria en el mapa .....	22
B.	Trabajo teórico: Estudio detallado en el mapa .....	22
C.	Estudio práctico: Sitios de instalación .....	25
1.	En el sitio: .....	26
2.	El camino de acceso: .....	26
3.	Suministro de energía comercial: .....	26
4.	Edificios y torres (cuando sean necesarios): .....	27
5.	Estudio de propagación: .....	27
6.	Construcción de la estación: .....	27
7.	Mantenimiento de la estación: .....	27
D.	Decisión final: Pruebas de campo .....	28
VII.	Selección de los accesorios de montajes y equipos a utilizar. ....	29
A.	Tipos de antenas. ....	29
1.	Clasificación. ....	29
a.	Antenas omnidireccionales. ....	29
b.	Antenas direccionales. ....	29
2.	Especificaciones. ....	29
3.	Tipos de antenas para el espectro esparcido. ....	30
B.	Otros elementos del sistema. ....	31
1.	Cable coaxial. ....	31
2.	Conectores. ....	31
3.	Protectores de RF. ....	31
4.	Conexiones a tierra. ....	31
5.	Accesorios de montaje. ....	32
VIII.	Estudio de un caso en Guatemala. ....	33
A.	Estudio en el mapa. ....	33
1.	Selección del sistema .....	33
2.	Estudio preliminar .....	33
3.	Estudio detallado .....	34
a.	Perfil .....	34
b.	Repetidoras .....	34
c.	Alturas de las torres .....	34
d.	Longitud de los enlaces .....	34
e.	Cálculos de propagación .....	34
4.	Estudio del sitio .....	36

a.	La central .....	36
b.	La agencia .....	36
c.	La repetidora .....	37
IX.	Conclusiones .....	38
X.	Recomendaciones .....	40
XI.	Bibliografía .....	41
Apéndice 1:	Análisis matemático de una señal BPSK .....	42
A.	La señal transmitida .....	42
B.	La señal recibida .....	42
C.	El espectro de una señal BPSK .....	44
D.	Efecto de una interferencia en una señal de secuencia directa .....	49
Apéndice 2:	Perfiles del caso en Guatemala .....	50
Apéndice 3:	regulaciones del FCC y ETSI para el espectro esparcido. Normas hondureña y colombiana. .....	53
Apéndice 4:	Especificaciones de los equipos utilizados en el caso de Guatemala. ....	68

## I. Introducción

Históricamente, la política de administración del espectro se ha desarrollado alrededor de los sistemas de comunicaciones de banda angosta. En los primeros días de los radio-enlaces, había un número reducido de sistemas de radio y mucho espectro en el cual operar. A los usuarios se les asignaba una frecuencia portadora y sus transmisiones debían mantenerse en un pequeño ancho de banda junto a la frecuencia central. Mientras el tiempo transcurría, aumentaba el número de usuarios que querían tener acceso al espectro. Los progresos de la tecnología permitieron este acceso en dos diferentes formas. La primera fue elevar el límite superior del espectro utilizable. La segunda fue reducir el ancho de banda ocupado por los usuarios. Así pues, mientras las frecuencias aumentaban, los usuarios debían "consumir" menos espectro, reduciendo el ancho de banda de sus señales.

Obviamente, reducir el ancho de banda de las señales es uno de los caminos para incrementar la eficiencia del uso del espectro, pero no siempre es el mejor. Esto fue demostrado en 1959, por J.P. Costas, quien mostró que, aun cuando parece sorprendente, bajo un cierto número de condiciones de comunicaciones, anchos de banda muy grandes son necesarios para aumentar la eficiencia del uso del espectro. El demostró que algunas técnicas de modulación de banda ancha pueden incrementar la eficiencia del uso del espectro sobre las técnicas de banda angosta, debido a la interferencia que se da entre los diferentes usuarios.

Una de las técnicas de expansión de ancho de banda y que es de particular interés es la modulación de espectro esparcido.

Originalmente fue desarrollada para aplicaciones militares interesadas en comunicaciones resistentes a las interferencias. El esparcimiento de la señal de información sobre un gran ancho de banda tiene ventajas obvias sobre otro tipo de modulación, debido a que dicha señal será más difícil de detectar o de interferir por emisiones de banda angosta.

## II. Especificación del FCC para el espectro esparcido

Actualmente, las radiocomunicaciones se regulan en Guatemala por la Ley de radiocomunicaciones (Decreto-Ley número 433). En ningún artículo de la misma se toca el tema de la regulación de la modulación por espectro esparcido. Sin embargo, en los artículos 2 y 3 de dicha ley, se especifica:

**"Artículo 2: El Estado regulará los servicios de radiocomunicaciones. No se admitirán más normas que regulen tales servicios, que las que provengan de la ley y de los tratados o convenios internacionales."**

**"Artículo 3: Para los efectos de esta ley las denominaciones, definiciones y términos de radiocomunicaciones, serán los aceptados internacionalmente y consignados en el Reglamento Internacional de Radiocomunicaciones."**

No hay una sola ley internacional para regir el espectro esparcido. Sin embargo, los países americanos han basado sus propias normas en la norma del FCC. En los países europeos la norma que rige esta tecnología es la dada por el ETSI. En el apéndice 4 se muestra una copia de las regulaciones del ETSI y de la FCC para el espectro esparcido. También se muestran, como ejemplos, las normas Hondureña y Colombiana.

Así pues, Guatemala, al igual que los otros países americanos debiera seguir la regulación del FCC o una variante de ésta, la cual indica (Regulación del FCC para el espectro esparcido, apéndice 4):

### **Especificación 15.126: Operación de los sistemas de espectro esparcido.**

Los sistemas de espectro esparcido deben operar en las bandas de 902-928 MHz, 2400-2483.5 MHz y 5725-5850 MHz, sujetos a las siguientes condiciones:

- a. Estos sistemas pueden trabajar en estas bandas con una potencia pico máxima de 1 watt.
- c. Estos sistemas deben operar bajo la base de no-interferencia a ningún otro usuario que esté autorizado a operar en estas bandas. No deben causar ninguna interferencia perjudicial a estas operaciones y debe aceptar cualquier interferencia que estos sistemas puedan causar a sus propias operaciones.

### III. Beneficios de la tecnología

La regla común para verificar la eficiencia de un esquema de modulación es examinar qué tanto concentra la energía de una señal para una tasa de información dada. Aunque para el entendimiento general, la compactividad de la señal es de suma importancia, la modulación por esparcimiento del espectro toma el punto de vista contrario, y le da más importancia al esparcimiento de la señal en un gran ancho de banda.

Las señales de comunicación pueden acrecentar grandemente su ancho de banda (entre 10 y 1000 veces) al ser combinadas con secuencias binarias utilizando varias técnicas que se explicarán más adelante. El resultado de este esparcimiento lleva consigo los siguientes efectos beneficiosos.

#### A. No interferencia con otros sistemas por disolución de la energía

El primer efecto es la disolución de la energía de la señal en un gran ancho de banda por lo que la densidad de energía presente, en cualquier punto de la señal esparcida, es muy baja. La razón de dilución de la señal depende de muchos factores, tales como la potencia de transmisión, la distancia desde el transmisor y el ancho de la señal esparcida. Esta disolución da como resultado una señal que está abajo del nivel de ruido de un receptor convencional, por lo tanto invisible para él, mientras que sí puede ser reconocida por un receptor de espectro esparcido.

#### B. Inmunidad contra interferencia de otros sistemas.

El segundo efecto benéfico del proceso de esparcimiento de la señal es que el receptor puede rechazar grandes señales indeseadas, aun aquellas con densidad mucho mayor que la de las señales de espectro esparcido. Esto se debe a que el receptor tiene una copia de la secuencia de esparcimiento, la cual utiliza para concentrar de nuevo la señal. Las señales no-esparcidas son de esta forma eliminadas durante el proceso. La efectividad de rechazar la interferencia ha hecho del esparcimiento de espectro una de las técnicas militares de mayor uso para esta aplicación. Las señales convencionales como lo podrían ser las señales FM de banda angosta, las señales de banda lateral única y onda continua son rechazadas, al igual que las otras señales de espectro esparcido que no soporten la secuencia codificada de pseudoruido utilizada. El resultado de esta cualidad es obtener cierto tipo de canal privado, uno donde, sólo la señal de espectro esparcido con la misma secuencia de pseudoruido será reconocida por el receptor. Así pues, un intercambio de datos entre dos puntos se podrá realizar o, si la secuencia es conocida por varios usuarios, una operación tipo red será factible.

### **C. Inmunidad relativa contra desvanecimientos.**

El espectro esparcido provee un cierto grado de protección contra los desvanecimientos. Los desvanecimientos de frecuencia selectiva afectan a las señales de frecuencia de banda angosta. Debido a que los equipos de banda angosta sólo utilizan una frecuencia para trabajar, cuando ésta sufre desvanecimientos, el receptor ya no puede ser diferenciar la señal del transmisor con respecto al ruido, lo cual provoca que el enlace sea inutilizado. Sin embargo, gracias a que trabaja con varias frecuencias, la portadora esparcida puede desechar las frecuencias desvanecidas y reconstruir la señal, gracias a las frecuencias que no experimentan los mismos desvanecimiento.

### **D. Inmunidad relativa a la interferencia por trayectoria múltiple.**

"Trayectoria múltiple" es el termino utilizado cuando nos referimos a la existencia de más de una trayectoria de propagación entre un transmisor y un receptor. Las señales que viajan por diferentes trayectorias llegarán a la antena receptora con fases aleatorias, por lo que las componentes de estas señales pueden añadirse constructivamente o cancelarse las unas a las otras, dejando la señal recibida total por debajo del nivel normal de recepción. Esta interferencia por trayectoria múltiple puede degradar en alto grado una señal de banda angosta. Esta interferencia puede ser en gran parte eliminada por las señales de espectro esparcido. Las señales que llegan tarde al receptor de espectro esparcido no coincidirán con el código de esparcimiento utilizado en ese momento para decodificar la señal y, por lo tanto, serán rechazadas como simple ruido.

### **E. Resistencia a la intercepción.**

En algunas aplicaciones militares y no militares, es importante que la localización del trasmisor no sea descubierta. Las señales convencionales de banda angosta pueden ser detectadas, identificadas, demoduladas y trianguladas por equipos no costosos. Los sistemas de espectro esparcido, por otro lado, utilizan un ancho de banda tan grande que la señal a ruido promedio es mucho menor a la unidad, por lo que detectar este tipo de señal puede crear una gran dificultad. Además, aun cuando la señal pueda ser detectada, un grado de seguridad se provee, ya que la señal no puede ser decodificada por un receptor ordinario.

### **F. Eficacia en el campo Cerca-Lejos.**

Las señales de espectro esparcido exhiben algunos efectos inusuales pero lógicos en lo que se refiera a la recepción de la señal en un receptor situado cerca o lejos del transmisor. Cerca del transmisor, una señal puede ser observada fácilmente por un receptor convencional. Sin embargo, para mayores distancias, la señal podrá ser observada sólo con mediciones más cuidadosas. Esto resulta en una baja probabilidad de intercepción LPI, aunque últimamente se prefiere el término baja probabilidad de reconocimiento LPR.

Como consecuencia de los beneficios del esparcimiento, observamos que el uso de diferentes secuencias binarias permite a varios sistemas de espectro esparcido operar simultáneamente e independientemente de cada uno en un mismo ancho de banda. Esta es la forma de compartir ancho de banda llamada acceso múltiple por división de código (code-división múltiple access, CDMA). Si los parámetros del sistema son escogidos correctamente y las condiciones propicias se cumplen, los usuarios convencionales de la misma banda simplemente experimentarán una muy leve interferencia proveniente del sistema de espectro esparcido. Esto permite, pues, que más señales compartan la misma banda. Sin embargo, hay que observar que cada nuevo sistema de espectro esparcido añadirá más interferencia a todos los otros usuarios.

#### **IV. Administración efectiva de la banda de espectro esparcido.**

La administración efectiva del espectro busca utilizar la totalidad de la banda llena, manteniendo la interferencia al mínimo. Sin embargo, hay un límite en cuanto a cuantas señales pueden incluirse en la banda. Cuando una frecuencia está ocupada, cualquier estación convencional que utilice esta misma frecuencia causará una interferencia que puede degradar o bloquear la comunicación. Sin embargo, las señales adicionales de espectro esparcido no causarán una interferencia tan severa, sino que simplemente elevarán el nivel del ruido de fondo. El límite de señales de espectro esparcido que pueden compartir una banda es llamado flexible, debido a que los efectos de sobreasignación no son tan severos como la degradación causada por sobreasignación en los usuarios convencionales (frecuencias de banda angosta).

La sobreposición (overlay) es un concepto de la administración de espectro que aprovecha los efectos de la rarificación de señal y el rechazo de interferencia inherentes a las señales de espectro esparcido, para compartir la banda con los usuarios convencionales. En bandas que ya han sido otorgadas y que están totalmente utilizadas por usuarios convencionales, es muy difícil acomodar nuevos usuarios. Sin embargo, cuando uno observa en un analizador de espectro dichas bandas puede observar que una gran parte de ellas está desocupada y simplemente tiene las bandas adyacentes de protección a las frecuencias utilizadas. En el concepto de sobreposición, la señal de espectro esparcido está constantemente esparcida en toda la banda compartida.

#### IV. Administración efectiva de la banda de espectro esparcido.

La administración efectiva del espectro busca utilizar la totalidad de la banda llena, manteniendo la interferencia al mínimo. Sin embargo, hay un límite en cuanto a cuantas señales pueden incluirse en la banda. Cuando una frecuencia está ocupada, cualquier estación convencional que utilice esta misma frecuencia causará una interferencia que puede degradar o bloquear la comunicación. Sin embargo, las señales adicionales de espectro esparcido no causarán una interferencia tan severa, sino que simplemente elevarán el nivel del ruido de fondo. El límite de señales de espectro esparcido que pueden compartir una banda es llamado flexible, debido a que los efectos de sobreasignación no son tan severos como la degradación causada por sobreasignación en los usuarios convencionales (frecuencias de banda angosta).

La sobreposición (overlay) es un concepto de la administración de espectro que aprovecha los efectos de la rarificación de señal y el rechazo de interferencia inherentes a las señales de espectro esparcido, para compartir la banda con los usuarios convencionales. En bandas que ya han sido otorgadas y que están totalmente utilizadas por usuarios convencionales, es muy difícil acomodar nuevos usuarios. Sin embargo, cuando uno observa en un analizador de espectro dichas bandas puede observar que una gran parte de ellas está desocupada y simplemente tiene las bandas adyacentes de protección a las frecuencias utilizadas. En el concepto de sobreposición, la señal de espectro esparcido está constantemente esparcida en toda la banda compartida.

## V. Tipos de espectro esparcido.

### A. Generalidades.

#### 1. Elementos básicos.

Hay varios métodos para poder esparcir a una portadora. Sin embargo, cualquier sistema de espectro esparcido puede verse como un proceso de dos modulaciones. Primero, la información a ser transmitida es aplicada. Una forma convencional de modulación, análoga o digital, es comúnmente utilizada en este paso. Segundo, la portadora es modulada por la secuencia de esparcimiento, provocando que la señal se esparza a lo largo de una banda.

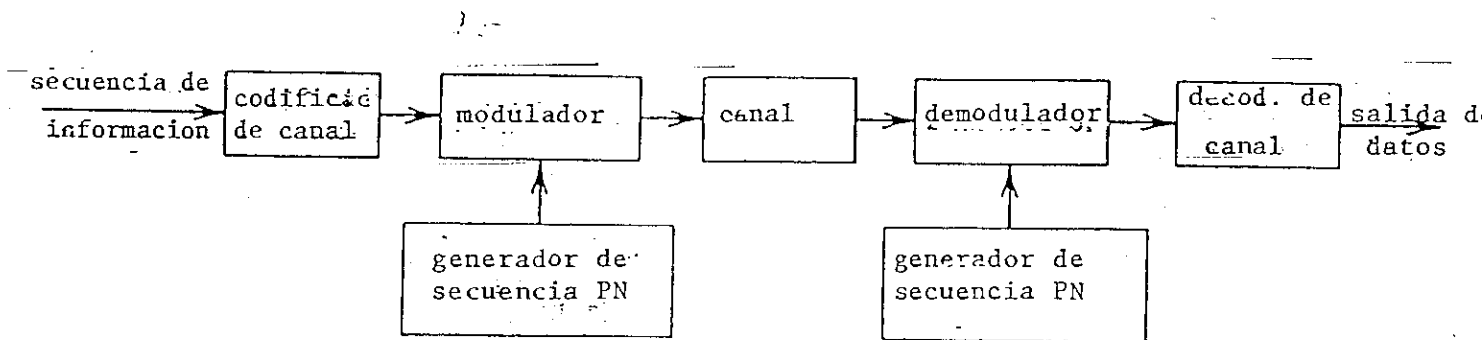


Figura 1. Modelo de un sistema de comunicaciones digitales de espectro esparcido.

El diagrama de bloque de la figura 1 ilustra los elementos básicos de un sistema de comunicaciones digital por espectro esparcido.

**Secuencia binaria:** Una secuencia binaria de información en la entrada del transmisor y a la salida del receptor.

**Los codificadores y decodificadores.**

**Los moduladores y demoduladores de canal.**

**Generadores de secuencia PN:** En adición a estos elementos, tenemos a dos generadores de secuencia binaria pseudo-aleatoria (generadores PN), uno de los cuales trabaja junto al modulador del lado del transmisor, mientras que el otro lo hace junto al demodulador del lado del receptor.

Uno de los aspectos más importantes del espectro esparcido es la secuencia PN utilizada para esparcir la portadora RF. La secuencia de esparcimiento determina qué tan bien rendirán las diferentes propiedades del espectro esparcido. La secuencia PN toma la forma inherente al tipo de espectro esparcido que se utilizará.

## 2. Sincronización

La sincronización de la secuencia PN generada en el receptor contra la secuencia PN proveniente en la señal recibida, es de suma importancia para lograr demodular la señal recibida. Esta es la tarea más difícil de lograr en este tipo de sistemas. Para que el receptor pueda demodular la señal esparcida debe ser capaz de sincronizar la secuencia PN de referencia, localmente generada, con la secuencia utilizada por el transmisor. Esta operación sucede a muy altas velocidades. Podemos observar la sincronización como el resultado de dos procesos: una sincronización aproximada, en la cual se sincroniza la señal del transmisor con la del receptor, y una sincronización fina, la cual se utiliza para mantener la sincronización de las señales. Este proceso es conocido por sincronización por etapas.

### a. Sincronización aproximada y preámbulo.

En la sincronización aproximada, el receptor trata de alinear la secuencia PN lo mejor posible con la del receptor. Hay dos métodos para realizar esto. El primero es el llamado método de sincronización por etapas, el cual, antes de enviar información, transmite una secuencia PN preestablecida y fija, llamada preámbulo, la cual es recibida por el receptor. El preámbulo advierte al receptor que se prepare para proceder a sincronizar los sistemas. El formato del preámbulo es diferente para cada tipo de espectro esparcido.

El segundo método de sincronización aproximada es el de sincronización de fase. En este método el receptor trata de determinar en qué fase se encuentra la señal.

### b. Sincronización fina.

Cuando la sincronización aproximada se ha logrado, el receptor debe ser capaz de mantener dicha sincronización realizando una sincronización fina. Aunque hay muchas técnicas para realizar esta sincronización fina, todas están basadas en una retroalimentación que minimiza el error en los relojes entre el PN del transmisor y del receptor, realizando una diferenciación y alimentando un circuito de ajuste de relojes (circuitos PLL).

Luego de que la sincronización se ha logrado, la transmisión de información puede comenzar.

**3. Correlación.**

El concepto de la correlación es un proceso fundamental en un sistema de espectro esparcido y es uno de los métodos más comunes para la recepción de dichas señales. La correlación mide qué tan semejantes son dos señales. Esto es qué tan similares son en apariencia entre ellas. El grado de similaridad es generalmente expresado por un número entre 1 y 0. Una igualdad de señales es representado por un número uno mientras que una diferencia total está indicada por el cero. Las similitudes parciales están indicadas por un número entre 1 y 0 dependiendo de qué tan similares son las señales.

Si tenemos las variables X y Y, el coeficiente de correlación se calcula de la siguiente manera:

$$r = \frac{\sum (XY)}{\sqrt{\sum X \sum Y}}$$

Un valor alto de la correlación implica que cuando una de las variables se incrementa, la otra lo hace también. Cuando r=0, se muestra que la variables no tienen ninguna asociación.

Otro punto importante a notar es que el numerador nunca será mayor al denominador, por lo que 0<r<1. La correlación es la medida de la intensidad de asociación que hay entre una variable y la otra.

En un receptor de espectro esparcido, la correlación es usualmente utilizada para identificar la señal que ha sido codificada con la secuencia PN deseada. La correlación es usualmente realizada por un circuito llamado el correlador. El correlador está usualmente compuesto por un mezclador seguido de un filtro paso bajo que realiza un promedio de valores (función de integración matemática). El mezclador es donde las dos señales a ser comparadas son multiplicadas una con la otra. Cuando las dos señales coinciden en la salida del correlador se obtiene un valor alto. Si las señales no coinciden, la salida tendrá un valor bajo dependiendo de qué tan diferentes sean las señales. El circuito promediador reporta el promedio de la salida del mezclador.

**4. El espectro del espectro esparcido.**

El espectro de cada uno de los tipos de señal de espectro esparcido depende de varios factores. entre los que se cuentan la velocidad de la secuencia PN, el tipo de secuencia PN, el tipo de esparcimiento que se está utilizando, el ancho de banda y el tipo de modulación utilizada.

## B. Las técnicas de esparcimiento.

Las cuatro técnicas de esparcimiento que estudiaremos a continuación son comúnmente utilizadas en las aplicaciones militares o para comunicaciones espaciales, aunque para los aficionados sólo están autorizadas el uso de las técnicas de salto de frecuencia (frequency hopping) y secuencia directa (direct sequence).

### 1. Saltos de frecuencia.

El salto de frecuencia es la forma de esparcimiento en la cual la frecuencia central de una portadora convencional es alterada muchas veces por segundo obedeciendo a una lista pseudo-aleatoria de frecuencias. Así pues, el ancho de banda utilizable es subdividido en un gran número de canales de frecuencias contiguas. En un intervalo de señalización, la señal transmitida ocupa una de los canales de frecuencia. La selección del canal de frecuencia en cada intervalo de señalización se realiza utilizando la salida de un generador de secuencia binaria pseudoaleatoria (generador de secuencia PN). Para salto de frecuencia, la secuencia PN es un flujo de números que representan los canales en los cuales la información será transmitida. El tiempo que la señal está presente en algún canal es llamado tiempo de retención (dwell time). Para evitar interferir a un usuario convencional o ser interferido por él, el tiempo de retención debe ser muy bajo, comúnmente menor a 10 milisegundos.

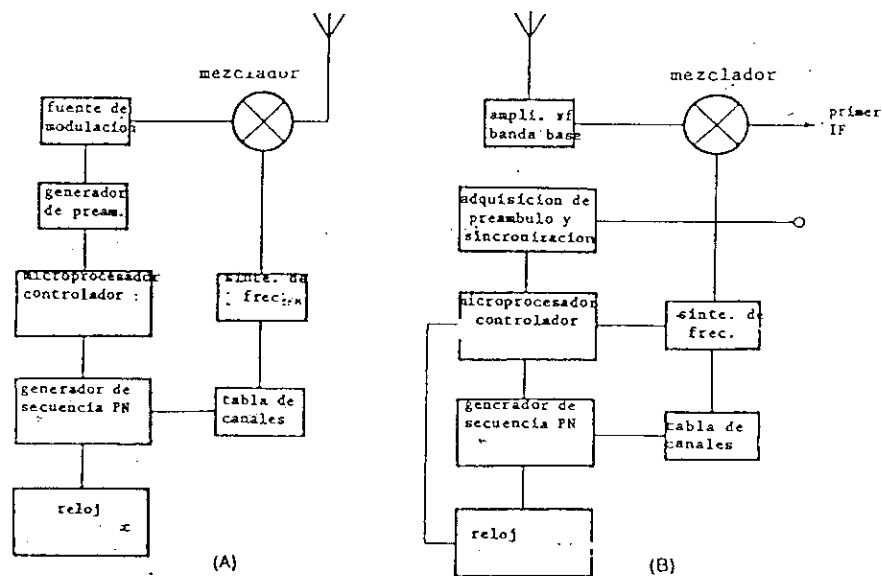


Figura 2. Diagrama de bloque de un transmisor (A) y un receptor (B) de un sistema de espectro esparcido por saltos de frecuencia.

a. Elementos básicos.

La figura 2 muestra un diagrama de bloques de un sistema de espectro esparcido por salto de frecuencia.

La modulación es generalmente binaria o M-aria FSK. Si tomamos el ejemplo de modulación FSK binaria, el modulador seleccionará una de dos frecuencias correspondiendo a la transmisión de un 1 o un 0 (transmisión digital). La señal FSK resultante es trasladada en la frecuencia siguiendo a la secuencia producida por el generador de secuencias pseudo-aleatorias (generador de secuencia PN) que a su vez es utilizado para seleccionar una frecuencia que será sintetizada por el sintetizador de frecuencias. Esta frecuencia se mezcla con la salida del modulador y finalmente la señal resultante (trasladada en la frecuencia) se transmite por el canal. Así pues,  $m$  bits provenientes desde el generador de secuencia PN podrán realizar  $2^m - 1$  traslaciones de frecuencia.

En el receptor tenemos un generador de secuencia PN idéntico al del transmisor, sincronizado con la señal recibida, y que es utilizado para controlar la salida del sintetizador de frecuencia. Así pues, el traslado pseudo-aleatorio de frecuencia producido en el transmisor es removido en el receptor que mezcla la señal del sintetizador con la señal recibida. La señal resultante es demodulada por el demodulador de FSK. Las señales que están controladas por otra secuencia PN serán recibidas solamente aleatoriamente, o sea cuando ambas secuencias, la del receptor y la indeseada PN coincidan en la misma frecuencia en el mismo momento. Las señales de banda angosta serán visitadas ocasionalmente por la señal que salta en la frecuencia, por lo que no deberían producir alguna interferencia (figura 3).

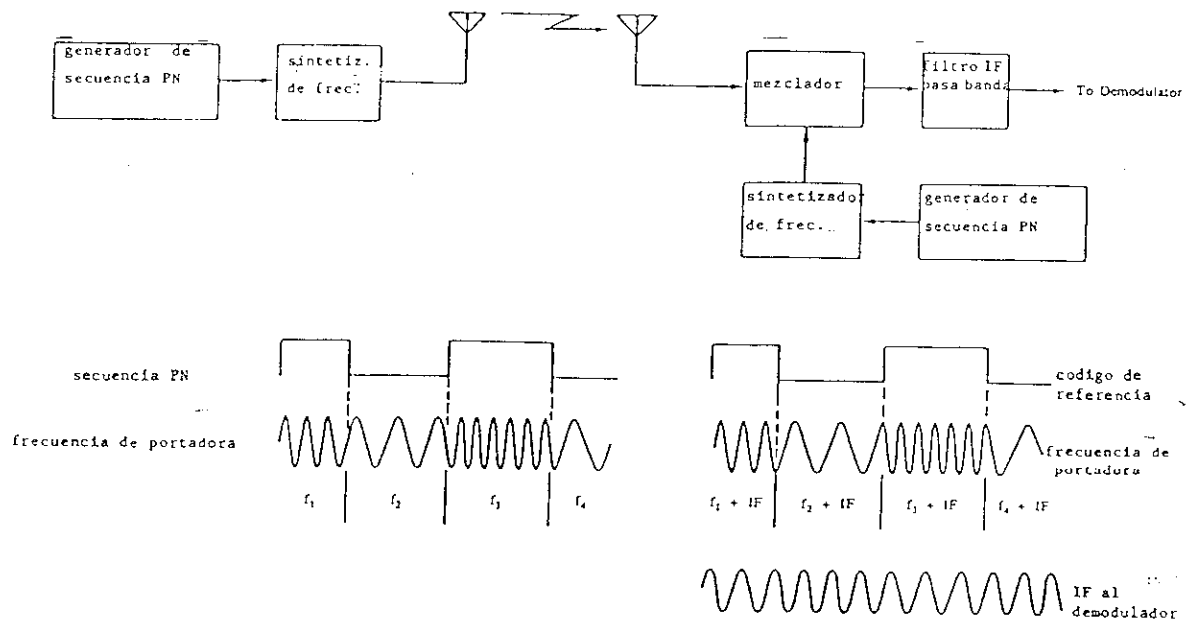


Figura 3. Señales en un sistema básico de saltos de frecuencia.

b. **Sincronización**

El preámbulo debe realizarse antes de los pasos anteriormente descritos. En saltos de frecuencia de baja velocidad, el cual tiene una tasa de menos de 100 saltos por segundo, un tono que aparece en una frecuencia determinada puede ser utilizada. La caída del tono señala el comienzo de los saltos. En velocidades mayores, el instante preciso en que el tono se cae puede ser difícil de medir precisamente, por lo que otros métodos son utilizados. Uno de estos métodos requiere que el receptor examine una banda de frecuencias continuamente. El transmisor saltará en estas frecuencias un determinado número de veces, lo que permitirá que el receptor pueda sincronizarse.

c. **El espectro**

El espectro para este tipo de señal lo podemos ver en la figura 4.

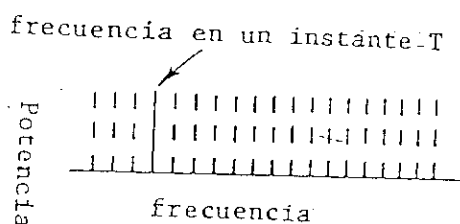


Figura 4. Potencia contra frecuencia en un sistema de espectro esparcido por saltos de frecuencia.

Este espectro, como lo podemos observar, depende del ancho de banda del esparcimiento y del tipo de modulación. El espectro de SF consiste en una portadora que se mueve pseudo-aleatoria entre varios canales o frecuencias. Al aumentar la velocidad de los saltos, los canales son visitados más veces, aunque el tiempo de retención (dwell time) se reduce.

La potencia que el transmisor de saltos de frecuencia da por canal está relacionado con el número de veces que cada canal es visitado y el tiempo de retención. La potencia transmitida por canal es mayor, si hay pocos canales. Así pues, mientras mayor sea el número de canales, menor será la potencia transmitida por canal. Finalmente el método de modulación tiene un efecto marcado en el espectro de una señal SF. Por ejemplo, la señal NBFM produce una señal constante en amplitud, por lo que genera un espectro bastante plano. Sin embargo, una señal SSB, emite energía sólo cuando hay información a transmitir, por lo cual es transmitida menos energía al final.

**d. Ventajas**

Entre las ventajas de utilizar las señales de saltos de frecuencias se incluyen las siguientes:

**\* Ganancia de procesamiento, GP**

Los sistemas de saltos de frecuencia generalmente poseen una gran ganancia de procesamiento, lo que les permite trabajar con un cociente de señal a ruido bastante bajo.

La ganancia de procesamiento para los saltos de frecuencia es:

$$\text{ganancia de procesamiento} = \frac{\text{Ancho de banda de RF}}{\text{Ancho de banda de la información}}$$

Por ejemplo, para una señal de salto de frecuencia con un ancho de banda de RF de 10 MHz y un ancho de banda de información de 1 KHz, la ganancia de procesamiento es:

$$\begin{aligned} \text{G.P} &= \frac{10 \times 10^6}{10 \times 10^3} = 10000 \\ &= 10 \text{ LOG } 10000 = 40 \text{ dB.} \end{aligned}$$

Así pues, la señal a ruido de la señal en el demodulador del transmisor será 40 dB mayor que la señal a ruido en el receptor.

**\* Resistencia a la interferencia**

Puesto que los saltos en frecuencia generalmente tiene muchos slots de frecuencia, el único momento en que una señal de banda angosta interfiere a la señal de saltos de frecuencia es cuando la frecuencia de ambas señales coincide. Si la señal de SF tiene 500 frecuencias de salto, una señal de banda angosta sólo podrá interferir a una de las frecuencias, o sea, 1/500 de la señal. Así pues, la potencia baja de salida combinada con los saltos pseudoaleatorios hace que este tipo de señal sea muy difícil de interferir. ( Figura 5)

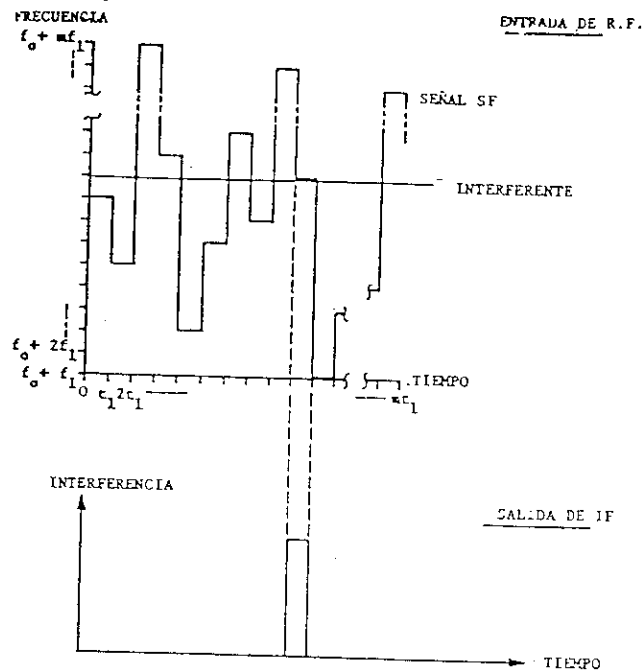


Figura 5. Efecto de una interferencia de banda angosta sobre un sistema de saltos de frecuencia.

#### \* Tiempo corto de sincronización

La señal SF requiere un menor tiempo de sincronización que otras señales con el mismo ancho de banda. En SF, el receptor puede sincronizarse a la señal recibida en una pequeña fracción de un segundo. Las señales de secuencia directa, toman aproximadamente un segundo para sincronizar. Para algunas aplicaciones de voz, el tiempo corto de sincronización es de gran importancia. Si uno o dos segundos son necesarios para sincronizar la señal, la comunicación tendrá un retraso de la misma cantidad de segundos. Mientras que si sólo una fracción de segundo es necesaria, el retraso en la transmisión no será reconocible.

#### \* Inmunidad a las interferencias por trayectoria múltiple

Cuando una señal transmitida va hacia el receptor, pueden darse varias trayectorias, lo que causará interferencia debido a las diferencias de fase de las señales que llegan al receptor. Si la tasa de saltos es suficientemente alta, el receptor estará preparado para recibir en una nueva frecuencia antes de que las otras trayectorias lleguen al receptor, por lo que no causarán interferencia a la trayectoria principal. Para una tasa baja de saltos de frecuencias, el receptor no podrá evitar las trayectorias que interfieren, por lo que es recomendable mantener una tasa alta de saltos de frecuencia.

#### \* Diversidad de frecuencias

Los saltos de frecuencia proveen diversidad de frecuencias, puesto que muchas son utilizadas en el sistema. Si se utiliza un código de datos apropiado, los desvanecimientos severos de una frecuencia especial tendrá un efecto mínimo en la totalidad de la señal transmitida.

**\* Privacidad del tráfico**

Las señales SF proveen un alto grado de privacidad del tráfico. La baja probabilidad de interceptación combinada con los saltos pseudoaleatorios, hacen que este tipo de señal sea difícil de demodular para receptores indeseables.

**\* Baja probabilidad de interceptación y actuación en el campo de cerca-lejos**

En este tipo de sistemas, una portadora de banda angosta con una alta potencia va saltando entre varias frecuencias. La potencia concentrada de la portadora puede ser observada por un receptor igual que una señal normal de banda angosta. Sin embargo, el receptor convencional podrá captar la señal solamente durante el breve tiempo que ésta se encuentra en la frecuencia del receptor.

Los saltos de frecuencia son primordialmente utilizados en sistemas de espectro esparcido que requieren protección contra interferencias (anti-jamming) o cuando varios usuarios van a utilizar la misma banda.

**2. Secuencia directa.**

La secuencia directa es la segunda forma de esparcir una señal, en la cual un flujo muy rápido de bit binarios es utilizado para desplazar la fase de una portadora RF. Aquí se utiliza de nuevo un generador de secuencia PN. En un sistema de secuencia directa, la secuencia de esparcimiento o secuencia PN, es un flujo de bits generados por un circuito digital. Cada bit de la secuencia PN es llamado un "chip". La tasa de chip  $f_c$  es usualmente mucho mayor a la tasa de bit  $f_b$  de la señal original. El desplazamiento de fase es comúnmente realizado en un mezclador balanceado que típicamente desplaza a la portadora de RF entre 0 y 180 grados, conocido como llaveado binario de desplazamiento de fase (binary phase-shift keying, BPSK). Ver figura 6.

Al multiplicar la señal modulada por el PN, obtenemos una señal con la misma tasa de chip que la secuencia binaria. Puesto que el ancho de banda BPSK es  $2 f_c$  y el espectro se ha esparcido por un cociente igual a  $f_c/f_b$ .

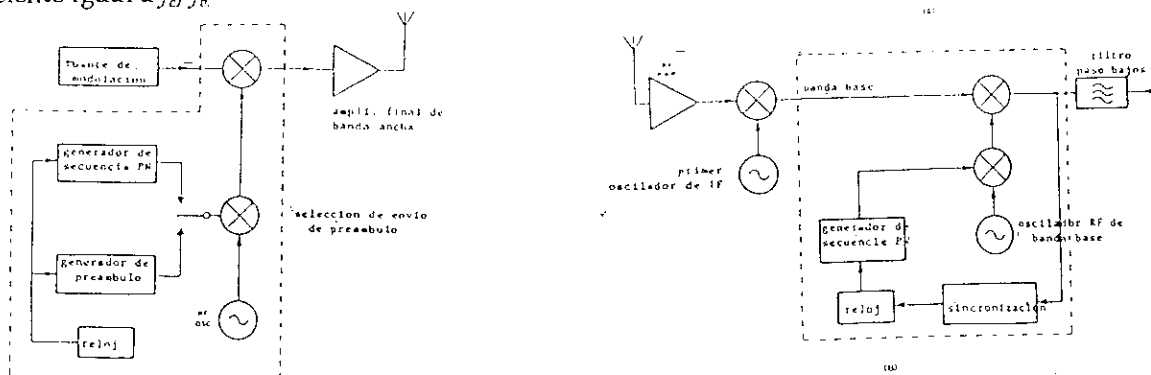


Figura 6. Diagrama de bloque de un transmisor (A) y un receptor (B) en un sistema de espectro esparcido por secuencia directa.

a. Elementos básicos

La señal de espectro esparcido por secuencia directa es comúnmente utilizada para transmisión digital. En la figura 7 podemos observar cómo se realiza la codificación y decodificación. Una práctica común en los sistemas de secuencia directa es mezclar el flujo de información digital con una secuencia PN. El resultado de esta mezcla provoca que el código PN sea invertido para los chips que tengan un bit de información igual a 1 y que se quede inalterado para un bit de información igual a 0. Este proceso de modulación es llamado modulación por inversión de bit. La secuencia PN resultante es mezclada con la señal RF, produciendo finalmente la señal de secuencia directa.

b. Correlador

Para concentrar de nuevo la señal esparcida, el receptor utiliza un correlador que contiene un mezclador y un circuito promediador. En el correlador, las señales parecidas producen un valor alto mientras que las señales diferentes producen un valor bajo. La modulación de bit invertido es detectada por este correlador gracias a que un bit 1 produce que la secuencia PN sea invertida, mientras que un valor 0 produce que la secuencia quede igual. En el correlador, un bit de información 0 genera una secuencia PN que correlaciona con la secuencia PN producida por el generador local. De igual manera, un bit de información 1 resulta en una completa decorrelación, puesto que la secuencia PN está invertida. A través de este proceso el correlador reproduce la información transmitida (figura 7 y 8).

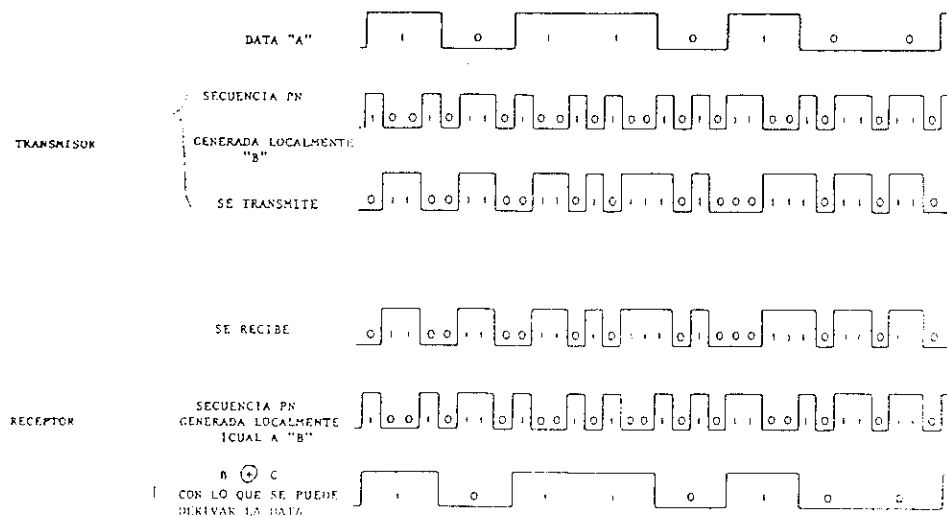


Figura 7. Modulación de bit invertido.

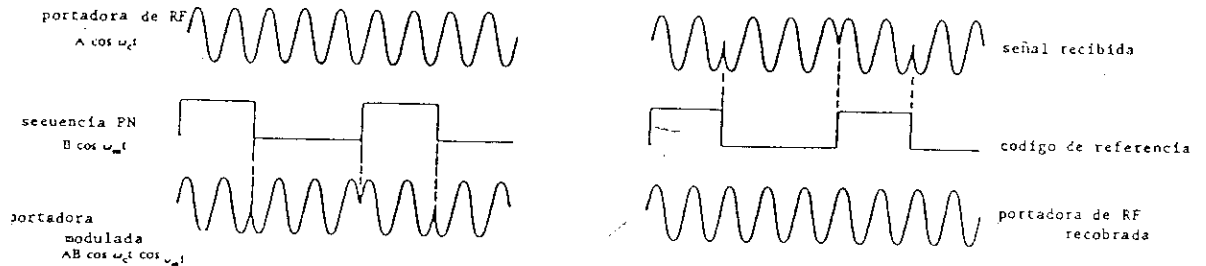
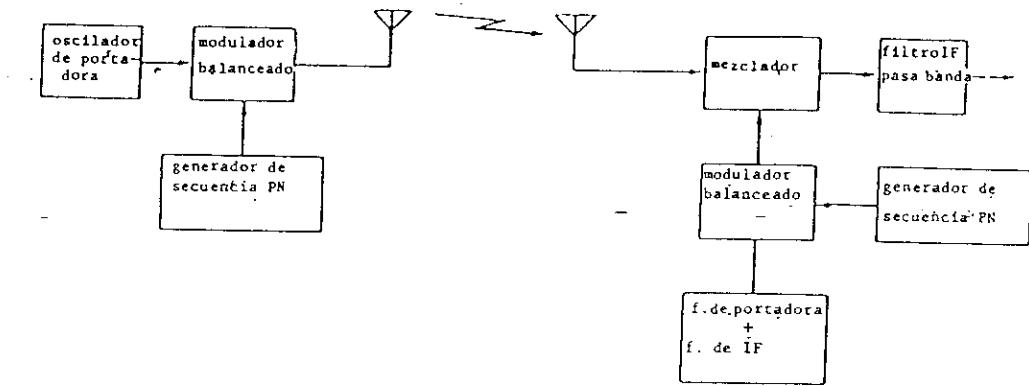


Figura 8. Señales en un sistema por secuencia directa

Las señales no deseadas, ruido e interferencias, en el filtro pasabanda del receptor no son correlacionadas con la secuencia PN local. En el correlador, las señales no deseadas son eliminadas al azar en una base de bit por bit, en donde al azar los bit erróneos pueden coincidir con los bit de la secuencia local. Aquí la salida del mezclador parece ruido, que es filtrado por el filtro pasabajos del correlador. En comparación, el mezclador producirá un flujo de 1 para una secuencia PN no invertida o un flujo de 0 para una secuencia PN invertida. Así pues el proceso del mezclador concentra la señal de espectro esparcido y provoca que las señales no deseadas se esparzan como ruido.

Esto, sin embargo, no sucede con el ruido térmico o ruido blanco. En el receptor la señal, al igual que el ruido térmico, son comparadas con el PN. El ruido térmico coincidirá un número aleatorio de veces con el PN y será correlacionado correctamente. Sin embargo, debido a la aleatoriedad de esta correlación, la densidad de potencia espectral y la función gaussiana del ruido no se ven afectadas. Así pues, la señal y las propiedades estadísticas del ruido no son afectadas por las técnicas de espectro esparcido.

### c. Sincronización

En las señales de secuencia directa el preámbulo efectúa tres funciones. Primero, la portadora de RF debe ser recibida por el receptor. Esto puede realizarse al transmitir una corrida de sólo ceros, la cual le revelará cuál es la frecuencia central al receptor. Segundo, la sincronización del reloj local se establece transmitiendo una secuencia de unos y ceros, alternándose. El receptor detectará esas transiciones y derivará el reloj de ellas. Finalmente, el código de esparcimiento debe sincronizarse.

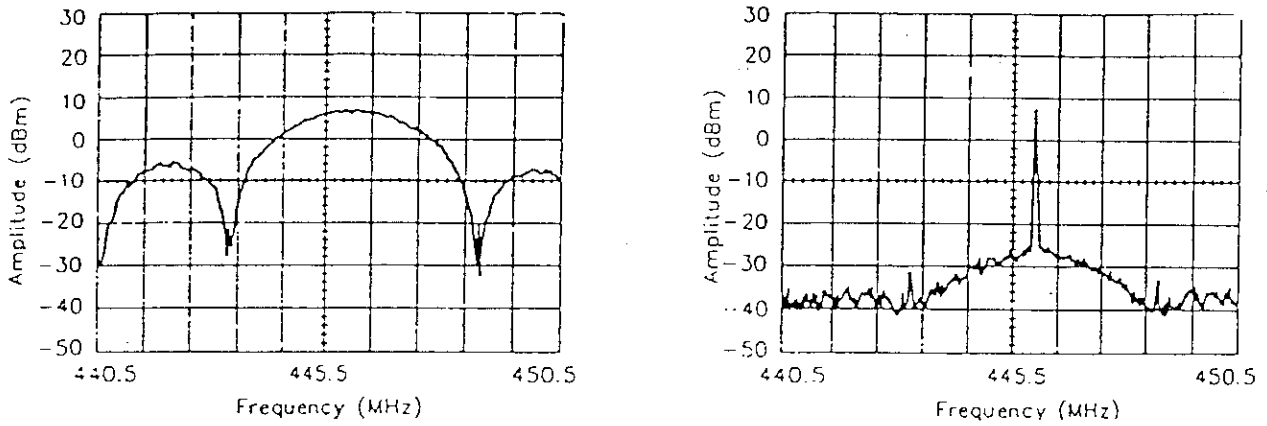


Figura 9. Potencia contra frecuencia en un sistema de espectro esparcido por secuencia directa.

d. El espectro

El espectro para este tipo de señal lo podemos observar en la figura 9. La señal es simétrica alrededor de una frecuencia central, con varios lóbulos. El lóbulo principal es máximo en la frecuencia central, pero se reduce rápidamente. El punto en el cual el primer lóbulo se reduce a su valor más pequeño es conocido como cero. Los subsecuentes lóbulos son conocidos como lóbulos laterales. El lóbulo principal contiene la mayoría de la potencia, aproximadamente 90%, mientras que el 10% restante está distribuido en los lóbulos laterales.

La tasa de chip determina el esparcimiento general de la señal SD. El ancho de banda de la señal de SD aumentara cuando la tasa de chip aumente, mientras que cuando la tasa disminuye, la señal se convierte en una señal PSK convencional no esparcida. Además de esto, la tasa de chip determina el tamaño del lóbulo principal y la localización de los ceros. Fig 10

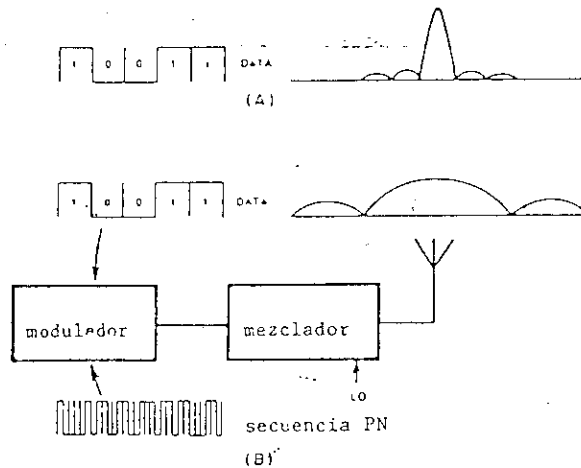


Figura 10. En A, una señal convencional PSK y el espectro que produce. En B, la misma señal combinada con una secuencia PN para producir una señal PSK con secuencia directa, con un ancho de banda mucho mayor.

e. **Campo cerca-lejos**

En el campo de cerca-lejos vemos que una señal de espectro esparcido por secuencia directa, transmite la misma potencia que una señal de banda angosta. Sin embargo, esta potencia está esparcida en una banda de frecuencias, por lo que la potencia por hertz es menor. Un receptor de banda angosta sólo podrá recolectar la potencia que el filtro de IF del receptor le permita. Sin embargo, en el receptor de SD el filtro pasabanda de RF tiene un ancho de banda mucho mayor, por lo que sí podrá recibir la totalidad de la señal esparcida. La potencia esparcida es concentrada de nuevo en el receptor, por lo que la relación de señal a ruido será al menos igual a la de una señal de banda angosta.

3. **FM lineal (chirp)**

El tercer método de esparcimiento utiliza una portadora que es barrida sobre un rango de frecuencias. El espectro de este tipo de esparcimiento es una banda plana, como lo podemos ver en la figura 11. Este método de espectro esparcido es llamado FM lineal y encuentra su mayor aplicación en los sistemas de radar y alineación.

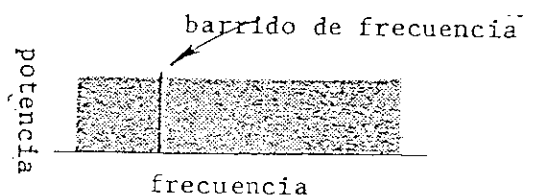


Figura 11. Potencia contra frecuencia en una señal de FM lineal.

4. **Salto de tiempo (time hopping)**

El último método, análogo al de salto de frecuencia, es el de salto de tiempo (ST). En ST, un intervalo de tiempo, el cual es elegido de tal manera que sea mucho más grande que el recíproco de la tasa de información, es subdividido en un gran número de saltos de tiempo. Los símbolos de información codificada son transmitidos en un tiempo tomado al azar por una secuencia PN, como un bloque de uno o más palabras codificadas. PSK puede ser utilizada para transmitir los bits codificados. Vemos que una señal ST está llaveada on-off por la secuencia PN, resultando en un ciclo de trabajo muy bajo. Así pues, la velocidad del llaveado determina la tasa de esparcimiento de la señal.

## 5. Híbridos

Un sistema híbrido está formado por la combinación de dos o más formas de espectro esparcido en un único sistema. El rendimiento de un sistema híbrido es normalmente mayor que el obtenido por un sistema que utiliza un sola técnica. Por ejemplo podemos tener el híbrido SF/ST, con el cual una secuencia PN es utilizada en combinación con los saltos de frecuencia. Sin embargo, el precio pagado por un mejor rendimiento es mayor complejidad, mayor costo y requerimientos más rigurosos de sincronización.

## VI. Selección de los sitios para las estaciones.

Cuando se desea construir un enlace de telecomunicaciones entre dos sitios, por un sistema de espectro esparcido, se deben tomar los siguientes procedimientos de diseño:

- \* Selección de la banda de espectro esparcido a utilizar.
- \* Selección de las características requeridas de transmisión.
- \* Selección de las ubicaciones de las estaciones, tomando en cuenta la facilidad de llegar al sitio, facilidad de instalar equipos, etc..
- \* Planificación de los accesorios de instalación de las estaciones: torres, suministros de energía, fuentes de alimentación.
- \* Consideración de los planes de mantenimiento preventivo y correctivo.

Una vez realizada la instalación se deben efectuar las pruebas al sistema para comprobar que las predicciones teóricas se verifican.

Cada etapa de diseño está íntimamente relacionada con las otras etapas. Por ejemplo, la etapa de escogencia de la banda de espectro esparcido seleccionada está identificada con las características de transmisión que se deseen para el sistema y con las ubicaciones de las estaciones.

Para poder realizar un buen diseño del sistema de comunicaciones, debe tenerse un conocimiento especializado de la teoría de propagación, transmisión y de la teoría del espectro esparcido. Sin estos conocimientos claros, el diseño tiene grandes probabilidades de no ajustarse con la realidad, lo que llevaría al proyecto a un fracaso o mal desempeño.

Estudiemos en profundidad uno por uno los pasos que se deben seguir para selección de los sitios en donde se colocarán las estaciones.

### **A. Trabajo teórico: Estudio de la trayectoria en el mapa**

El primer paso en el diseño de un sistema consiste en realizar algunos trazos en un mapa, conectando los sitios del sistema, observando si hay necesidad de repetidoras para alcanzar los sitios deseados, etc..

Para esto se pueden utilizar planos de escala 1:15000 si los puntos se encuentran sólo en la capital o escala 1:50000 si se requieren distancias mayores.

Algunos de los pasos a seguir en este trabajo preliminar son:

- a. Localización de los puntos a incluir en el sistema: Se unirán los puntos con una línea si el enlace es punto a punto, o por una haz que cubre un cierto ángulo si el enlace requiere ser punto a multipunto.
- b. Localización y dirección de otros enlaces de espectro esparcido ya existentes y que podrían causar o recibir algún tipo de interferencia.
- c. Localización de otras estaciones utilizando otro tipo de modulación, pero que se encuentren en la misma banda de frecuencias y que también podrían causar alguna interferencia.
- d. Localización de aeropuertos y otras instalaciones civiles o militares que puedan utilizar equipo de radio y de localización (radar), que de igual manera puedan recibir o causar interferencia al sistema que se está diseñando.

Luego de marcar estos puntos y algún otro que pueda considerarse de importancia, varias soluciones para la implementación del sistema pueden aparecer. Así pues, para tomar la decisión final, debe realizarse un estudio teórico detallado de la propagación de la onda de radio y económico de las diferentes soluciones.

### **B. Trabajo teórico: Estudio detallado en el mapa**

Antes de pasar a la parte práctica y a las pruebas en el sitio, debe realizarse un examen en el mapa tan preciso como sea posible de las condiciones de propagación de radio, equipo a utilizar, necesidades de transmisión, estudio económico de construcción y mantenimiento.

Para este estudio, se recomienda utilizar mapas más detallados con una escala menor, de 1:50000 o menor si es necesario y con curvas de nivel que no sobrepasen los 20 metros de resolución (líneas de 10 metros serían ideales). Es de suma importancia que los siguientes puntos sean calculados o trazados para poder tener una visión completa de la factibilidad y fiabilidad del sistema a instalar.

a. Dibujo del perfil de la trayectoria de radio. No sólo se deben incluir los obstáculos que el mapa muestre con las líneas de cotas, sino también otros obstáculos, tales como arboledas, monumentos, construcciones o paneles que puedan obstruir el enlace, con el propósito de determinar la línea de vista. Para realizar este perfil se debe tomar en cuenta el factor del radio efectivo de la tierra. Debido a que las ondas electromagnéticas del radio son afectadas por la refracción de la atmósfera, el perfil no puede ser trazado en línea recta, sino que debe trazarse alargando el radio de la tierra. Para esto se utiliza el factor  $K = ae/a$  donde  $a$  es el radio de la tierra y  $ae$  es el radio equivalente. El factor  $K$  es llamado el radio efectivo de la tierra. En Guatemala este factor tiene el valor de  $K=4/3$ .

b. La primera zona de Fresnel: Aun cuando se cuente con línea de vista, pueden existir objetos que se deben considerar en la trayectoria del enlace. Debido a que las obstrucciones pueden causar que la señal se refleje y estas ondas reflejadas podrían causar desvanecimientos, se necesita que el área a rededor de la trayectoria esté totalmente despejada. La tasa de despeje requerida se expresa en zonas de Fresnel. Estas consisten en un elipsoide rotatorio que es el lugar geométrico, con una diferencia constante, igual a media longitud de onda, de la distancia entre sus focos que son los puntos de transmisión y recepción.

Como una condición recomendable del trayecto del enlace con visibilidad directa, ningún obstáculo debe estar dentro de esta zona. El radio de la primera zona de Fresnel,  $h_o$ , en un punto arbitrario entre los dos sitios, se expresa con la siguiente formula:

$$h_o = \sqrt{\frac{l \cdot d_1 \cdot d_2}{d}}$$

donde:

$l$  es la longitud de onda de la señal en milímetros

$d_1$  es la distancia al punto más cercano del enlace en kilómetros

$d_2$  es la distancia al punto más lejano del enlace en kilómetros

$d$  es la distancia total del enlace en kilómetros.

La calidad de la transmisión, así como las características del sistema deberán ser investigadas con base en los resultados encontrados en los procedimientos anteriores y en las especificaciones de los equipos que se utilizarán. Especialmente, deberá tomarse en cuenta la interferencia de radio provenientes del mismo sistema o de otros sistemas.

Para concluir sobre la factibilidad de un enlace se debe realizar un estudio del enlace. El primer punto que se debe estudiar en un análisis de enlace es la ganancia y pérdida de la señal de radio desde su transmisor hasta el receptor. El propósito de esto es determinar la potencia con la que la señal llegará al receptor, con lo cual, a su vez, se podrá saber el margen de desvanecimiento del enlace. Este representa

el margen de seguridad que se tendrá en contra de desvanecimientos, interferencias, etc..

Para calcular el margen de desvanecimiento, se deben tomar en cuenta las siguientes ganancias y pérdidas:

- \* Potencia de transmisión (ganancia)
- \* Sensitividad del receptor (ganancia)
- \* Ganancia de la antena de transmisión y recepción (ganancia)
- \* Atenuación del cable coaxial (pérdida)
- \* Atenuación de los conectores (pérdida)
- \* Atenuación de transmisión de espacio libre (pérdida)

Exceptuando al último término, todos son valores específicos al tipo de equipo utilizado. El último término depende de la frecuencia y de la distancia del enlace. Para calcularlo se utiliza la siguiente fórmula:

$$L = 32.4 + 20\log f + 20\log D \text{ (dB)}$$

donde:

L es la atenuación por espacio libre

f es la frecuencia en MHz

D es la distancia del enlace en kilómetros

Se puede calcular, también, la probabilidad de ocurrencia de un desvanecimiento severo (desvanecimiento de Rayleigh) para un período largo de tiempo P, con la siguiente fórmula:

$$P = Q (f/4)^{1.2} d^{3.5}$$

donde

Q =  $2.1 \times 10^{-9}$  sobre área montañosa

f = frecuencia de radio en GHz

d = distancia de la trayectoria

La probabilidad de ocurrencia de ráfagas de ruido (probabilidad del tiempo en que hay errores) está definida como  $P_i$ :

$$P_i = \frac{\xi P N_0}{10^6}$$

donde:

$$\xi=1$$

$N_0$ = potencia de ruido térmico en espacio libre.

$P$ = probabilidad del desvanecimiento de Rayleigh.

Con estos datos ya se puede dar una visión de la confiabilidad del enlace.

Aun cuando el estudio de las condiciones económicas para la instalación, construcción y manutención y la comparación entre las diferentes soluciones es muy difícil de realizar teóricamente en el mapa, se pueden comparar los siguientes puntos y desechar desde ya algunas de las soluciones que queden fuera de cualquier presupuesto.

a. Número de estaciones repetidoras. Para enlaces capitalinos este punto no es tan crítico, ya que, generalmente, como máximo se necesitará una repetidora. En enlaces punto a punto se podrá realizar en un sólo enlace. En caso que, en los puntos anteriores, se haya encontrado que el enlace es imposible de realizar en un sólo salto, deberá tomarse en cuenta la utilización de una o más repetidoras. Para el número de repetidoras deberá tomarse en cuenta lo siguiente:

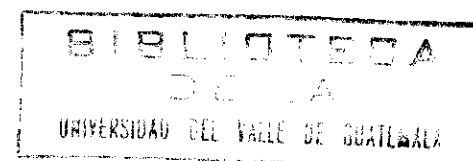
1. Pocas repetidoras o la distancia entre repetidoras es grande: esto aumentará la posibilidad de interferencias, aumento de la potencia de ruido y provocará posibles interrupciones al sistema.
2. Muchas repetidoras o la distancia entre repetidoras es corta: esto causará mayores gastos, por lo que es totalmente antieconómico y si se está tratando de conservar un presupuesto es casi imposible. Además, se deberá tomar en cuenta que, mientras más grande el número de repetidoras, más se incrementará la interferencia entre los sistemas.

b. Alturas calculadas de las torres. Este punto es de suma importancia, ya que no sólo se debe tomar en cuenta la altura de la torre, sino también la posibilidad de la instalación de la misma.

c. Longitud del enlace. Algunos enlaces, aun cuando cuentan con línea de vista y primera zona de Fresnel totalmente libre, son demasiado largos por lo obligan a la instalación de una repetidora.

### C. Estudio práctico: Sitios de instalación

Para confirmar todos los resultados obtenidos en los mapas, se debe realizar un estudio de campo. Luego de esta visita de campo, algunas de las alternativas serán desechadas y finalmente sólo quedarán las que tienen más posibilidad de éxito.



Durante este estudio, se deben observar por lo menos los siguientes puntos:

**1. En el sitio:**

a. Verdadera situación geográfica. Generalmente, el cliente no sabe la verdadera posición geográfica de los puntos a enlazar, aunque sí sabe "más o menos por donde queda". Este "más o menos" puede causar problemas si hay obstáculos cerca que no han sido contemplados a la hora de dibujar el perfil del enlace, lo cual impediría la realización del mismo.

b. Disponibilidad de áreas planas o necesidad de nivelar el suelo. Este punto es sobre todo necesario en caso se tenga que colocar una torre o alguna caseta para los equipos. Si se va a utilizar sólo un mástil para montar la antena y los equipos se vayan a montar en alguna construcción ya hecha, este punto es irrelevante.

c. Naturaleza del terreno. Si es un terreno escabroso, barrancoso con declives, etc., no podrá ser utilizado para la instalación de una torre ni de los equipos.

d. Dueño del terreno y dificultad de comprarlo. Si el cliente no es el dueño, se debe estar seguro de la posibilidad de compra del terreno y que los papeles estén todos en orden. Si se alquila el terreno hay que observar el tiempo de vigencia del contrato de alquiler (deberá contarse con al menos 5 a 10 años).

e. Restricciones al construir las estaciones. Subestaciones de energía y otras restricciones.

**2. El camino de acceso:**

a. Existencia de este camino o proximidad de alguno al sitio propuesto.

b. Situación del camino existente y necesidad de repararlo.

c. De no haber camino, ruta propuesta y longitud para una nueva construcción.

d. Necesidad de vehículos especiales para el acceso (vehículos de doble tracción).

**3. Suministro de energía comercial:**

a. Disponibilidad de suministro de energía comercial existente.

b. Punto de conexión de la línea comercial a la de alimentación propia y longitud del tramo de alimentación propia.

c. Voltajes, frecuencias del suministro de energía y fallas en el mismo.

**4. Edificios y torres (cuando sean necesarios):**

a. Si se utilizan construcciones existentes, se debe tomar en cuenta el espacio utilizable en las salas.

b. Utilización o compra de equipos de energía ininterrumpida (UPS).

c. Espacio para la cimentación de la torre (si es autosoportada) o para poder arriostrarla.

d. Resistencia mecánica de la torre (si hay una existente) y capacidad para montaje de antenas.

**5. Estudio de propagación:**

a. Confirmación de visibilidad directa con los puntos a enlazar.

b. Observación de las obstrucciones cercanas, ya sean naturales o construcciones.

**6. Construcción de la estación:**

a. Disponibilidad de mano de obra.

b. Disponibilidad de materiales para la construcción como agua, cemento, block etc.. De no existir esta disponibilidad, facilidades de transporte para traer los materiales.

c. Disponibilidad de personal para la seguridad del sitio.

**7. Mantenimiento de la estación:**

a. Estaciones climáticas para la continuidad de mantenimientos preventivos.

b. Tiempo de acceso a la estación en caso de necesidad de mantenimiento correctivo.

#### **D. Decisión final: Pruebas de campo**

Aun cuando se han hecho previsiones teóricas y se visitado el sitio, la decisión final dependerá de las pruebas realizadas en el sitio. Esta es la parte definitiva que permitirá saber con certitud la factibilidad del enlace y mostrar el éxito o el fracaso del plan propuesto. Aquí se deben realizar las siguientes pruebas:

- a. Sincronismo en el enlace.
- b. Alineación de antena.
- c. Medición del margen del sistema.
- d. Prueba de tasa de error.
- e. Medición del sistema de tierras.

## VII. Selección de los accesorios de montajes y equipos a utilizar.

Luego que se han decidido los sitios para la instalación de las estaciones, deben decidirse los equipos que se utilizarán, tipos de antenas , número de antenas, tipos de cables, necesidad de instalación de torres, alturas de las torres, etc..

### A. Tipos de antenas.

En general hay dos clasificaciones de antenas que pueden servir para realizar cualquier tipo de radio enlace. Sin embargo, cada una de las clasificaciones tiene varios tipos de antenas.

#### 1. Clasificación.

Las diferentes antenas se clasifican en dos grandes ramas. Las antenas direccionales y las omnidireccionales.

##### a. Antenas omnidireccionales.

Una antena omnidireccional es aquella que radia energía de RF de igual potencia en todas direcciones. El patrón de este tipo de antena se observaría como un disco. Según el ancho del disco, tendremos una mayor o menor ganancia. Debido a esto, este tipo de antena no es adecuado para aplicaciones donde puede haber desviación vertical, como por ejemplo barcos, ya que el haz de la antena se puede salir del ancho del disco lo que provocaría una pérdida de la señal. Se utiliza generalmente para aplicaciones multipunto en todas direcciones.

##### b. Antenas direccionales.

Una antena direccional radia energía predominantemente en una sola dirección. Hay varios tipos de antenas direccionales y cada una cuenta con su propio patrón de radiación. La principal diferencia entre los varios tipos es en el grado de direccionamiento de los patrones de radiación. Se utiliza generalmente en aplicaciones punto a punto o en aplicaciones donde sólo un área específica deberá recibir la señal de radio.

#### 2. Especificaciones.

El tipo de antena que se escogerá depende de la aplicación en la que se va a utilizar. Sin embargo, hay un número de especificaciones que se deben estudiar para que la elección sea la correcta.

a. Tamaño físico, peso y carga de viento: Puntos de suma importancia cuando se desean colocar varias antenas en un mismo sitio. En este caso, se deberá tomar en cuenta estos puntos para la elección de la torre adecuada.

b. Ancho del haz: Recordemos que este se mide en grados y se refiere al ángulo que hay hasta la caída de la potencia en 3 dB. Nos muestra el direccionamiento de la antena. Generalmente mientras más direccional es la antena, más ganancia dará. En enlaces punto a punto, se requerirá de un gran direccionamiento. Sin embargo, en aplicaciones punto a multipunto, se requerirá que el ancho del haz sea bastante grande para cubrir toda el área donde se encontrarán los enlaces.

c. Polarización: Puede ser vertical u horizontal. Nos permitirá evitar parcialmente alguna interferencia. Recordemos que aun cuando tenemos diferentes secuencias PN, estas en la realidad no son totalmente ortogonales, por lo que al variar las polaridades estamos agregando algunos dB ( entre 6 y 10 dB, dependiendo del tipo de antena utilizada) de aislamiento contra la señal no deseada, lo que puede ser la diferencia entre la factibilidad o no de un sistema.

d. Ganancia: Como ya lo indicamos la ganancia está estrechamente relacionada con el ancho del haz.

e. Frecuencia: Las antenas siempre son sintonizadas para operar en una frecuencia o grupo de frecuencias. Así pues, dependiendo de la banda de espectro esparcido, se deberá especificar la antena.

### 3. Tipos de antenas para el espectro esparcido.

#### a. Omnidireccional.

Debido a que radian en todas direcciones, generalmente son de baja ganancia. Antenas de mayor ganancia son más grandes, con lo que se debe tener cuidado con el montaje y el número de antenas que se utilizará.

#### b. Yagi direccional.

Se utilizará en aplicaciones punto a punto. Tienen ganancias entre 6 y 15 dB. El ancho del haz, a 3 dB, es de aproximadamente 45 grados.

#### c. Sección parabólica.

Se utilizará en aplicaciones punto a multipunto o punto a punto, donde se requiera una ganancia superior a la dada por una antena Yagi. Tienen ganancias de 16 a 22 dB y el ancho del haz es de aproximadamente 14 grados, aunque se pueden pedir de mayor ancho de haz.

#### d. Disco parabólico.

Se utilizará de la misma forma que las antenas de rejilla parabólica, aunque tienen mucha más variabilidad en ganancias y en diámetros de disco. Para la banda C, 5725-5850 MHz, se recomienda utilizar un disco de 2 pies con 29 dB de ganancia.

## **B. Otros elementos del sistema.**

Además de las antenas, se deben tomar en cuenta los demás elementos del sistema, como son el cable coaxial, los conectores y demás accesorios de montajes.

### **1. Cable coaxial.**

El cable coaxial se utiliza para llevar la energía RF desde el transmisor hasta la antena. Sin embargo, el traslado de esta energía lleva consigo una pérdida de la misma. Esta pérdida es directamente proporcional a la longitud de cable y a la frecuencia de la señal utilizados. Una frecuencia mayor, causará mayor pérdida en el cable coaxial. Además de la longitud y de la frecuencia, también afectan a la pérdida el grosor del cable y la flexibilidad.

Para la Banda L se recomiendan cables como el Belden 9913, Belden YR21852, con una longitud no mayor de 20 metros, con lo que se tendrá una pérdida de aproximadamente 3 dB máxima.

### **2. Conectores.**

Para cada tipo de cable hay un tipo especial de conector. Generalmente se utilizan conectores tipo N.

### **3. Protectores de RF.**

El tipo de protector, dependerá de la frecuencia utilizada y del tipo de cable y conector que se tenga. Para la banda L podríamos recomendar el protector Polyphaser IS50NXC2, el cual cuenta con conectores N, y trabaja en un rango de frecuencia de 700 a 1000 MHz. Para la Banda S, el Polyphaser ISMT50LNMA, que trabaja en un rango de 2.1 a 2.6 GHz, con conectores N.

### **4. Conexiones a tierra.**

En muy importante recordar que todas las instalaciones, ya sea de antenas o no, deben estar debidamente aterrizadas. Con esto nos referimos a que el conductor externo del cable coaxial, el mástil y/o la torre deben estar conectadas a una buena tierra. Los protectores de RF también deben ir aterrizados, de lo contrario serán inútiles.

Cuando en el terreno no existe una red conveniente de protección a tierra para los equipos a instalar, se debe solicitar que se instale una siguiendo las siguientes recomendaciones. Es recomendable que la red de puesta a tierra sea una sola, tanto para la parte de comunicaciones, como para la parte de computación y la parte de otras máquinas. Como mínimo, se recomienda la instalación de 3 varillas de tierra de 5 pies (recubiertas de cobre), espaciadas 10 pies entre sí (en forma de triángulo o linealmente), interconectadas por cable desnudo enterrado a un pie de profundidad, calibre 1/0 (de cobre). todas las uniones de la red de tierras, se harán preferiblemente por el método de soldadura "CADWELD". La resistencia a tierra de la red será medida durante la fase de instalación, requiriéndose no supere los 2

ohmios. Si esto no se logra con 3 varillas de tierra, deberán añadirse a la red de tierra las varillas adicionales que sean necesarias. Todos los equipos deberán ser interconectados a la red de tierras en un único punto (ej: barra de tierras en el tablero de distribución de energía), manteniendo al mínimo la longitud de todos los conductores de puesta a tierra, evitando curvas cerradas en los mismos.

#### 5. Accesorios de montaje.

Entre los accesorios de montaje se deben tomar en cuenta si se montará una torre o sólo uno o dos mástiles para soportar la antena. Si la antena es una o dos Yagis con los mástiles basta, excepto en el caso en que la altura de antenas que se necesita sea un factor limitante y se tenga que utilizar una torre. En caso de que se tengan que utilizar más de dos Yagis o que se tenga la necesidad de colocar parábolas, es recomendable colocar una torre.

Para una instalación con mástiles, se deben tener en cuenta entre otros accesorios: El mástil, cantidad y grosor del mismo, las bases para soportar al mástil, las riostras, las abrazaderas, terminales para conexión a tierra, etc..

Para una instalación de torre, se deberá tomar en cuenta el terreno para poder arriostrarla bien. Como regla general, se debe tener un terreno cuadrado con un tamaño por lado igual a la altura de la torre. Otros aspectos serán la sección de la torre, el tamaño de la base de concreto, la sección de los tubos de los brazos, peso, altura, resistencia al viento, número de antenas a montar, peso a soportar, etc..

Finalmente se debe asegurar que todos los cables, antenas y accesorios de montaje están protegidos contra la corrosión. Las piezas metálicas se pueden galvanizar y los conectores y adaptadores pueden ser protegidos con cinta vulcanizante.

## VIII. Estudio de un caso en Guatemala.

En esta sección estudiaremos cómo se diseña un sistema de espectro esparcido, describiendo el procedimiento para diseñar un sistema que pueda llenar los objetivos de calidad y confiabilidad requerida. Al mismo tiempo, el diseño tomará en cuenta que se deben mantener los costos al mínimo.

Como un ejemplo práctico, se hará el estudio para un cliente que tiene sus oficinas centrales en la ciudad de Guatemala y quiere enlazarse con su agencia que se encuentra en la Antigua Guatemala.

El tráfico que cursará entre la agencia y la central es alto (transferencia de archivos y chequeos). Como información adicional, el cliente nos informó que cuenta con un terreno en el Volcán de Agua, el cual ya tiene alimentación de energía AC, con una caseta. El camino transitable en carro llega hasta aproximadamente 100 metros de donde está el sitio.

### A. Estudio en el mapa.

#### 1. Selección del sistema

Tomando en cuenta el tráfico que se cursará por el enlace, las características de este deberán ser las siguientes:

- \* enlaces de 64 Kbps.
- \* tasa de error inferior a  $10^{-6}$ .
- \* confiabilidad de 99.99%.

Los puntos a enlazar se encuentran en los siguientes sitios:

- \* La central se encuentra en el edificio médico Obelisco.
- \* La agencia de la antigua Guatemala se encuentra en el centro de la ciudad, en un local de un piso.

#### 2. Estudio preliminar

Debido a que las distancias son cortas (máximo de 30 Kms) se utilizarán mapas de 1:50000. Apéndice 2. Como se puede observar en el mapa, un enlace directo es imposible, por lo que se opta por utilizar la propiedad del cliente como posible repetidora.

Se utilizará la banda de 902-928 MHz. En estas trayectorias, no hay ninguna señal en estas bandas. Debido a la altura de las estaciones, no hay ninguna obstrucción visual al enlace. Cerca de la trayectoria queda el aeropuerto la Aurora. Sin embargo, no tiene ninguna frecuencia funcionando en la banda utilizada, por lo que no se sospecha de ninguna interferencia proveniente del mismo.

### 3. Estudio detallado

#### a. Perfil

Al trazar el perfil del enlace directo, utilizando  $K=4/3$  confirmamos que el enlace está obstruido, por lo que se realizan los perfiles utilizando la propiedad del cliente como repetidora. Podemos observar que ninguno de los enlaces desde la repetidora se ve obstruido y que ambos tienen la primera zona de Fresnel libre.(apéndice 2)

$$h_1 = \sqrt{\frac{l \cdot d_1 \cdot d_2}{d}} = \sqrt{\frac{123 \cdot 8 \cdot 20.3}{28.3}} = \sqrt{705.3} = 26.56m$$

#### b. Repetidoras

Debido a que las distancias no son excesivas (sobre todo la de la repetidora a la agencia), se decide utilizar sólo una repetidora.

#### c. Alturas de las torres

No tenemos necesidad de calcular las alturas, ya que la altura natural de las estaciones permite la factibilidad del enlace sin ningún problema.

#### d. Longitud de los enlaces

El enlace desde la repetidora hasta la central es de 23 Kms y hasta la agencia es de 10 Kms.

#### e. Cálculos de propagación

Se tomarán como datos:

##### 1. Radio.

Para la instalación del sistema se utilizarán radios con las siguientes especificaciones:

PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN
Rango de frecuencias	902-928 Banda L
Tecnología	Frecuencia esparcida (SD)
Ancho de banda de canal	4.2 MHz
Potencia del transmisor	1 W
Sensibilidad del receptor	-95 dBm
Energía	120 VAC, 60Hz, 0.7 A
Ganancia de procesamiento	12 dB

## 2. Antena

Se utilizarán antenas marca Scala con las siguientes especificaciones:

PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN
Frecuencia	902-928 MHz
Ganancia	14 dBi

## 3. cable

Se utilizará cable Belden 9913 el cual a estas frecuencias da una pérdida de 7.7 dB/100'

Así pues, realicemos los cálculos de propagación:

### 1. Ganancia del sistema.

GS= potencia del transmisor - sensibilidad del receptor

$$GS = +30 - (-95) = 125 \text{ dB}$$

### 2. Ganancia total.

GT= GS + Ganancia de las antenas

$$GT = 125 + 14 + 14 = 153 \text{ dB}$$

### 3. Pérdida por espacio libre.

$$PEL = 96.6 + 20 \log D + 20 \log f$$

$$PEL1 = 96.6 + 29.03 - 0.77 = 124.86 \text{ dB (enlace repetidora-central)}$$

$$PEL2 = 96.6 + 20 - 0.77 = 115.83 \text{ dB (enlace repetidora-agencia)}$$

### 4. Pérdida total

PT= PEL + pérdida del cable + otras pérdidas

$$PT1 = 124.86 + 6 + 2 = 132.86$$

$$PT2 = 115.83 + 6 + 2 = 123.83$$

### 5. Margen del enlace.

$$ME1 = GT - PT1 = 153 - 132.86 = 20.14 \text{ dB}$$

$$ME2 = GT - PT2 = 153 - 123.86 = 29.14 \text{ dB}$$

Por lo que ambos enlaces son totalmente factibles.

#### 4. Estudio del sitio

##### a. La central

Al llegar al sitio, se pudo comprobar la línea de vista hasta la repetidora. Se pudo observar que sólo es necesario colocar un mástil de 10 pies para sostener la antena. Debido a que la estación está sobre un edificio, no es necesario realizar todos los estudios de suelos. Sin embargo, sí es necesario obtener los permisos para montar la antena, de lo cual se encargará el cliente. Luego que el permiso se ha obtenido, todas las restricciones de instalación han sido superadas. La energía para el equipo será suministrada por el cliente, quien cuenta con un UPS de suficiente potencia para soportar al radio que se utilizará. Los equipos serán instalados en las oficinas del cliente, por lo que se deberán instalar ductos para el cable coaxial. Además de esto, debido a que la distancia desde la antena hasta las oficinas del cliente es demasiado larga (la pérdida en el cable coaxial es demasiada), se ha decidido instalar el radio en el cuarto de máquinas del edificio y pasar cable de datos hasta el centro de cómputo del cliente. Así pues se decidió utilizar una interfase V.35, la cual permite la instalación de un cable de datos de mayor longitud. En el cuarto de máquinas, se colocará una bandeja para cargar el radio y se llevará energía ininterrumpida desde el UPS del centro de cómputo. No es necesario contratar mano de obra, ya que la instalación es sencilla y la puede realizar un técnico de la empresa. Debido a que la estación está construida en un área urbana, la instalación y mantenimiento, tanto preventivo como correctivo, se podrá realizar en cualquier momento.

##### b. La agencia

Al llegar al sitio, se pudo comprobar la línea de vista hasta la repetidora. Se pudo observar que sólo es necesario colocar un mástil de 10 pies para sostener la antena. Debido a que la estación está sobre una construcción, que aun cuando es baja, es suficiente para realizar un buen enlace, no es necesario realizar todos los estudios de suelos. Tampoco es necesario obtener los permisos para montar la antena, ya que la construcción es propiedad del cliente. La energía para el equipo será suministrada por el cliente, quien cuenta con un UPS de suficiente potencia para soportar el radio que se utilizará. Los equipos serán instalados en las oficinas del cliente, por lo que se deberán colocar ductos para el cable coaxial. Debido a que la distancia desde la antena hasta las oficinas del cliente es corta, el radio se instalará en el mismo centro de cómputo, junto a la terminal que la utilizará.

Se decidió utilizar una interfase V.35 para estandarizar los equipos que el cliente instalará. Al igual que en la central, no se hace necesario contratar mano de obra, ya que la instalación es sencilla y la puede realizar un técnico de la empresa. Debido a que la estación está construida en un área urbana, la instalación y mantenimiento, tanto preventivo como correctivo, se podrá realizar en cualquier momento.

c. **La repetidora.**

El lugar indicado por el cliente, coincide bien con el sitio utilizado para realizar el perfil. Como él lo había indicado, el terreno es plano y no habrá necesidad de aplanar ni de nivelar el suelo. Aunque el camino queda aproximadamente a 100 metros, no habrá necesidad de construir una extensión, ya que hay una vereda por la que un carro de doble tracción puede acceder. La energía comercial como el cliente lo había indicado, ya existe, aunque se deberá tomar en cuenta que se debe colocar un UPS de suficiente potencia para los dos radios que se deberán utilizar. Debido a que el cliente considera que el sistema se expandirá, se decidió colocar una torre con las siguientes características:

- \* Torre arriostrada de 50 pies (17 mts)(torre tipo ROHN 25G, ver especificaciones en apéndice 3) la cual está suficientemente dimensionada para las necesidades actuales y para cualquier ampliación futura.
- \* Torre galvanizada
- \* Dimensiones por lado de la torre: 12 pulgadas
- \* Diámetro del tubo de la torre: 1 pulgada
- \* Pararrayos y sistema de tierra.
- \* Baliza
- \* Base cuadrada de inserción para torre triangular.
- \* Refuerzos en forma zig-zag

Para la obra civil necesaria para la instalación de la torre, se utilizará personal contratado por el cliente. Sin embargo, no habrá necesidad de construir caseta, ya que el terreno cuenta con una, la cual servirá para instalar los equipos. Debido a la distancia y grado de dificultad de acceder a la repetidora, se ha planeado realizar una visita de mantenimiento preventivo cada trimestre.

Debido a que en el terreno no existe una red conveniente de protección a tierra para los equipos a instalar, se ha pedido al cliente que instale una.

## IX. Conclusiones

1. Un sistema de radio que utilice modulación por espectro esparcido, podrá resistir mejor a las interferencias, ya sea que éstas sean intencionales o no, que un sistema de banda angosta. Se debe estar consciente, sin embargo, de que esta resistencia a las interferencias es sólo relativa y no absoluta.
2. Debido a la difícil demodulación de un sistema de modulación por espectro esparcido, éste tiene una mejor resistencia a la interceptación y decodificación que los sistemas de banda angosta.
3. La interferencia causada por los sistemas de modulación por espectro esparcido, es sensiblemente menor a la que causaría un sistema de banda angosta utilizando la misma frecuencia. Esta ventaja se logra gracias a la baja densidad espectral obtenida después del esparcimiento de la señal.
4. El esparcimiento de la señal utilizando códigos pseudo-aleatorios, permite a los sistemas tener una mejor resistencia a la interferencia por trayectoria múltiple.
5. El uso de códigos pseudo-aleatorios, ofrece una mejor utilización del espectro, permitiendo sobre-asignación de sistemas y reutilización de frecuencias. Se debe tomar en cuenta, sin embargo, que por cada nuevo sistema instalado, la interferencia aumentará.
6. En una ciudad tan pequeña como Guatemala, es conveniente que sólo haya un administrador de la banda de espectro esparcido, debido a la interferencia que causaría que los sistemas fueran instalados al azar.
7. Los sistemas más utilizados para el esparcimiento del espectro, hasta ahora, han sido el de saltos de frecuencia y el de secuencia directa. Aun cuando un híbrido de estos dos podría dar una mejor eficiencia del espectro y mejor resistencia a las interferencias, esta mejora estaría acompañada de un aumento en los costos, lo que provocaría que un sistema de estos estuviera fuera de algunos presupuestos.
8. La instalación de un sistema de espectro esparcido, requiere un estudio preliminar profundo que va desde la ubicación de los sitios, las características de transmisión, hasta el estudio de los accesorios de instalación.

9. Aun cuando el estudio preliminar es de suma importancia, la instalación final dependerá de las pruebas de campo.

## X. Recomendaciones

1. Antes de realizar la instalación de un sistema por espectro esparcido, debe realizarse un estudio preliminar detallado, incluyendo una observación de la banda de frecuencia que se va a utilizar para poder concluir en la factibilidad del enlace.
2. De haber señales de espectro esparcido en la banda que se ha decidido utilizar, se debe contactar, de ser posible, a las personas que realizaron la instalación para coordinar y sincronizar los sistemas, lo cual evitará problemas posteriores en ambos sistemas.
3. Se recomienda, de ser posible, el uso de enlaces punto a multipunto y no punto a punto, con lo cual se logrará una mejor utilización de la banda de frecuencias y por consiguiente se disminuirá las interferencias.
4. Debido a lo escaso de las frecuencias, se recomienda que se integren las necesidades del cliente (voz, datos, fax, video conferencia, etc..) en lugar de la instalación de un sistema por cada una de ellas.
5. Al realizar la instalación de un sistema de espectro esparcido, debe preverse siempre el crecimiento de éste para que la inversión sea provechosa.

## XI. Bibliografía

1. The ARRL Spread Spectrum Source Book.  
André Kesteloot and Charles L. Hutchinson  
The American Radio Relay League, Inc.
2. Digital Microwave Planning Guide.  
Digital Microwave.
3. Microwave Communication Engineering.  
Nippon Telegraph & Telephone Public Corporation.
4. Digital Communications.  
John Proakis. McGraw-Hill.
5. Radiowave Propagation.  
Lucien Boithias. McGraw-Hill.
6. Transmisión de información, modulación y ruido  
Mischa Schwartz. McGraw-Hill

## Apéndice 1: Análisis matemático de una señal BPSK

Hemos podido observar que una señal de espectro esparcido por secuencia directa, no es más que el resultado de la modulación en amplitud, por un flujo de dígitos binarios, de una señal ya modulada (señal BPSK). Este flujo de dígitos binarios es pseudo-aleatorio, por lo que el resultado es de igual forma una señal pseudo-aleatoria. Sin embargo, el estudio de esta señal se deberá, realizar igual que el de una señal BPSK, tomando en cuenta las nuevas características, como serían la tasa de chip, el nuevo ancho de banda, el espectro, etc..

Estudiemos pes una señal BPSK para comprender la matemática de una señal de espectro esparcido por secuencia directa.

### A. La señal transmitida

En una señal BPSK, la señal transmitida tiene una forma sinusoidal de amplitud constante. Tiene una fase fija cuando los datos están en un nivel. Cuando los datos están en el otro nivel, la fase es diferente por 180 grados. Si la senoide tiene una amplitud  $A=1$ , entonces la potencia es  $P_s = \frac{1}{2} A^2$ . Así pues, la señal transmitida es:

$$v_{\text{BPSK}}(t) = \cos(\omega_c t)$$

o

$$\begin{aligned} v_{\text{BPSK}}(t) &= \cos(\omega_c t + \pi) \\ &= -\cos(\omega_c t) \end{aligned}$$

En BPSK, los datos  $b(t)$  son un flujo de dígitos binarios con niveles de voltage, los cuales por conveniencia, tomaremos como +1V y -1V. Cuando  $b(t)=1V$  diremos que es un nivel lógico 1 y cuando  $b(t)=-1V$  diremos que es un nivel lógico de 0. Así pues,  $v_{\text{BPSK}}(t)$  puede ser escrito, sin perder la generalidad, como

$$v_{\text{BPSK}}(t) = b(t) \cos(\omega_c t)$$

En la practica, una señal BPSK es generada aplicando una onda  $\cos(\omega_c t)$ , como portadora, a un modulador balanceado y aplicando la señal de banda base  $b(t)$  como la onda moduladora.

### B. La señal recibida

La señal recibida tiene la forma de

$$v_{\text{BPSK}}(t) = b(t) \cos(\omega_c t + \theta)$$

Aquí  $\Theta$  representa un desfase fijo y corresponde a un retraso de  $\Theta/\omega_c$  que depende de la longitud de la trayectoria entre el transmisor y el receptor. Los datos originales, son recobrados en el demodulador utilizando la técnica de demodulación sincrónica y requiere que se tenga disponible, en el demodulador, la forma de onda  $\cos(\omega_c t + \Theta)$ . El esquema para generar la portadora en el demodulador y para recóbrar la señal de banda base se ve en la figura A.1.

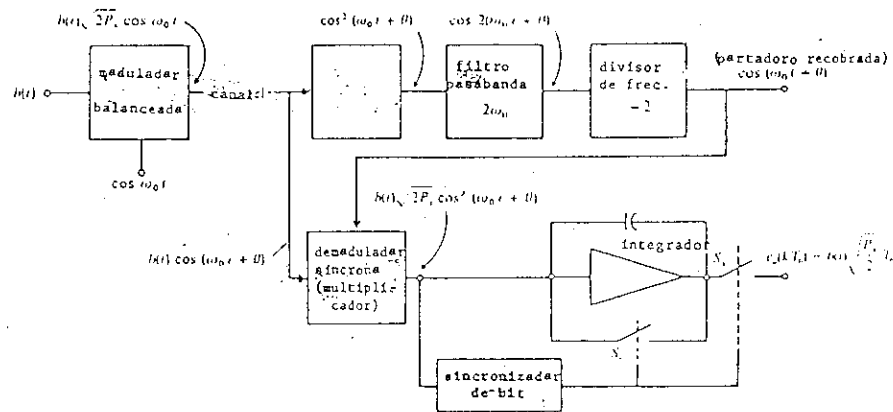


Figura A.1. Esquema para recobrar una señal de banda base en BPSK

Como podemos observar, la señal se pone al cuadrado para generar:

$$\cos^2(\omega_c t + \Theta) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos 2(\omega_c t + \Theta)$$

La componente dc es removida por el filtro pasabanda, el cual está centrado en  $2f_c$ , con lo que obtenemos la señal cuya forma es la de  $\cos 2(\omega_c t + \Theta)$ . Un divisor de frecuencia es utilizado para generar la forma de onda  $\cos(\omega_c t + \Theta)$ . Sólo las señales en las salida del cuadrador, el filtro y el divisor son importantes para nuestra discusión.

La portadora, habiendo sido recobrada, es multiplicada por la señal recibida, para generar

$$\begin{aligned} b(t) \cos^2(\omega_c t + \Theta) \\ = b(t) \left[ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos 2(\omega_c t + \Theta) \right] \end{aligned}$$

que es luego aplicada al integrador de la figura A.1.

Debido a que la integral de una señal sinusoidal en un número dado de ciclos es igual a cero, observamos que después del integrador, la salida del demodulador es el flujo de datos binarios transmitidos al inicio.

### C. El espectro de una señal BPSK

En los problemas de ingeniería eléctrica, la señal usualmente consiste en algún voltage función del tiempo.

Sea  $f(t)$  la función que denota la onda de interés. El valor del voltage, fluctúa como una función del tiempo y conecuentemente la frecuencia o un rango de frecuencias, es una de las propiedades de más interés para el ingeniero eléctrico.

Teóricamente, para evaluar las frecuencias presentes, se debiera poder observar la señal en todo el tiempo, es decir  $-\infty < t < \infty$ , para estar seguro de que todas las componentes de la frecuencia han sido evaluadas. El nivel relativo de una frecuencia comparada contra otra, está dada por el espectro de amplitud. Este es obtenido calculando la transformada de Fourier de la onda  $f(t)$ , la cual se calcula utilizando:

$$F(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega y t} dt$$

Esto es también llamado el espectro bilateral de  $f(t)$  ya que las componentes positivas y negativas del espectro, son obtenidas por la ecuación.

Estudiaremos el espectro de un pulso rectangular, figura A.2, y luego, utilizando este resultado, estudiaremos el espectro de una señal BPSK.

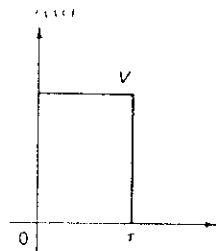


Figura A.2. Pulso rectangular

Sea  $f(t)$  un pulso de T segundos de duración dado por:

$$y = \begin{cases} 1, & 0 < t < T \\ 0, & \text{otra } t \end{cases} = \text{II} \left( \frac{t - \frac{T}{2}}{T} \right)$$

de la ecuación de fourier, el espectro de este pulso es:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-j\omega t} dt = \frac{e^{-j\omega T} - 1}{-j\omega}$$

$$= T e^{-j\omega \frac{T}{2}} \frac{\sin(\omega \frac{T}{2})}{\omega \frac{T}{2}}$$

Con lo que la magnitud queda escrita como:

$$|V(\omega)| = T \left| \frac{\sin(\omega \frac{T}{2})}{\omega \frac{T}{2}} \right|$$

La forma de la onda del espectro, está dado en la figura A.3.

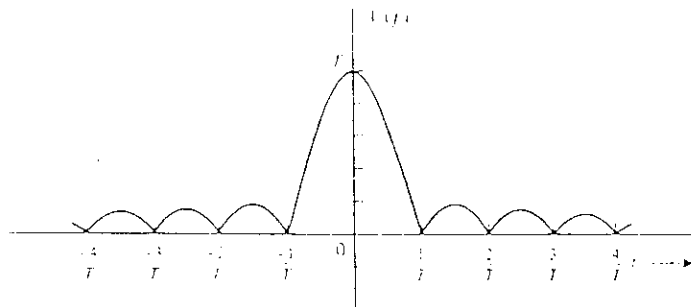


Figura A.3. Espectro  $F(\omega)$  de un pulso rectangular

Conociendo las siguientes propiedades:

**Teorema del desplazamiento del tiempo:** Un corrimiento en el tiempo de una señal, corresponde a un corrimiento de fase de  $-j\omega t_0$  en  $F(\omega)$ . Así pues, utilizando el espectro de un pulso rectangular, tenemos que el espectro de las funciones de la figura A.4 son:

$$F_1(f) = T e^{-j\omega \frac{T}{2}} \frac{\sin(\omega \frac{T}{2})}{\omega \frac{T}{2}}$$

y

$$F_2(\omega) = T e^{j\omega \frac{T}{2}} \frac{\sin(\omega \frac{T}{2})}{\omega \frac{T}{2}}$$

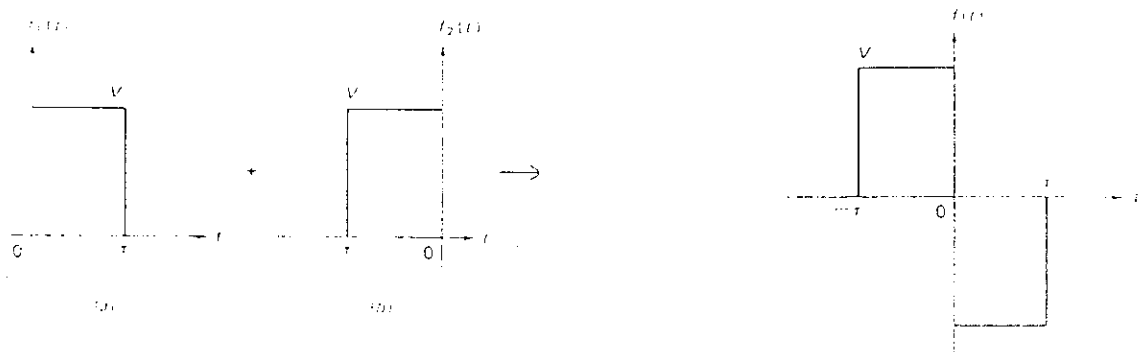


Figura A.4. Pulsos rectangulares

con lo que, combinando  $F_1(\omega)$  y  $F_2(\omega)$ , obtenemos el espectro de la señal de la figura A.3:

$$F(\omega) = F_2(\omega) - F_1(\omega)$$

$$V(f) = 2jT \frac{\sin^2(\omega \frac{T}{2})}{\omega \frac{T}{2}}$$

**Teorema del desplazamiento en frecuencia:** Si  $F(\omega)$  se desplaza en  $\omega_0$  rad/s,  $f(t)$  se multiplica por  $e^{j\omega_0 t}$ , con lo que se obtiene que:

$$f(t)e^{j\omega_0 t} \leftrightarrow F(\omega - \omega_0)$$

Esta multiplicación es equivalente a que la señal sea modulada por una portadora, es decir que sea multiplicada por  $\cos(\omega_0 t)$ . Al escribir  $\cos(\omega_0 t)$  como la suma de dos exponenciales complejas y utilizando el resultado anterior obtenemos que:

$$\frac{1}{2}[F(\omega - \omega_0) + f(\omega + \omega_0)]$$

El diagrama de este espectro lo podemos observar en la figura A.5.

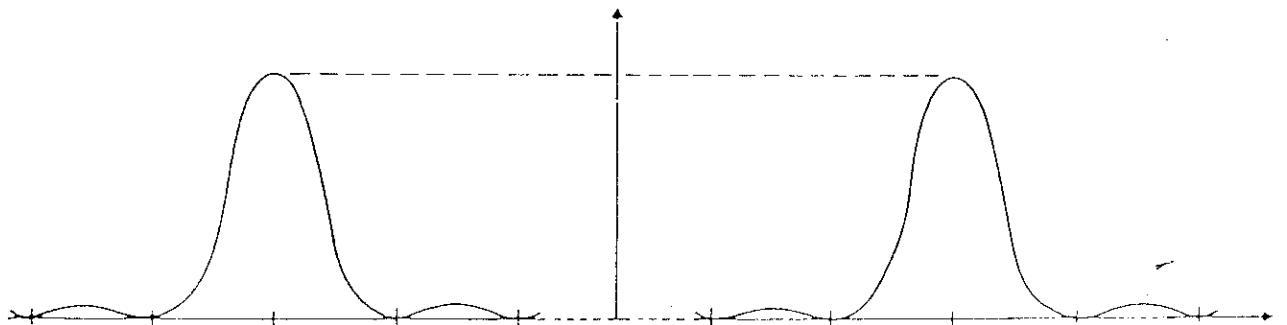


Figura A.5. Espectro de una señal BPSK.

El estudio anterior, se realizó para un sólo pulso. Sin embargo, la señal es un flujo de pulsos. Considerando el peor caso del flujo de pulsos, es decir, cuando se dará un tren de pulsos 1 y 0 periódico. Para este estudio, utilizaremos la función impulso unitario  $\delta(t)$ . Su transformada de Fourier es entonces:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) e^{-j\omega t} dt = 1$$

Las funciones impulso pueden utilizarse para representar señales periódicas y los espectros de la serie de Fourier pueden obtenerse en forma natural en términos de espectros discretos de funciones impulso. Con este método, tanto las funciones periódicas (caso supuesto para nuestro estudio) como aperiódicas (caso real) pueden incorporarse en una misma definición de transformada de Fourier.

Recordando que:

$$\delta(t) \leftrightarrow 1$$

y del teorema de retardo,

$$\delta(t - t_0) \leftrightarrow e^{-j\omega t_0}$$

Sin embargo, utilizando el teorema de la simetría, de las transformadas en la frecuencia y en el tiempo, y ya que

$$F(\omega) = \delta(\omega - \omega_0)$$

obtenemos que:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{j\omega t} d\omega = \frac{1}{2\pi} e^{j\omega_0 t}$$

Entonces resulta la siguiente transformada:

$$e^{j\omega_0 t} \leftrightarrow 2\pi\delta(\omega - \omega_0)$$

En general se sabe que una señal periódica puede representarse por medio de la serie compleja de Fourier:

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} c_n e^{j\omega_n t}$$

con el coeficiente  $c_n$  dado por:

$$c_n = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) e^{-j\omega_n t} dt$$

Tomando las transformadas de Fourier término a término se obtiene que:

$$f(t) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} c_n e^{j\omega_n t} \leftrightarrow F(\omega) = \frac{2\pi}{T} \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} c_n \delta(\omega - \omega_n)$$

Cualquier función periódica, puede representarse por medio de un espectro discreto de la transformada de Fourier que consta de impulsos en las armónicas de la señal periódica. Esto nos permite describir la transformada de Fourier de señales periódicas y aperiódicas combinadas, considerando los impulsos en las armónicas de las señales periódicas para representar la contribución debida a la periodicidad.

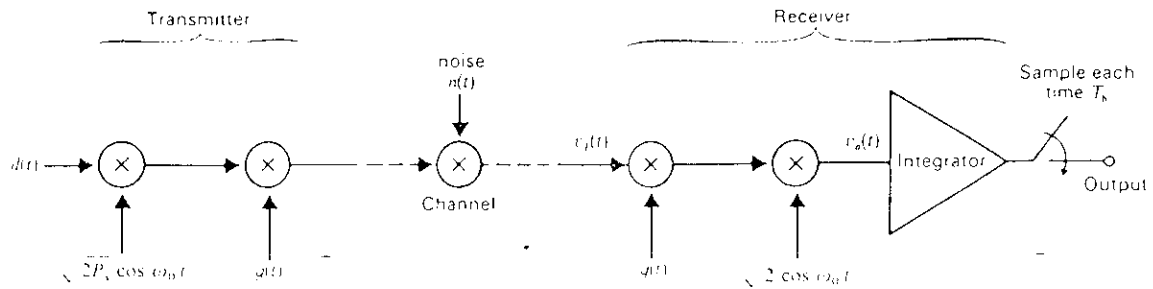


Figura 6. Sistema de comunicación incorporando una técnica de esparcimiento de espectro.

#### D. Efecto de una interferencia en una señal de secuencia directa

Consideremos una señal de espectro esparcido por secuencia directa, la cual es interferida por una señal sinusoidal de potencia normalizada  $P_j$  y con portadora de frecuencia  $f_0$ . En la figura A.6, podemos observar la señal con forma de onda

$$n(t) = \sqrt{2P_j} \cos(\omega_0 t + \Theta)$$

La entrada en el receptor será entonces:

$$v_i(t) = \sqrt{2P_s} d(t)g(t) \cos \omega_0 t + \sqrt{2P_j} \cos(\omega_0 t + \Theta)$$

En la entrada del integrador, las señales que son de nuestro interés son:

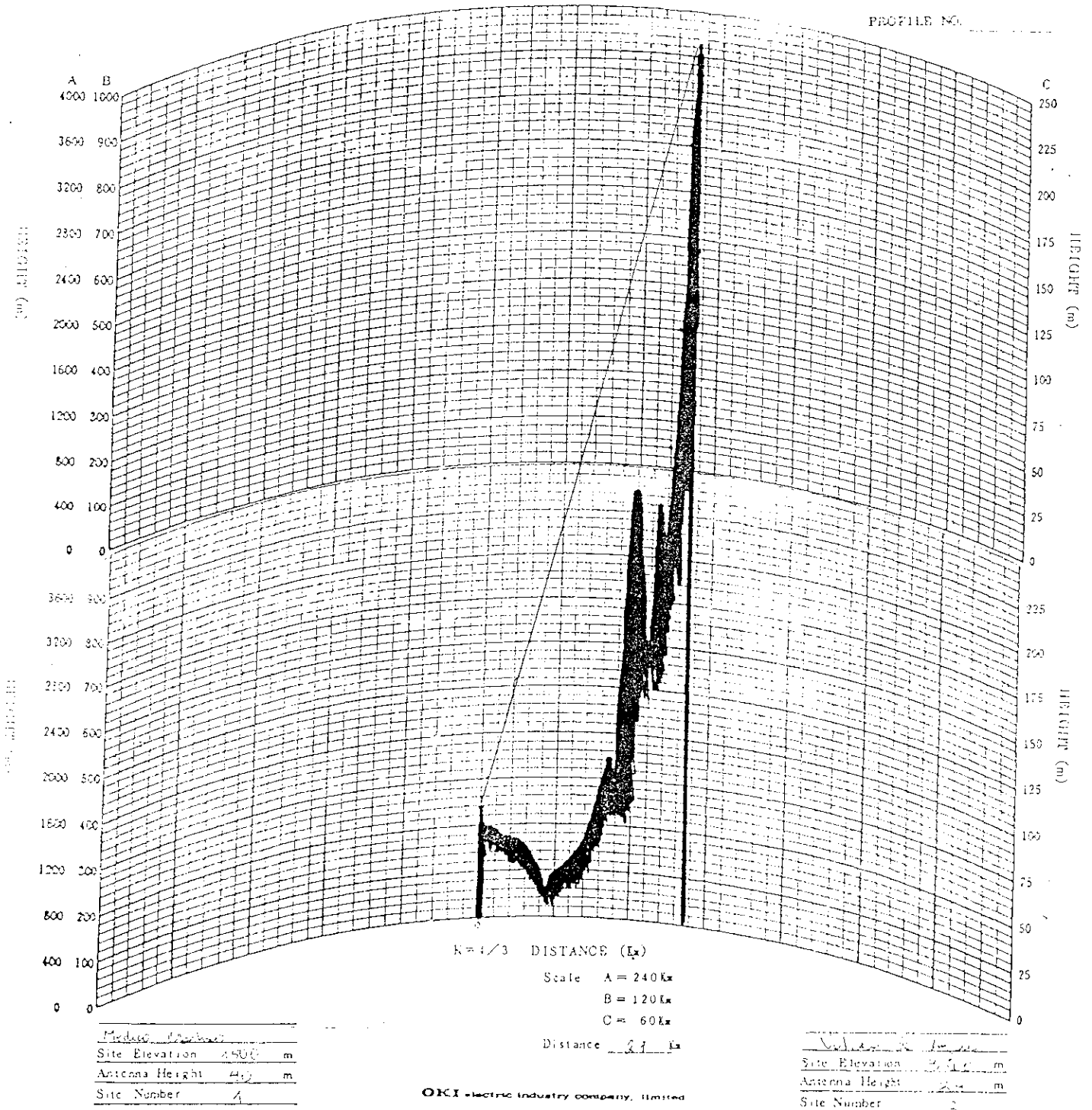
$$v_i'(t) = \sqrt{P_s} d(t) + \sqrt{P_j} g(t) \cos \Theta$$

Así pues, la potencia espectral de la señal interferente es:

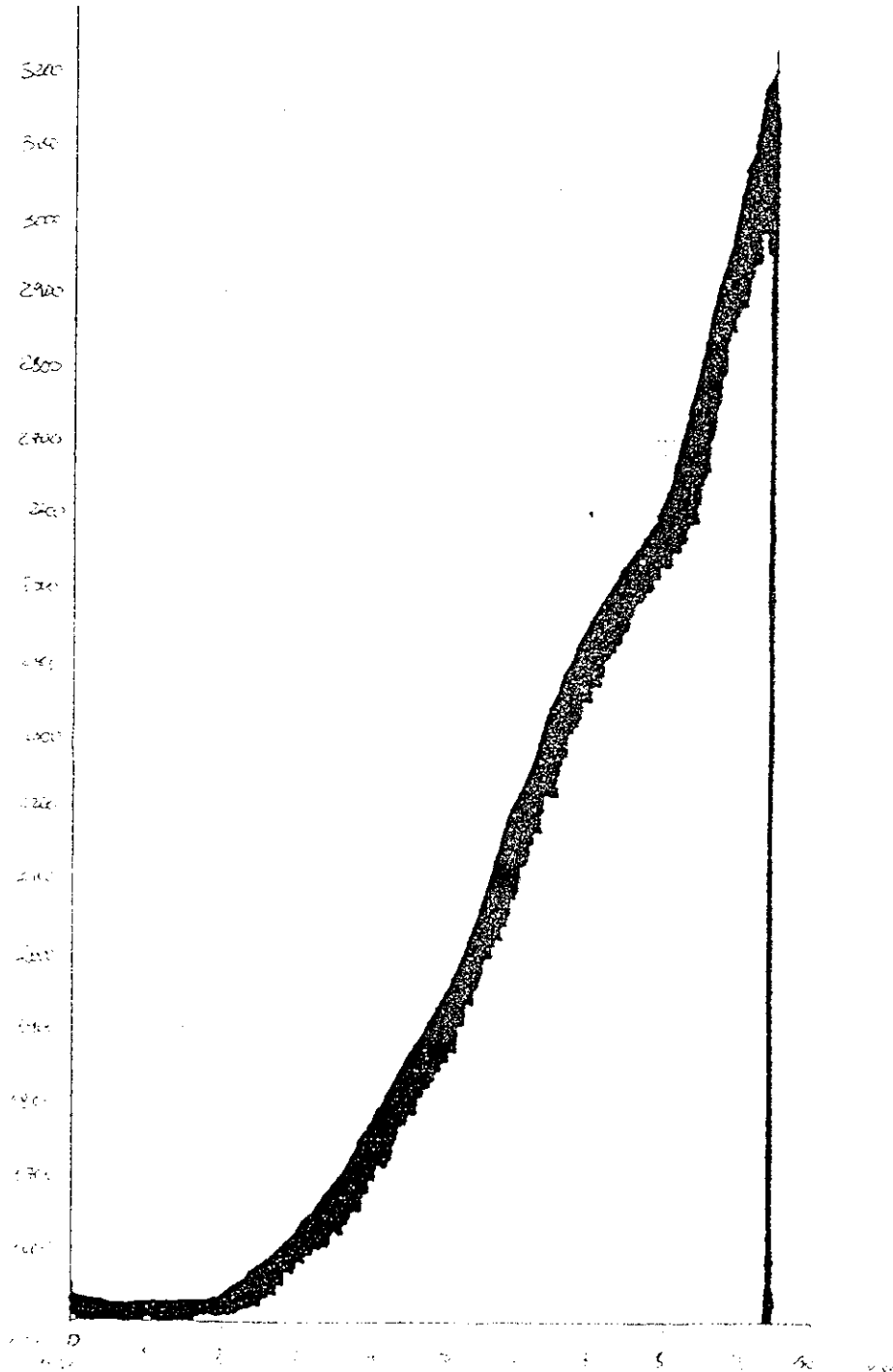
$$G_j(f) = (P_j \cos^2 \Theta) / 2f_c$$

## Apéndice 2: Perfiles del caso en Guatemala

Perfil del enlace desde la central (edif. Medico Obelisco) hasta la repetidora (volcán de Agua)



Perfil del enlace desde la repetidora (Volcán de Agua) hasta la agencia (Antigua Guatemala).



**Apéndice 3: regulaciones del FCC y ETSI para el espectro esparcido.  
Normas hondureña y colombiana.**

ty requirements of paragraph (d) of this section.

<sup>EL</sup>  
**Note:** Spread spectrum systems are sharing these bands on a noninterference basis with systems supporting critical Government requirements that have been allocated the usage of these bands, secondary only to ISM equipment operated under the provisions of Part 18 of this chapter. Many of these Government systems are airborne radiolocation systems that emit a high EIRP which can cause interference to other users. Also, investigations of the effect of spread spectrum interference to U. S. Government operations in the 902-928 MHz band may require a future decrease in the power limits allowed for spread spectrum operation.

[54 FR 17714, Apr. 25, 1989, as amended at 55 FR 28762, Jul. 13, 1990]

**§ 15.249 Operation within the bands 902-928 MHz, 2400-2483.5 MHz, 5725-5875 MHz, and 24.0-24.25 GHz**

(a) The field strength of emissions from intentional radiators operated within these frequency bands shall comply with the following:

Fundamental frequency	Field strength of fundamental (millivolts/meter)	Field strength of harmonics (microvolts/meter)
902-928 MHz	50	500
2400-2483.5 MHz	50	500
5725-5875 MHz	50	500
24.0-24.25 GHz	250	2500

(b) Field strength limits are specified at a distance of 3 meters.

(c) Emissions radiated outside of the specified frequency bands, except for harmonics, shall be attenuated by at least 50 dB below the level of the fundamental or to the general radiated emission limits in § 15.209, whichever is the lesser attenuation.

(d) As shown in § 15.35(b), for frequencies above 1000 MHz, the above field strength limits are based on average limits. However, the peak field strength of any emission shall not exceed the maximum permitted average limits specified above by more than 20 dB under any condition of modulation.

(e) Parties considering the manufacture, importation, marketing or operation of equipment under this section

should also note the requirement in § 15.37(d).

[54 FR 17714, Apr. 25, 1989, as amended at 55 FR 25095, June 20, 1990]

(1) Field strength limits are specified at a distance of 3 meters.

(2) Emissions radiated outside of the specified frequency bands, except for harmonics, shall be attenuated by at least 50 dB below the level of the fundamental or to the general radiated emission limits in § 15.209, whichever is the lesser attenuation.

(3) The emission limits shown in the above table are based on measurement instrumentation employing an average detector. The provisions in § 15.35 for limiting peak emissions apply.

**§ 15.247 Operation within the bands 902-928 MHz, 2400-2483.5 MHz, and 5725-5850 MHz.**

(a) Operation under the provisions of this section is limited to frequency hopping and direct sequence spread spectrum intentional radiators that comply with the following provisions:

(1) Frequency hopping systems shall have hopping channel carrier frequencies separated by a minimum of 25 kHz or the 20 dB bandwidth of the hopping channel, whichever is greater. The system shall hop to channel frequencies that are selected at the system hopping rate from a pseudorandomly ordered list of hopping frequencies. Each frequency must be used equally on the average by each transmitter. The system receivers shall have input bandwidths that match the hopping channel bandwidths of their corresponding transmitters and shall shift frequencies in synchronization with the transmitted signals.

(i) Frequency hopping systems operating in the 902-928 MHz band shall use at least 50 hopping frequencies. The maximum allowed 20 dB bandwidth of the hopping channel is 500 kHz. The average time of occupancy on any frequency shall not be greater than 0.4 seconds within a 20 second period.

(ii) Frequency hopping systems operating in the 2400-2483.5 MHz and 5725-5850 MHz bands shall use at least 75 hopping frequencies. The maximum 20 dB bandwidth of the hopping channel is 1 MHz. The average time of occupancy on any frequency shall not be greater than 0.4 seconds within a 30 second period.

(2) For direct sequence systems, the minimum 6 dB bandwidth shall be at least 500 kHz.

(b) The maximum peak output power of the transmitter shall not exceed 1 Watt. If transmitting antennas of directional gain greater than 6 dBi are used, the power shall be reduced by the amount in dB that the directional gain of the antenna exceeds 6 dBi.

(c) If any 100 kHz bandwidth outside these frequency bands, the radio frequency power that is produced by the modulation products of the spreading sequence, the information sequence and the carrier frequency shall be either at least 20 dB below that in any 100 kHz bandwidth within the band that contains the highest level of the desired power or shall not exceed the general levels specified in § 15.209(a), whichever results in the lesser attenuation. All other emissions outside these bands shall not exceed the general radiated emission limits specified in § 15.209(a).

(d) For direct sequence systems, the transmitted power density averaged over any 1 second interval shall not be greater than 8 dBm in any 3 kHz bandwidth within these bands.

(e) The processing gain of a direct sequence system shall be at least 10 dB. The processing gain shall be determined from the ratio in dB of the signal to noise ratio with the system spreading code turned off to the signal to noise ratio with the system spreading code turned on, as measured at the demodulated output of the receiver.

(f) Hybrid systems that employ a combination of both direct sequence and frequency hopping modulation techniques shall achieve a processing gain of at least 17 dB from the combined techniques. The frequency hopping operation of the hybrid system, with the direct sequence operation turned off, shall have an average time of occupancy on any frequency not to exceed 0.4 seconds within a time period in seconds equal to the number of hopping frequencies employed multiplied by 0.4. The direct sequence operation of the hybrid system, with the frequency hopping operation turned off, shall comply with the power densi-

DRAFT SEPTEMBER 1991

## 1 GENERAL

## 1.1 Scope of specification

This specification covers the minimum performance requirements for low power devices operating in the frequency bands 2.445 to 2.455 GHz, 2.445 to 2.475 GHz, 10.577 to 10.597 GHz, 10.675 to 10.699 GHz, 24.150 to 24.250 GHz, 24.250 to 24.350 GHz and 31.80 to 33.40 GHz. It does not necessarily include all characteristics which may be required by a user, nor does it necessarily represent the maximum performance achievable.

Within the designated frequency bands the following applications shall be employed:

	<u>Frequency Band</u>	<u>Application</u>
(1)	2.445 to 2.455 GHz	Field disturbance and doppler apparatus for general applications. Short range data links within buildings.
(2)	2.445 to 2.475 GHz	Apparatus designed solely for the purpose of providing a wire free data link interconnection between computers and terminals, and computers or terminals and peripheral devices, for indoor applications within one building, and employing direct sequence or frequency hopping spread spectrum modulation.
(3)	10.577 to 10.597 GHz	Field disturbance and doppler apparatus designed solely for outdoor use.
(4)	10.675 to 10.699 GHz	Field disturbance and doppler apparatus designed solely for indoor use. Short range data links within buildings.
(5)	24.150 to 24.250 GHz	Field disturbance and doppler apparatus designed solely for use at a fixed location.
(6)	24.250 to 24.350 GHz	Field disturbance and doppler apparatus designed solely for use in a mobile application.
(7)	31.80 to 33.40 GHz	Field disturbance and doppler apparatus used as anti-collision devices.

For the purposes of this specification the transmission of video images is not permitted.

DRAFT SEPTEMBER 1991

## 1.5 Construction

Transmitters and receivers may be as individual or combination units but must include their power sources or supply units. The equipment shall be combined with its antenna(s). Ancillary inputs may be utilised provided that permanently connected cables not exceeding 1.5 metres in length are used.

## 1.6 Labelling

The equipment shall be provided with a clear indication of the type number and description under which it is submitted for type testing. The type number must allow recognition of the multiple unit type of assembly. Each type number shall be unique and in the event that the testing authority finds two manufacturers have used a similar type number one manufacturer will be asked to change the type number.

## 1.7 Controls

Those controls which if maladjusted might increase the interfering potentialities of the equipment or, in particular, which might cause the equipment to operate outside the permitted frequency limits specified on the type approval certificate, shall not be easily accessible by the user.

## 1.8 Requirements for equipment employing frequency hopping spread spectrum modulation

For equipment employing frequency hopping spread spectrum modulation the sample submitted for type testing shall be capable of transmitting in all of the following modes. The method of changing mode shall be declared by the manufacturer.

- (a) Frequency hopping mode at the lowest frequency hop position only.
- (b) Frequency hopping mode at the highest frequency hop position only.
- (c) Frequency hopping mode at a frequency hop position at or near to the centre of the hop range.
- (d) Frequency hopping mode using all available hop positions.

## 1.9 Declarations by the manufacturer

When submitting an equipment for type testing the applicant shall supply the following information:

- (a) Transmitter
  - (i) Nominal frequency.
  - (ii) Oscillator frequency and the carrier generation formula.

DRAFT SEPTEMBER 1991

The equipment under test shall be coupled to the spectrum analyser by means of a coupling device (Clause 3.3) where appropriate, and the effective radiated power shall be measured under extreme test conditions (clauses 2.4.1 and 2.4.2 applied simultaneously) in accordance with clause 2.5, maintaining the test equipment settings as described in clause 4.1.4.

#### 4.1.6 Method of measurement for equipment employing direct sequence spread spectrum modulation under normal conditions

On a test site fulfilling the requirements of Clause 3.4, the equipment under test shall be placed on the support so that maximum radiation is directed towards a test antenna. The test antenna shall be connected to a power meter and the transmitter shall be switched on. The test antenna shall be orientated for the same polarisation as the equipment under test and shall be raised or lowered through the specified height range until a maximum signal level is detected on the power meter. The transmitter shall be rotated until the maximum signal is detected. It should be noted that this maximum may be a lower value than the value obtainable at heights outside the specified limits. The power level measured by the power meter shall be recorded.

The test antenna shall then be connected to a spectrum analyser. The sweep range of the spectrum analyser shall be adjusted so as to display both the minimum and maximum frequencies of the spread spectrum. The resolution bandwidth of the spectrum analyser shall be adjusted until the power level detected by the spectrum analyser is the same as that detected by the power sensor. (Where the resolution bandwidth settings available on the spectrum analyser are limited a means of interpolation between the settings shall be used).

The resolution bandwidth setting shall be recorded in the test report.

The signal level as measured by the spectrum analyser is converted into power incident at the test antenna from the gain of the test antenna, the losses associated with cables and connectors and the resolution bandwidth setting of the spectrum analyser.

The path loss between the sample under test and the test antenna is calculated as follows:

$$\text{Pathloss (dB)} = 20 \log_{10} \frac{4\pi D}{\lambda} \quad \checkmark$$

where D is the distance between the sample under test and the test antenna in metres, and  $\lambda$  is the wavelength of the transmission being measured in metres. From the incident power at the test antenna, the calculated path loss and the losses associated with cables and connectors the maximum equivalent isotropically radiated power can be obtained.

A measurement should be made at other planes of polarisation to ensure that the value obtained above is the maximum. If larger values are obtained this fact shall be recorded

This measurement shall be repeated for any alternative antenna supplied by the manufacturer.

## DRAFT SEPTEMBER 1991

This method does not apply to equipment employing frequency hopping spread spectrum modulation. The method of measurement for equipment employing frequency hopping spread spectrum modulation is given in clause 4.3.3.

On a test site fulfilling the requirements of clause 3.4 the equipment under test shall be placed at the specified height on the support. The transmitter shall be operated where possible without modulation at the carrier power determined in clause 4.1.

Radiation of any spurious components shall be detected by the test antenna and spectrum analyser, over the frequency range 25 MHz to 10 GHz for equipment operating in the bands below 10 GHz and 25 MHz to twice the operating frequency for equipment operating in bands above 10 GHz.

At each frequency at which a component is detected the sample shall be rotated to obtain the maximum response and the effective radiated power of that component determined.

The measurement shall be repeated with the test antenna in the orthogonal polarisation plane.

The measurements shall be repeated with the transmitter modulated by the normal test signal where appropriate (clause 3.1).

The measurements shall be repeated for any alternative antenna which can be supplied by the manufacturer.

#### 4.3.3 Method of measurement for equipment employing frequency hopping spread spectrum modulation

The equipment under test shall be arranged in the manner described in clause 4.1.4. The transmitter shall be switched on and adjusted such that it transmits in the hopping mode on the frequency hop position at or near to the centre of the hop range.

Radiation of any spurious components shall be detected by the test antenna and spectrum analyser, over the frequency range 25 MHz to 10 GHz for equipment operating in the bands below 10 GHz and 25 MHz to twice the operating frequency for equipment operating in bands above 10 GHz.

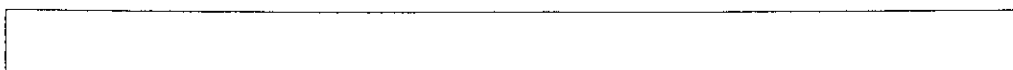
At each frequency at which a spurious component is detected the transmitter shall be adjusted such that it transmits in the hopping mode using all available hop positions. The spectrum analyser shall be left in the peak hold position until no further increase in displayed spectrum is observed. The frequency at which maximum power is measured shall be the frequency of the spurious component. The signal level as measured by the spectrum analyser is converted into power incident at the test antenna using the method described in clause 4.1.4

Por el cual se reglamenta el uso de de equipos que usan la tecnica de espectro ensanchado (Spread Spectrum) para la transmisión de datos.

## EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA

En ejercicio de sus facultades Constitucionales y Legales, en especial las que le confiere el numeral 11 del artículo 189 de la Constitución Política, y,

### CONSIDERANDO



### DECRETA

#### Artículo 1º.- DEFINICIONES

Para los efectos del presente Decreto adoptanse las siguientes definiciones:

#### SISTEMA DE ESPECTRO ENSANCHADO -SPREAD SPECTRUM-

Son aquellos sistemas de transmisión que amplían el ancho de banda de la señal a transmitir, hasta valores considerablemente mayores a los del ancho de banda original, de forma que ocupan mas espacio electromagnético de lo que se podría necesitar en señales de banda angosta, trayendo como resultado que la cantidad de densidad de potencia presente en cualquier punto dentro de la señal ensanchada es muy pequeña, es decir, son sistemas que esparcen la energía de la señal sobre un espectro mucho mas amplio de la que ocuparía una señal de banda angosta.

#### SISTEMA DE SECUENCIA DIRECTA -DIRECT SEQUENCE- DS

Son aquellos sistemas de espectro ensanchado que subdividen el intervalo de duración de un bit de información en intervalos de tiempo mas pequeños, es decir, los datos modulan la secuencia digital pseudoaleatoria cuya velocidad en bits es mucho mayor que la de la información.

#### SISTEMA DE CONMUTACION DE FRECUENCIAS -FREQUENCY HOPPING- FH

Son aquellos sistemas de espectro ensanchado que emplean una conmutación automática de un conjunto de frecuencias. La selección de frecuencias se realiza en forma pseudoaleatoria.

Por el cual se reglamenta el uso de de equipos que usan la técnica de espectro ensanchado (Spread Spectrum) para la transmisión de datos.

---

#### SISTEMAS HIBRIDOS

Son aquellos sistemas de espectro ensanchado que utilizan una combinación de las dos técnicas anteriores, DS Y FH.

#### GANANCLIA DEL PROCESO

Es el principal parámetro de los sistemas de espectro ensanchado, y se define como la relación de ancho de banda de la señal con espectro ensanchado con el ancho de banda de la información de la señal de banda base. Está directamente relacionada con la longitud del código pseudoaleatorio (N) para los sistemas DS; y con el número de frecuencias utilizadas (M) en los sistemas FH.

#### ULTIMO KILOMETRO

Para efectos del presente Decreto se entiende por solución de último kilómetro, los enlaces cuya distancia máxima sea hasta 10 kilómetros.

#### Artículo 2º.- CARACTERISTICAS TECNICAS

Los equipos deben satisfacer por lo menos las siguientes características:

##### POTENCIA MAXIMA DE TRANSMISION

No podrá exceder a un vatio (1Watt), 30dBm.

##### GANANCLIA MINIMA DE LA ANTENA Y DIRECTIVIDAD DEL ENLACE

Sólo podrán ser usados en enlaces punto a punto y las antenas que usen deberán radiar un máximo de potencia efectiva isotrópica igual a 6dBw, -dBi=6dBw-

##### MAXIMA DENSIDAD ESPECTRAL DE POTENCIA

No debe ser superior a +8dBm en un ancho de banda de (3) KHZ.

##### GANANCLIA DE PROCESO

Debe ser al menos de 10dB.

##### TIEMPO MAXIMO DE PERMANENCIA EN EL AIRE

la permanencia en el aire de las frecuencias que conforman el código para el caso FH no podrá ser mayor de 400 milisegundos.

##### ANCHO DE BANDA MINIMO

El ancho de banda mínimo que debe ocupar ocupar una señal de espectro ensanchado es de 500 KHZ.

#### Artículo 3º.- BANDAS DE OPERACION

Resérvanse para el servicio de espectro ensanchado las bandas de frecuencia:

Por el cual se reglamenta el uso de de equipos que usan la técnica de espectro ensanchado (Spread Spectrum) para la transmisión de datos.

902\_ MHz a 928        MHz  
 2400 MHz a 2483.5    MHz  
 5225 MHz a 5850       MHz

para el servicio de espectro ensanchado.

PARAGRAFO El Ministerio de Comunicaciones no garantizará la operación de estos sistemas en bandas compartidas con los sistemas que el Ministerio autorice o se encuentren en funcionamiento en banda angosta.

#### Artículo 4º.- DERECHOS TARIFARIOS

Los beneficiarios de la autorización cancelarán por enlace y por cada año, dentro de los 30 días siguientes a la notificación de la Resolución de autorización, o la legalización del contrato de concesión, como derechos por la utilización en forma compartida del espectro, la suma que resulte de la aplicación de la fórmula:

DERECHOS ANUALES [S]= AB[MHZ]\*V[Kbit/seg]\*SMLM[S] /400, donde,

AB: Ancho de Banda en MHZ  
 V: Velocidad de transmisión en Kbits/segundo  
 SMLM: Salario mínimo mensual legal en pesos  
 \* Signo de multiplicación

#### Artículo 5º.- SANCIONES

El Ministerio de Comunicaciones podrá ordenar retirar el enlace de un sistema de espectro ensanchado, si se comprueba que interrumpe el funcionamiento (la relación S/N -Señal a ruido-, cae por debajo del umbral) de un sistema de banda angosta debidamente autorizado en una frecuencia específica.

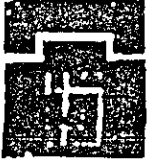
Artículo 6º.- Las multas por incumplimiento de las normas técnicas o del presente reglamento no serán inferiores a diez (10) salarios mínimos legales mensuales vigentes.

Artículo 7º.- El establecimiento uso o explotación de enlaces utilizando tecnología de espectro ensanchado sin el cumplimiento de lo establecido en el presente Decreto dará lugar a las acciones y sanciones previstas en los artículos 50 y 53 del Decreto Ley 1900 de 1990.

Artículo 8º Los equipos que usen la técnica de espectro ensanchado lo harán como solución temporal a soluciones de último kilómetro o como enlaces de redes privadas o públicas.

Artículo 9º.-El presente Decreto rige a partir de su expedición

PUBLIQUESE Y CUMPLASE



# HONDUTEL

EMPRESA HONDUREÑA DE TELECOMUNICACIONES

APARTADO POSTAL:  
TEL:  
TELEX:  
FAX:

RESOLUCION No. \_\_\_\_\_

LA GERENCIA GENERAL DE LA EMPRESA HONDUREÑA DE  
TELRCOMUNICACIONES, HONDUTEL, Tegucigalpa, M.D.C., 17 de marzo de  
1993.

CONSIDERANDO:

1. Que es responsabilidad de esta Gerencia General Planificar, administrar, regular y controlar el uso racional del espectro radioeléctrico en forma eficaz, eficiente y oportuna.
2. Que los sistemas que utilizan técnicas de Espectro Ensanchado se caracterizan por las transmisiones de baja densidad de potencia que minimizan la posibilidad de interferencia.
3. Que tales características permiten mejorar considerablemente la eficiencia en el uso del espectro, aliviar la congestión de segmentos del mismo destinados a otros usos, promover nuevas aplicaciones tales como la comunicación de datos.
4. Que estos sistemas por su modalidad de operación permiten simplificar los procedimientos de Gestión de Frecuencias.
5. Que existen tecnologías que permiten la eficaz utilización de esta técnica.

POR TANTO:

En uso de las facultades que la Ley le confiere y en aplicación de los artículos 4, letras a y b y 29 de la Ley Orgánica de la Empresa Hondureña de Telecomunicaciones, 1, 2 y 28 inciso o) de su Reglamento General.

RESUELVE:

Aprobar el REGLAMENTO PARA LA INSTALACION Y OPERACION DE SISTEMAS DE ESPECTRO ENSANCHADO y sus anexos.



## REGLAMENTO PARA SISTEMAS DE ESPECTRO ENSANCHADO

### 1.- ALCANCE

El presente Reglamento se aplica exclusivamente a sistemas del servicio fijo y sistemas con terminales móviles en espacios limitados.

### 2.- BANDAS DE FRECUENCIAS

902 - 928 MHZ  
2400 - 2483.5 MHZ  
5725 - 5850 MHZ

Esta numeración no es exhaustiva.- Toda solicitud que no esté comprendida dentro de las mismas será considerada por el procedimiento pertinente

### 3.- CONDICIONES DE OPERACION

3.1 La operación del sistema está condicionada a no causar interferencia perjudicial a otros sistemas debidamente autorizados.- Asimismo no estará protegido contra las interferencias provenientes de otros sistemas autorizados.

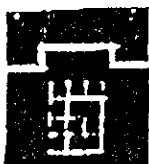
3.2 Se deberá suspender la operación de estos sistemas ante una denuncia de interferencia causada por la misma y debidamente comprobada.- Dicha operación no podrá reanudarse hasta que se haya subsanado la interferencia en cuestión.

### 4.- REQUERIMIENTOS DE LOS EQUIPOS.

Los equipos deberán cumplir con las normas técnicas adjuntas en el Anexo I del presente Reglamento.

### 5.- AUTORIZACION

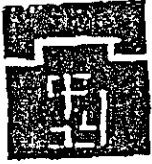
La operación de estos sistemas quedará sujeta a la autorización pertinente mediante la presentación de la documentación necesaria incluida en el Anexo II.



## 7.- INFORME TECNICO

Para la inscripción en HONDUTEL, se adjuntará la documentación técnica y administrativa solicitada, un informe con mediciones de los parámetros especificados y descripciones adicionales. Estas son:

1. Potencia radiada aparente. (máximo 8 dBW)
2. Potencia de crista (máximo: 1 W)
3. Gráfico del ancho de banda ocupado.
4. En los intervalos de frecuencia de mayor densidad de potencia la resolución espectral será de 100 kHz.
5. Gráfico de densidad de potencia (secuencia directa) idem (4) con resolución de 3 kHz.
6. Gráfico de emisiones no deseadas, en todo el espectro hasta por lo menos la primera armónica de la emisión fundamental, medido con resolución espectral de 100 kHz. (Los gráficos espectrales deben presentar los niveles de señal en valor absoluto.- Constando el ancho de banda de resolución utilizado, la banda barrida, y la velocidad de barrido)
7. Ganancia de procesamiento en sistemas de secuencia directa.- Se determinará como el cociente en dB entre las relaciones señal a ruido con el sistema de ensanchamiento activado y desactivado respectivamente, medidas en la salida demodulada del receptor.  
  
Cuando no sea posible medir la ganancia de procesamiento por dificultades de orden práctico, estas deberán explicarse claramente.- En tal caso será necesario presentar una descripción detallada del proceso de ensanchamiento que permita deducir la ganancia de procesamiento del equipo.
8. Para sistemas por salto de frecuencia se presentará una descripción detallada del proceso de ensanchamiento, con las frecuencias extremas de salto, el número de frecuencias, el ancho de banda de 20 dB del canal de salto, la separación entre canales, el tiempo empleado en cada secuencia aleatoria y el tiempo promedio de permanencia en cada frecuencia.



# HONDUTEL

EMPRESA HONDUREÑA DE TELECOMUNICACIONES

APARTADO POSTAL:  
TELE:  
TELEX:  
FAX:

## A N E X O I

### NORMAS TECNICAS

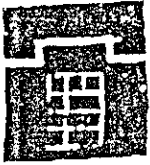
#### ELEMENTOS QUE INTEGRAN UN SISTEMA DE ESPECTRO ENSANCHADO

- 1.- Frecuencias de operación: Dentro de las bandas atribuidas en el presente Reglamento para sistemas de Espectro Ensanchado.
- 2.- Potencia Máxima del Transmisor: 1 Watt
- 3.- Potencia radiada aparente máxima: 6 dBW
- 4.- Sistemas por secuencia directa:
  - 4.1. Anchura de Banda de la Emisión: No menor de 500 kHz para una atenuación de 6 dB.
  - 4.2. Densidad de Potencia Transmitida: No debe exceder 8 dBm para cualquier banda de 3 kHz, dentro del espectro de emisión.
  - 4.3. Ganancia de Procesamiento: Será como mínimo 10 dB
- 5.- Sistemas por salto de Frecuencia:
 

Se requiere un mínimo de cincuenta frecuencias de salto con una anchura de canal no menor de 25 kHz.- El tiempo de permanencia promedio sobre cada frecuencia debe ser igual para todas, no debiendo exceder de 0.4 segundos por cada periodo de recorrido de la serie pseudoaleatoria de frecuencias.

#### 6.- EMISIONES NO DESEADAS

- a) Emisiones fuera de banda dependientes de la modulación: toda potencia comprendida en un ancho de banda de 100 kHz deberá estar atenuada por lo menos 20 dB respecto de la comprendida en igual intervalo dentro de la banda deseada; o bien lo requerido en b) (la menor atenuación de ambas).
- b) Emisiones no esenciales: según lo establecido por el Reglamento de Radiocomunicaciones, Apéndice 8.



# HONDUTEL

EMPRESA HONDUREÑA DE TELECOMUNICACIONES

APARTADO POSTAL:

TELE:

TELEFX:

FAX:

## A N E X O I I

### FORMULARIO PARA REGISTRO DE SISTEMAS DE ESPECTRO ENSANCHADO.

TIPO DE SISTEMA	
RECINTO LIMITADO	PUNTO A PUNTO/MULTIPUNTO
No. DE TERMINALES: _____	No. DE ESTACIONES: _____

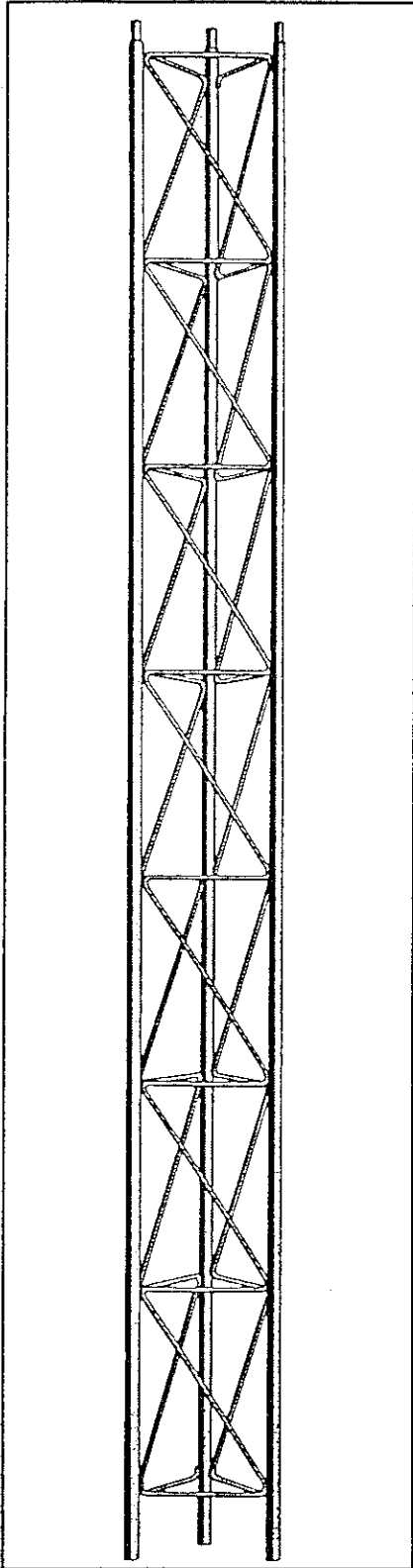
UBICACION DE LAS ESTACIONES			
DIRECCION	CIUDAD	COORDENADAS GEOGRAFICAS	
		LATITUD	LONGITUD
1. _____	_____	_____	_____
2. _____	_____	_____	_____
3. _____	_____	_____	_____
4. _____	_____	_____	_____
5. _____	_____	_____	_____
6. _____	_____	_____	_____
7. _____	_____	_____	_____

CARACTERISTICAS DE LAS ESTACIONES			
BANDA DE OPERACION (MHz)	902-928	2450-2483.5	5726-5850
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ANCHO DE BANDA (MHz): _____			
POTENCIA RADIADA APARENTE (dBW): _____	(MAXIMO 8 dBW)		
VELOCIDAD DE TRANSMISION (bps): _____			
MARCA : _____			
MODELO: _____			
OBSERVACIONES: _____			

SOLICITANTE: _____	
FIRMA REPRESENTANTE TECNICO: _____	
APODERADO LEGAL: _____	
	NUMERO DE SOLICITUD: _____

LA OPERACION DEL SISTEMA ESTA CONDICIONADA A NO CAUSAR INTERFERENCIA A OTROS SISTEMAS AUTORIZADOS SIMILARES

**Apéndice 4: Especificaciones de los equipos utilizados en el caso de Guatemala.**



## ROHN.

6718 West Plank Road  
P.O. Box 2000  
Peoria, Illinois 61656 USA  
PH: 309-697-4400  
FAX: 309-697-5612

## GENERAL USE

The 25G is a general purpose communications or heavy duty T.V. tower which will satisfy a wide range of needs.

## DESIGN

The 25G is built on a 12-1/2" equilateral triangular design with continuous steel Zig-Zag® cross bracing, entirely electrically welded and fabricated in precision equipment. The 8 Zig-Zag braces per 10' section mean more than usual strength for a structure of this size. The ROHN 25G is at least 33% stronger and far more durable than similar size and type towers found on the market today. At the same time, the ROHN production system means lower costs...giving you a tower actually costing less than some other towers.

## CONSTRUCTION

The 25G is an extraordinarily rugged structure, with extra heavy-duty 1-1/4" steel tubing side rails, and continuous steel solid rod bracing electrically welded throughout. Superior strength has always been foremost in ROHN towers, achieved by setting high standards for all steel used. These standards are constantly maintained by scientific testing according to accepted laboratory procedures, resulting in a level of quality which never varies!

## FINISH

Every 25G receives the ROHN Hot Dip Galvanized long life finish, the most durable and efficient corrosion protection known. The tower sections, as well as accessories, are completely hot dip galvanized, both inside and out after fabrication to protect all points of construction and welding against corrosion. The galvanizing also provides an attractive and long lasting finish.

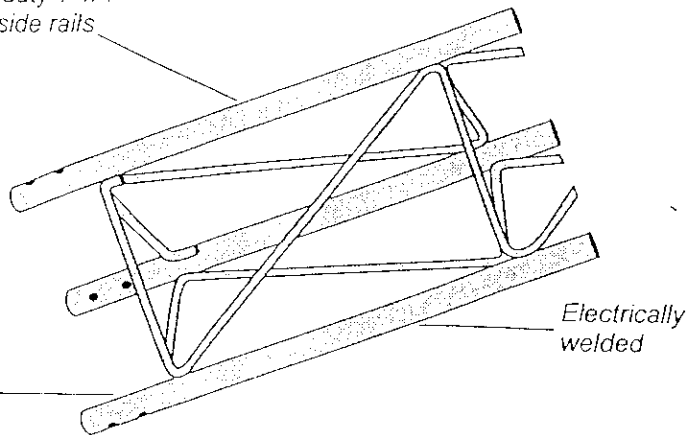
## SPECIAL FEATURES

The 25G is available both in the standard 10' section length and a special 7' length which is UPS shippable. The 25G uses double bolted joints...proven the best method of joining tower sections for sturdiness and dependability. The extra strength of the No. 25G allows it to be self supporting providing a house bracket is used, and under normal conditions the 25G can rise 35 feet above this bracket. Under most guyed conditions the 25G is suitable to heights of 190 feet. When special conditions or unusual antenna loadings must be met, we suggest you contact the sales department for complete information.

Assembly bolts and nuts are located within 1 leg of the tower section.

Extra heavy-duty 1-1/4"  
steel tubing side rails

Double  
bolted  
section  
joints for  
high  
strength

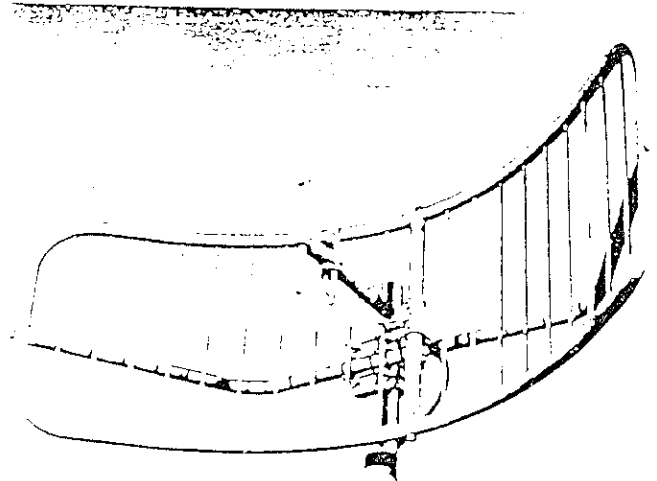


Section length is 10' or 7'

POST OFFICE BOX 4580  
MEDFORD, OREGON 97501  
(503) 779-6500

# MF-960 MINIFLECTOR™

NEW!  
MF-960B  
MEETS CATEGORY B  
VERTICALLY POLARIZED



## APPLICATIONS:

- AURAL BROADCAST STL
- TELEMETRY
- POINT-TO-POINT COMMUNICATIONS

## ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Frequency Range:	928 to 953 MHz (Broadband) 940 to 960 MHz
Impedance:	50 ohms
Gain (over dipole):	14 db
Maximum VSWR:	1.3:1
Front-to-Back Ratio:	23 db
Polarization:	V
Termination:	Type N Female (mates with UG-21U)

## MECHANICAL SPECIFICATIONS

Net Dimensions:	16" x 18" x 46½"
Net Weight:	12 pounds
Shipping Dimensions:	16½" x 18½" x 47" (Approx. 8.3 cu. ft.)
Shipping Weight:	16 pounds
Wind Load:	137 pounds (100 MPH with ¼" radial ice)

# Technical Specifications

MODEL NUMBER	SSH-9A72GN	
FREQUENCY BAND	940-960 MHZ	702 - 728
MID BAND GAIN	20.0 dBi	
HALF POWER BEAMWIDTH (HORIZONTAL)	19	
	(VERTICAL)	10
F/B RATIO	(HORIZONTAL)	24
	(VERTICAL)	29
CROSS POLE	(HORIZONTAL)	28
	(VERTICAL)	21
VSWR (20 MHz BANDWIDTH) (SPOT FREQUENCY)	1.3:1	
	1.1:1	
TERMINATION	N FEMALE (UG-58)	
MAXIMUM POWER	300 WATTS	
WEIGHT (INCLUDES FEED AND MOUNT)	30 POUNDS	
OUTSIDE DIMENSIONS	36" X 72"	
DEPTH	36"	
PACKAGE DIMENSIONS (BOXED)	38" X 29½" X 11" 45#	
WIND SURVIVAL	150 MPH	
WIND OPERATION (WITH 1" RADIAL ICE)	70 MPH	

## RADIATION SYSTEMS INC.

RADIATION SYSTEMS INC.

MARANTENNAS DIVISION

TECHNICAL PRODUCTS DIVISION

ELECTROMECHANICAL DIVISION

703-456-6680

708-298-9420

703-456-6680

813-561-6680

SATCOM TECHNOLOGIES DIVISION

UNIVERSAL ANTENNAS DIVISION

SATELLITE NETWORK ANTENNAS DIVISION

404-246-8888

214-696-8888

513-733-1500