



FACULTAD DE INGENIERÍA

“Diseño y Cálculo de Enlaces  
mediante el uso de equipos  
de tecnología de Espectro Disperso  
(Spread Spectrum)”

Tesis que para obtener el Título de  
Ingeniero Mecánico Electricista  
Area: Eléctrico - Electrónico  
PRESENTAN

Avila Marrón Octavio Antonio  
Gómez González Luis Alberto

Director de Tesis:  
Ing. Gustavo Adolfo Olivos Rojas



México, D.F. Mayo, 2004.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **OBJETIVO:**

Como futuros profesionistas y pensando en la contribución que debemos tener hacia la sociedad mexicana como egresados de la Universidad Nacional Autónoma de México, es nuestro deseo proponer este trabajo de tesis (investigación), influenciados principalmente en las necesidades de comunicación que demanda hoy en día el mundo entero y principalmente nuestro país; es de todos conocido que la mayor parte de los problemas que se presentan en la vida cotidiana en el ramo de las comunicaciones inalámbricas en México, que es la sociedad en la cual deseamos participar, están en gran parte relacionados con la mala administración del espectro, provocando la saturación del mismo, aunado también a los problemas económicos que se viven en el país; esto significa que, para que la sociedad haga uso de las nuevas tecnologías, es necesario invertir en equipo de comunicaciones con tecnología de punta y en el caso de las comunicaciones inalámbricas solicitar permisos y pagar renta por el uso de alguna frecuencia del espectro, por lo tanto, la obtención de un permiso para utilizar alguna porción del espectro resulta para una persona o sociedad mercantil un gasto extra que en la mayoría de las ocasiones no puede ser solventado; es aquí donde nuestro proyecto participa, ya que deseamos ofrecer una solución a la sociedad mexicana apoyándonos en la tecnología del Espectro Disperso, pues dicho tipo de modulación nos permite establecer enlaces que trabajan a frecuencias que no representan ningún costo extra ya que no es necesario solicitar permisos especiales o bien pagar una renta por el uso de alguna frecuencia puntual ya que lo único que se debe realizar es elaborar un aviso a la COFETEL, y establecer el enlace. Nuestro trabajo de investigación consistirá básicamente en presentar un método para la realización del diseño de enlaces con equipo que utiliza la tecnología de Espectro Disperso.

## INDICE

Capítulo I	1
<b>Conceptos Básicos</b>	
*Comunicaciones inalámbricas (ventajas y desventajas)	
*Espectro de frecuencias	
*Métodos de transmisión más comunes	
<b>Capítulo II</b>	<b>11</b>
<b>Propagación</b>	
*Propagación de ondas electromagnéticas	
*Propagación en el espacio libre	
*Propagación en un medio real (refracción, difracción, reflexión, propagación sobre una tierra curva, zonas de fresnel, absorción atmosférica, atenuación por lluvia)	
<b>Capítulo III</b>	<b>32</b>
<b>Espectro Disperso (Spread Spectrum)</b>	
*Conceptos básicos	
*Secuencia directa	
*Saltos de frecuencia	
*Saltos de tiempo	
*Generación y detección de señales de espectro disperso	
*Aplicaciones de espectro disperso a las comunicaciones (acceso múltiple, eficiencia de energía, identificación de señales, códigos de detección de error)	
<b>Capítulo IV</b>	<b>69</b>
<b>Equipos disponibles en el mercado nacional</b>	
*Frecuencias de operación	
*Capacidades de transmisión	

\*Cumplimiento de regulaciones y recomendaciones

\*Interfaces de los puertos E/S para interconexión con equipo de usuario

## **Capítulo V**

**79**

### **Metodología para el diseño del enlace**

\*Ubicación geográfica de los puntos a conectar

\*Determinación del perfil de la ruta

\*Cálculo de la altura de las antenas

\*Determinación del punto de reflexión

\*Cálculos de enlace (nivel de umbral, tipo de antena a emplear, potencias disponibles, líneas de transmisión, ecuación para el cálculo del enlace)

\*Metodología de diseño (identificación de los requerimientos del usuario, selección de la banda de frecuencias a emplear, selección del tipo de antena y equipo de transmisión, realización de los cálculos de ruta y enlace, instalación y pruebas)

## **Capítulo VI**

**109**

### **Ejemplo de un enlace real**

\*Aplicación de la metodología, evaluación de la metodología propuesta

### **Conclusiones**

### **ANEXOS**

### **BIBLIOGRAFÍA**

Ing. Gustavo:

Le queremos agradecer la confianza depositada en nosotros para la realización de este trabajo de tesis así como su apoyo y dirección para la realización del mismo. No tenemos palabras para agradecerle.

Gracias, Luis Alberto y Octavio

Gracias DIOS porque a través del sacrificio y sufrimiento de tu hijo me mostraste todo lo que el hombre debe de enfrentar durante la vida para lograr poco a poco sus metas y autorealizarse física y espiritualmente.

A MI PADRE:

Gracias por los consejos que me has dado en la vida.

A MI MADRE:

Tarde pero por fin cumplí la promesa que te hice, Mamá te quiero; sin ti y sin tu apoyo incondicional nunca lo hubiera logrado siempre estuviste a mi lado. Gracias por ser el sostén que he necesitado durante estos años.

A MI ESPOSA:

Sandra, gracias por apoyarme y motivarme, pero sobre todo gracias por la paciencia que has tenido durante estos años a mi lado como mi novia y ahora como mi esposa sin que realmente me exigieras nada. ¿Alguna vez te he dicho que te amo?

A MIS HERMANAS:

Ana Belem y Jessica por su ejemplo.

A TI JACO:

Porque junto con mi Mamá has sido consuelo de momentos muy amargos en mi vida y hoy deseo compartir contigo mi felicidad la cual es tan grande como el día en el que me casé, sabes a que me refiero. Que seas muy feliz te quiero.

A MI ABUELITA SARITA:

Porque desde el cielo me has llenado de bendiciones y a través de mi mamá me lo has hecho saber. Me hubiera dado mucho gusto tomarme un tequilita contigo para festejar.

A LUIS:

Gracias por haberme brindado la oportunidad de realizar este proyecto contigo, eres un excelente AMIGO.

*"DIOS no manda cosas imposibles, sino que, al mandar lo que manda, te invita a hacer lo que puedas y pedir lo que no puedas y te ayuda para que puedas."*

Gracias DIOS por lo que me has dado.

A MIS PADRES:

JOEL Y MARGARITA; nunca tendré palabras para agradecerles; los AMO.

A MIS HERMANOS:

JORGE Y MARICELA; con todo mi cariño.

A LAURA, mi ÁNGEL.

A MIS ABUELAS:

ROSA u

ROSENDA u

*"Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad."*

*"Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber"*

*Albert Einstein*



# CONCEPTOS BÁSICOS

## I.1 COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

Desde tiempos inmemorables el hombre ha tratado de explicarse los fenómenos que lo rodean, tratando inclusive de controlarlos y obtener un beneficio de ellos, en algunas ocasiones lo ha conseguido sin embargo, queda mucho por investigar.

Las comunicaciones existen desde que el hombre aparece en este planeta, con recordar y analizar un poco la prehistoria se encontrarán con diversas formas de comunicación, tal es el caso de las pinturas rupestres. La comunicación inalámbrica surge desde aquellas épocas, cuando el hombre utilizaba señales de humo para comunicarse, desarrollando así el primer sistema de comunicación inalámbrico y además digital, ya que de alguna manera estos eran pulsos codificados; a pesar de ello, el desarrollo de las comunicaciones inalámbricas no fue posible debido a que no se contaban con las bases necesarias para establecer el sistema como tal.

La historia de las comunicaciones ha seguido diferentes trayectorias, las cuales coinciden y divergen de acuerdo a las aplicaciones. Las cuatro principales son la telegrafía, la telefonía, la radio y los sistemas de datos; cada una de ellas ha progresado según el alcance tecnológico y las necesidades. Las telecomunicaciones utilizando señales eléctricas se iniciaron en el año de 1800, cuando Volta inventó la batería y Oersted descubrió la desviación de una brújula con el flujo de la corriente a través de un alambre; fueron muchos los investigadores que realizaron trabajos muy importantes para tener lo que hoy en día es una red de telecomunicaciones, gracias a ellos es posible contar con todas las ventajas y comodidades que estos sistemas nos brindan, es difícil imaginar lo que sería la forma de vida moderna sin el acceso a todos estos sistemas.

Faraday y Ampere realizaron estudios que dieron como resultado un primer sistema de comunicación a través de impulsos eléctricos, este sistema es una de las primeras aplicaciones de la comunicación y se le llamó Telegrafía. Este se basa principalmente en la transmisión de mensajes codificados (Morse fue quien concibió dicho código y logró un Telégrafo capaz de grabar mensajes sobre una cinta de papel) a larga distancia mediante impulsos eléctricos que circulan a través de un cable conductor William Thompson un físico inglés, fue quien se encargó de planificar el primer cable trasatlántico que conectó Europa y América. Sin embargo, no fue sino hasta que se contó con los descubrimientos y el desarrollo de la teoría electromagnética, que se dispuso de un método seguro y más económico de transmisión.

Con el progreso de las telecomunicaciones muy pronto apareció la necesidad de comunicación entre personas, en puntos distantes y utilizando una señal de voz, dando origen al teléfono y a las comunicaciones persona a persona. El teléfono fue introducido al público en Filadelfia el año de 1876 durante la exposición centenaria de los Estados Unidos de América. El responsable de transmitir la voz en forma eléctrica a través de un circuito de alambres de cobre de varias decenas de metros de longitud fue Alexander Graham Bell.

Otras necesidades de comunicación afloraron, por ejemplo: las telecomunicaciones inalámbricas. Para finales del siglo XIX Aleksandr Stepanovich Popov y Guillermo Marconi empezaron a trabajar sobre este problema, convirtiéndose en los pioneros de las radiocomunicaciones, desarrollando dispositivos capaces de recibir señales electromagnéticas además de realizar experimentos con la telefonía inalámbrica, es así como empieza la gran carrera de las comunicaciones, haciendo cada vez más eficientes los sistemas.

Tanto Popov como Marconi se basaron en los trabajos de Hertz y de Lodge, para convencerse de que las radiaciones electromagnéticas podrían emplearse para enviar información a larga distancia. Con sus inventos, la radiocomunicación evolucionó rápidamente y se empezaron a aplicar aquellos descubrimientos a la comunicación entre los barcos mercantes, estableciéndose numerosas estaciones de radio en las costas de todo el mundo, el uso de las comunicaciones se extendió a principios del siglo XX, haciendo más rápida esta evolución gracias a las aportaciones de otros científicos como Nikola Tesla, quien ya visualizaba para ese entonces el uso de las radiocomunicaciones para detectar objetos distantes (el Radar).

1850	Invencción del Telégrafo por Morse.
1874	Invencción del multiplexaje por división de tiempo por Baudot.
1876	Invencción del Teléfono por Bell.
1880	Invencción del Fotófono.
1899	Invencción de la Radio por Marconi.
1928	Descubrimiento de la Teoría del Muestreo por Nyquist.
1936	Invencción del P.C.M. por Reeves.
1948	Descubrimiento de la Teoría de la Capacidad de Canal por Shannon. Invencción del Transistor por los Laboratorios Bell.
1962	Primer cable T1 (1.544 Mb/s). Primera comunicación satelital por Bell System.
1965	Early Bird, primer satélite de comunicaciones geoestacionario por INTELSAT.
1966	Fibra óptica de bajas pérdidas, propuesta por Kao.
1980	AT&T introduce la transmisión por fibra óptica a una velocidad de datos T3.
1984	Despojo de los Sistemas Bell incrementa la competencia y acelera la introducción de la transmisión digital en los Estados Unidos.
1988	Primer cable Trasatlántico de Fibra Óptica instalado (TAT-8).
1989	Primer cable Transpacífico de Fibra Óptica instalado (HAW-4/TPC-3).
1992	Conversión de la mayoría de las redes de Estados Unidos a Transmisión digital.
1990's	Despliegue de la transmisión digital en todo el mundo como soporte para S.D.H e I.S.D.N.

Tabla 1.1      Eventos significativos en la Historia Moderna de la Transmisión Digital.

### I.1.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

El uso de las comunicaciones en nuestros días es indispensable, por lo que se han desarrollado métodos que permitan agilizar cada vez más los sistemas de comunicaciones, logrando así hacerlos más eficientes.

Para lograr lo anterior, el hombre ha tenido que librar muchos obstáculos, tratar de dominar a la naturaleza no ha sido fácil, es esta una de las razones por las que surgen las comunicaciones inalámbricas ya que en ocasiones, los cables, que en un principio utilizaba el telégrafo eran derribados por los vientos o resultaban dañados por la presencia de rayos, incluso en tiempos de guerra, los cables eran cortados como estrategias militares. Todo lo anterior representaba un gasto extra a los países y las compañías que se encargaban de prestar el servicio (postes, cable, mano de obra, etc.) ya que tenían que invertir en el material necesario para reanudar el servicio a la brevedad posible debido a la gran demanda que se tenía de éste, es así como se empieza a buscar un sistema capaz de transmitir la misma información y que además tuviera la capacidad de presentar una cierta inmunidad a los problemas que presentaban los sistemas alámbricos. Es en esta época, cuando se hace uso de la Teoría Electromagnética en una forma práctica, la cual permite lograr el objetivo al poder transmitir por medio de campos electromagnéticos, sin necesidad de cables que llevaran la información.

El uso de este tipo de tecnología ha permitido avanzar en el área de las comunicaciones de una manera muy importante, surgen así las emisiones de Radio, utilizando las técnicas de modulación que todos conocemos, surgen también los enlaces de Microondas, el uso de los Satélites Artificiales y con ellos un sin número de técnicas de modulación, una de ellas el Espectro Disperso (Spread Spectrum).

La telefonía ha hecho uso de la Fibra Óptica, por lo que ha tenido que desarrollar técnicas de modulación digital cada vez más eficientes y que puedan interconectarse en todo el mundo, aprovechando mejor el uso de las redes telefónicas; es así como surge la Red Digital de Servicios Integrados y toma más fuerza día con día, esta Red requiere de anchos de banda adecuados para los servicios que presta (voz, datos, video) de esta manera el uso de la Fibra Óptica satisface esta necesidad, debido al gran ancho de banda que se requiere para transmitir la voz, datos y el video, los sistemas inámbricos se ven más limitados, sin embargo es posible obtener estos anchos de banda, la única limitante es que se necesitan disponer del Espectro de Radiofrecuencia y este cada vez se encuentra saturado, recordemos que una de las ventajas de los sistemas inalámbricos es que los tiempos de instalación y puesta en servicio son significativamente mejores que los de los sistemas alámbricos.

Así, las soluciones de comunicación inalámbrica se están desarrollando para poder competir con las alámbricas, por ejemplo, para aplicaciones como la transferencia de datos en las oficinas, se cuenta ya con lo que podría llamarse Radio en las Redes de Área Local (RLAN), esta aplicación reduce en gran parte las dificultades de cableados entre las

computadoras de las oficinas, permitiendo a los empleados moverse libremente de una oficina a otra o facilitar las actividades de instalación de nuevos equipos.

A pesar de lo anterior, no podemos separar los Sistemas de Comunicación en Alámbricos e Inalámbricos, el uso de ambas tecnologías hace que los sistemas de telecomunicaciones sean más eficientes, ya que en algunos casos será imposible tender redes de Fibra Óptica o cualquier otro tipo de cable y en otros será también imposible realizar enlaces a través de Microondas al no contar tan solo con la Línea de Vista (Line of Sight), cabe mencionar que dentro de la Ingeniería lo que se pretende es siempre estar conciente de la relación Costo-Beneficio, de esta forma también se justificará el por qué utilizar una u otra tecnología.

## I.2. ESPECTRO DE FRECUENCIAS Y UTILIZACIÓN DE LAS DIFERENTES BANDAS

El espectro electromagnético está dividido en bandas para su estudio e identificación. El espectro se extiende desde las frecuencias de C.A. muy baja pasando por la frecuencia de la luz visible hasta la región de los rayos X y Gamma. A continuación se presenta un esquema del espectro de frecuencias:

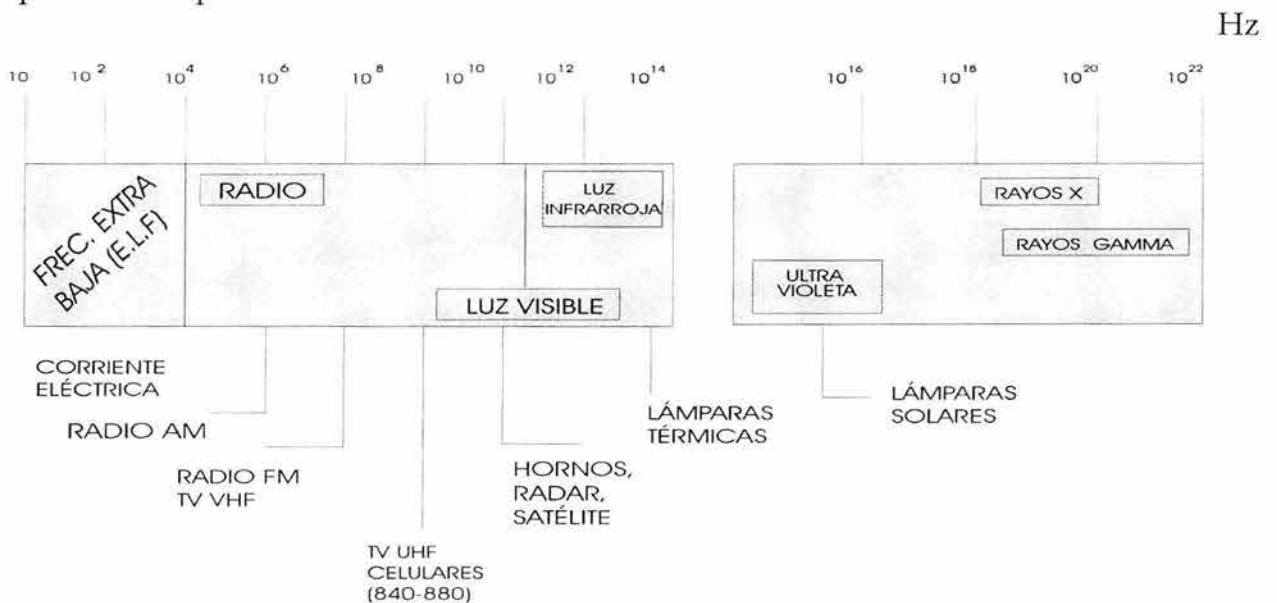


Fig. 1.1 Espectro radioeléctrico

Podemos dividir en cuatro categorías principales a la radiación electromagnética y a sus frecuencias, de la siguiente manera:

1. Ondas de radiofrecuencia de 30 KHz a 300,000 Mhz.
2. Ondas de calor o rayos infrarrojos de  $1 \times 10^{13}$  a  $2.5 \times 10^{14}$  Hz.
3. Frecuencias de luz visible de  $2.5 \times 10^{14}$  Hertz para el rojo, hasta  $8 \times 10^{14}$  Hertz para el azul y violeta.

4. Radiación ionizante como los rayos ultra violeta, rayos X, rayos Gamma y rayos cósmicos desde  $8 \times 10^{14}$  para la luz ultra violeta hasta arriba de  $5 \times 10^{20}$  Hz. para los rayos cósmicos.

Dentro de la primera categoría encontramos la siguiente subdivisión:

No DE BANDA	FRECUENCIAS	BANDA	RANGO	SUBDIVISIÓN MÉTRICA
4	MUY BAJAS	VLF	ABAJO DE 30 KHz	MIRIAMÉTRICAS
5	BAJAS	LF	30 A 300 KHz	KILOMÉTRICAS
6	MEDIAS	MF	300 A 3000 KHz	HECTOMÉTRICAS
7	ALTAS	HF	3 A 300 MHz	DECAMÉTRICAS
8	MUY ALTAS	VHF	30 A 300 MHz	MÉTRICAS
9	ULTRA ALTAS	UHF	300 A 3000 MHz	DECIMÉTRICAS
10	SUPER ALTAS	SHF	3 A 30 GHz	CENTIMÉTRICAS
11	EXTRA ALTAS	EHF	30 A 300 GHz	MILIMÉTRICAS
12	SUPER EXTRA ALTAS	SEHF	300 A 3000 GHz	SUB-MILIMÉTRICAS

Debido a las nuevas políticas mexicanas respecto a la regularización del espectro y la administración del mismo, han surgido organismos como la COFETEL (Comisión Federal de Telecomunicaciones); la COFETEL fue creada el 9 de agosto de 1996 por Decreto Presidencial publicado en el Diario Oficial de la Federación con autonomía técnica y operativa; tiene, entre sus principales objetivos, promover la competencia en el sector, dar seguridad jurídica a la inversión, formar recursos humanos especializados y controlar el acceso no discriminatorio a los servicios por parte de los usuarios. La Comisión ha establecido de manera permanente, mecanismos de coordinación con dependencias y entidades de la administración pública federal, estatal y municipal y otros organismos públicos o privados, así como con organismos internacionales y gobiernos extranjeros. Dentro de las actividades que ha desarrollado con mayor insistencia se encuentran la reorganización de las bandas de frecuencias para poder utilizar las nuevas tecnologías, este proceso esta en marcha, por lo que no se tiene completamente la nueva distribución de frecuencias, sin embargo en la página del organismo se encuentran todos los avances y la nueva asignación de frecuencias que se va teniendo, la dirección es <http://www.cofetel.gob.mx>

## I.2.1 PROBLEMA DE SATURACIÓN EN EL ESPECTRO

En realidad, la saturación del espectro radioeléctrico no es cosa nueva, siempre ha sido una carrera entre los desarrolladores de nuevas tecnologías y los encargados de regular y administrar el espectro radioeléctrico; sin embargo, llegó el momento hacia fines de los años 70s, donde la aplicación de la radiocomunicación enfrentó una enorme limitación para hacer de esta tecnología un medio de comunicación masivo, precisamente debido a las tecnologías hasta entonces disponibles, hizo que la banda de frecuencias asignada a los distintos servicios fuera cada vez menor ya que aumentaba el número de clientes en relación directa con el número de bandas disponibles para cada servicio, de tal forma que se llegaba a la total saturación del espectro disponible en un intervalo de tiempo realmente corto.

Inevitablemente la lucha por las frecuencias disponibles, ha ido de la mano con la evolución de la radiocomunicación. Por un lado los ingenieros y técnicos desarrollan nuevas aplicaciones, de mayor cobertura, más especializadas, para más aplicaciones, para más clientes, lo que se traduce en mayor uso del espectro de radiofrecuencias.

La aplicación de sistemas inalámbricos (redes) para transmisión de datos ha representado menores problemas de ocupación del espectro, debido a que pueden emplear métodos más eficientes para transmitir la información que los de voz.

Otro ejemplo claro de optimización del espectro es la Telefonía Celular, ya que puede ocupar la misma frecuencia en varias de sus células sin causar interferencia y así utilizar mejor el espectro.

Uno de los recursos naturales de los países es su espacio aéreo, no sólo para la navegación, sino para su utilización como medio transmisor de las ondas electromagnéticas. Se trata de un medio finito que hasta ahora, gracias a las nuevas tecnologías se ha podido emplear cada vez con mayor eficacia, para llevar las ventajas de la radiocomunicación a los mercados masivos. Sin embargo, el reto para los reguladores es poder visualizar los futuros desarrollos de la tecnología y determinar ahora la mejor distribución y explotación de ese recurso, al asignar correctamente las frecuencias para los diferentes servicios inalámbricos, para estimular las inversiones a largo plazo y a la vez equilibrar las necesidades nacionales con los desarrollos de nuevos productos y el respeto a los convenios internacionales para el uso del espacio aéreo universal.

En México, la necesidad de contar con recursos cada vez mejor calificados en esta materia se hace más y más urgente. La velocidad con la que las tecnologías se están desarrollando y la apertura a nuevos operadores y prestadores de servicios en el país pueden fácilmente rebasar la capacidad de respuesta de las autoridades encargadas de la regulación.

## I.3. MÉTODOS DE TRANSMISIÓN COMÚNMENTE UTILIZADOS

### I.3.1 RADIOENLACES

Los enlaces de comunicación a base de Radio Frecuencias (o comúnmente RF) han sido utilizados durante muchos años como una solución que ofrece conectividad punto-punto y punto-multipunto en aplicaciones a baja velocidad. Tradicionalmente estas aplicaciones han sido utilizadas con anchos de banda angostos con aplicaciones limitadas y con frecuencias disponibles, siendo esta una buena solución.

La mayoría de las telecomunicaciones por medio de las ondas de radio están basadas en la transmisión de una onda continua de frecuencia o amplitud fija definida como la portadora. La información, por ejemplo voz o datos, es impresa en la onda portadora por medio de la variación de la amplitud, frecuencia o la fase (o la combinación de algunas de ellas), este proceso se le conoce como modulación. Las formas más comunes de la modulación análoga son la Modulación en Amplitud y la Modulación en Frecuencia. Actualmente una serie de modulaciones de tipo digital están bajo consideración para el desarrollo y la implantación de los futuros servicios de telecomunicaciones móviles.

La onda portadora entonces constituye el circuito de comunicación en un radioenlace. Las primeras comunicaciones de radio móvil eran del tipo simplex, donde sólo un participante podía hablar en un momento dado. El uso de dos frecuencias es la forma más fácil de implantar una operación duplex, lo cual significa que los dos participantes se pueden comunicar al mismo tiempo en forma natural.

Algunos sistemas utilizan un ancho de banda estrecho, típicamente entre 25 y 30 KHz por cada transmisión, otros de banda ancha utilizan algunos Mhz. El diseño de un radioenlace requiere la consideración de otros factores como: la interferencia entre transmisores que se encuentren operando en la misma frecuencia, las condiciones del medio ambiente que puedan afectar la onda portadora durante la propagación, el cumplimiento de ciertas condiciones para asegurar la calidad del canal de comunicación, etcétera (esto se tratará en el siguiente capítulo).

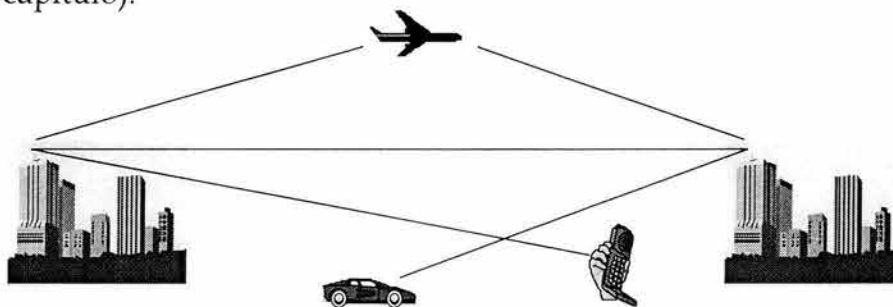
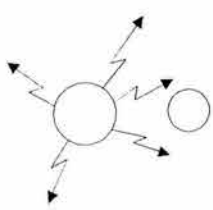
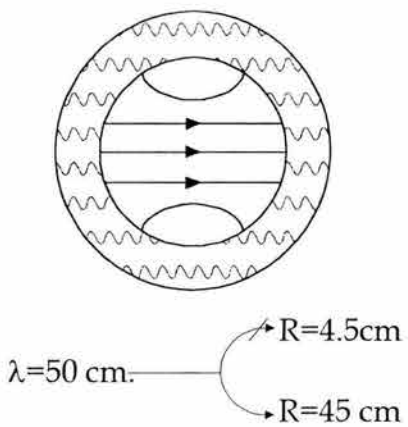
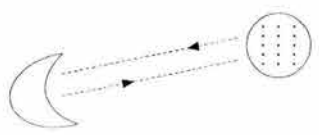


Fig. 1.2 Radioenlaces.

### I.3.2 MICROONDAS

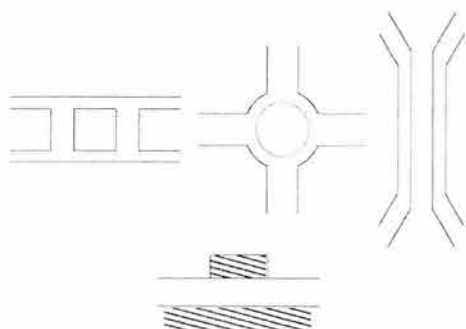
El término microondas se refiere a todas las ondas comprendidas entre frecuencias de 300 MHz y 300 GHz, de periodo  $T = \frac{1}{f}$  3ns ( $3 \times 10^{-9}$ seg.) hasta 3ps ( $3 \times 10^{-12}$ seg.) y de longitud de onda  $\lambda = \frac{c}{f}$  1m hasta 1 mm.

A continuación se presentan algunos datos importantes sobre la historia de las microondas.

	1873	James Clerk Maxwell Teoría electromagnética.
	1887-1895	Henrich HERTZ Primer ingeniero en microondas
TEM, TM <sub>mn</sub> , TE <sub>mn</sub>	1897	Lord Ray Leigh Teoría de la Propagación.
	1936	G. Southworth y W Barrow Propagación a través de un tubo.
	<b>RADAR</b>	
	1930	Desarrollo del magnetron en Inglaterra.
	1940	RADAR en la banda de microondas en Inglaterra y U.S.A.

### LINEAS DE TRANSMISIÓN PLANAS





1950 Diferentes componentes fabricados con líneas.

1960 ITT desarrolla la guía microstrip.

Durante la década de los 70's gracias al desarrollo de la tecnología se contaron con sistemas de transmisión de microondas con capacidad mayor a 6000 canales empleando una portadora de R.F. de 30 MHz. Los sistemas de microondas perfeccionaron el uso eficiente del espectro radioeléctrico, mediante el empleo de los métodos de modulación digital.

RANGO DE FRECUENCIAS (MHz.)	CAPACIDAD EMPLEADA
353-399.900	12, 24 y 72 Canales
890-960	12, 24 y 72 Canales
1429-1525	30 Canales (Multiacceso)
1700-2300	2, 8 y 34 Mbps
2296-2437	2 y 4 Mbps (Multiacceso)
4430-4970	2,700 Canales
6460-7080	140 Mbps (1940 Canales)
7125-7725	2 Mbps
7747-8267	1800 Canales
8210-8490	300, 960 Canales
10552-10659	2 Mbps
10735-11685	140 Mbps
12765-13277	30 Canales
12765-13241	480 Canales
14500-15350	2, 8, 34 y 140 Mbps
17700-19700	2, 8, 34 y 140 Mbps
21800-23000	2, 8, 34 Mbps
37061-38951	2 y 8 Mbps
57200-58200	2 y 8 Mbps

### **I.3.3. ESPECTRO DISPERSO.**

La tecnología de espectro disperso (E.A.) es simplemente otra técnica de modulación de radio frecuencias. Así como una señal de A.M. , F.M. o de T.V. cuentan con sus propios anchos de banda y sus rangos de frecuencia, el espectro disperso también cuenta con estas características, ancho de banda y sus propios rangos de frecuencia.

Por las características de la modulación del E.A., (las cuales mencionaremos más adelante), una banda entera está disponible para que se transmita con esta modulación sin necesidad de permisos.

Mientras las técnicas de modulación convencionales han sido diseñadas para superar el ruido maximizando la potencia al centro de la frecuencia asignada, la tecnología de E.A. es enteramente diferente. La modulación con tecnología de E.A. está diseñada para minimizar el promedio de potencia a cualquier frecuencia dada todo el tiempo, además de ganar precisión debido al incremento en redundancia, esto se debe a la forma en que se lleva a cabo el proceso de envío y recepción de información, el cual será detallado en el capítulo III.

Las frecuencias en las que se encuentra disponible esta tecnología son:

- 902 a 928 Mhz.
- 2.450 a 2.4835 GHz.
- 5.725 a 5.850 GHz.

Las cuales no requieren licencia por parte de la S.C.T., sólo los equipos y los enlaces deben de cumplir con la Norma Oficial Mexicana Emergente NOM-EM-121-SCT1-1994 publicada el jueves 22 de diciembre de 1994 en el Diario Oficial.

# PROPAGACIÓN

## II.1. PROPAGACIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Una vez que Maxwell predijo la existencia de ondas electromagnéticas se presentó la importante cuestión de cómo generarlas. Hertz fue el primero que estudió y resolvió este problema, desarrolló un formalismo matemático que le permitió encontrar las características de las ondas a partir de las ecuaciones de Maxwell, de todo el trabajo que realizó para lograr lo anterior, se desprendió la predicción de que si una partícula eléctricamente cargada se mueve en forma acelerada, entonces emite ondas electromagnéticas. El término "acelerada" se refiere al concepto de aceleración que todos conocemos, la variación de la velocidad en el tiempo. Por lo tanto, esto ocurre cuando una corriente eléctrica varía al transcurrir el tiempo y esto se presenta de una forma clara en la corriente alterna.

Suponga ahora que se conecta una varilla a una fuente de corriente alterna, los electrones que circulan por esta llegan al extremo y regresan sufriendo una aceleración logrando así la generación de ondas electromagnéticas, estas ondas tienen la misma frecuencia de los electrones que oscilan en la varilla; al elemento que produce las ondas se le denominará: **Antena Emisora**. En el caso anterior la antena es la varilla.

Ya que las ondas fueron generadas, lo que procedía era elaborar otro dispositivo que capturara dicha onda y esto se logró también con otra antena, la cual tenía que cumplir con ciertas características, tales como, la misma posición con respecto al plano de tierra (a esto se le denomina polarización), haciendo posible la recepción de la señal. De lo anterior se puede definir a una **antena** como un *dispositivo que sirve para transmitir y recibir ondas electromagnéticas*. Una antena puede tener otras configuraciones, no solo la de una varilla, las características que tengan las ondas propagadas dependerán de la forma geométrica y de la longitud de la antena.

Regresando al ejemplo de la varilla, las ondas que emite tendrán la misma frecuencia que la corriente que se está induciendo. A esta frecuencia  $f$  le corresponde una longitud de onda  $\lambda$  dada por la expresión  $v/f$ , siendo  $v$  la velocidad de la luz.

Las ondas electromagnéticas son invisibles, por lo tanto requieren de medios indirectos para analizarse. Los conceptos de Rayos y Frentes de Onda ayudan a ilustrar los efectos de la propagación de la onda electromagnética en el espacio. Los rayos se utilizan para mostrar la dirección relativa de la propagación de la onda. Un frente de onda muestra una

superficie de fase constante de una onda. Un frente de onda se forma cuando los puntos de igual fase sobre rayos propagados de la misma fuente se unen.

Por otro lado, la potencia de la onda emitida depende tanto de la longitud de onda  $\lambda$  como de la longitud  $L$  de la varilla. La potencia que emite adquiere un valor máximo cuando la longitud de la varilla es igual a la mitad de la longitud de la onda. La antena no emite la misma potencia en todas las direcciones; a lo largo de la antena no hay emisión (sólo para el caso en que la antena es una varilla o un dipolo).

## II.2. PROPAGACIÓN EN EL ESPACIO LIBRE

Cuando una onda electromagnética se propaga por la atmósfera terrestre sufre alteraciones, éstas se deben a los efectos que provoca el medio ambiente (difracción, reflexión, atenuación por la lluvia, curvatura del haz, etc. estos fenómenos se tratarán más adelante) sin embargo para poder iniciar el análisis de las ondas electromagnéticas, primero se considerarán los medios ideales para poder transmitir y recibir una señal.

Lo primero es tener un medio ideal, en el cual no se consideren los efectos que provoca la atmósfera terrestre, a este medio se le conoce como ESPACIO LIBRE. Ya que se tiene este medio, también se necesita considerar los dispositivos que permitan transmitir y recibir las señales: Las Antenas (las cuales deberán de ser ideales); a este tipo de antenas se les denomina ANTENAS ISOTRÓPICAS y tienen como característica primordial la de poder emitir la señal uniformemente en todas direcciones formando una superficie esférica, además que su ganancia es unitaria (1 dB).

Para el estudio de la propagación se deben conocer algunas características de las ondas electromagnéticas.

Las ondas electromagnéticas representan el flujo de energía en la dirección de propagación. La proporción en la cual la energía cruza por una superficie dada, en el espacio libre, se llama **DENSIDAD DE POTENCIA**. Por lo tanto, la densidad de potencia es energía por unidad de tiempo por unidad de área, y normalmente se da en Watts por metro cuadrado. La **INTENSIDAD DE CAMPO** es la intensidad de los campos eléctricos y magnéticos de una onda electromagnética propagándose en el espacio libre.

La Intensidad de Campo Eléctrico normalmente se da en volts por metro y la Intensidad de Campo Magnético en amper-vuelta por metro. Matemáticamente, la densidad de potencia es:

$$P = E H \text{ watts por metro cuadrado} \quad (\text{II.1})$$

en donde:

$P$  = densidad de potencia ( $W/m^2$ )

$E$  = intensidad de campo eléctrico en rms ( $V/m$ )

$H$  = intensidad del campo magnético en rms. ( $At/m$ )

Las intensidades de los campos eléctrico y magnético de una onda electromagnética, en el espacio libre se relacionan por la impedancia característica (resistencia) del espacio libre. La impedancia característica de un medio de transmisión sin pérdidas es igual a la raíz cuadrada de la relación de su permeabilidad magnética con su permitividad eléctrica. Matemáticamente, la impedancia característica del espacio libre ( $Z_s$ ) es:

$$Z_s = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \quad (\text{II.2})$$

en donde:

$Z_s$ = impedancia característica del espacio libre (ohms)

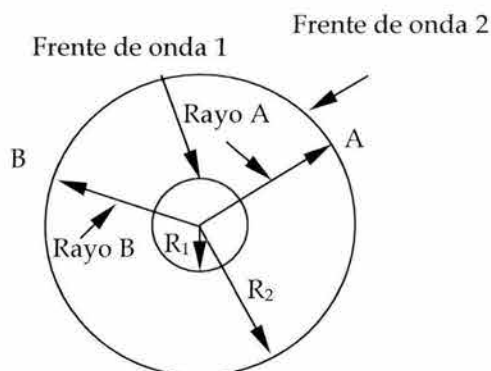
$\mu_0$ = permeabilidad magnética del espacio libre ( $1.26 \times 10^{-6}$  H/m)

$\epsilon_0$ = permitividad eléctrica del espacio libre ( $8.85 \times 10^{-12}$  F/m)

## II.2.1 ATENUACIÓN EN EL ESPACIO LIBRE

Las ondas electromagnéticas al transmitirse sufren una pérdida de potencia conocida como Atenuación, el primer análisis consistirá en calcular las pérdidas que sufre la señal al propagarse en el espacio libre. Es importante mencionar que un enlace de radio frecuencia en el Espacio Libre sigue una trayectoria recta, aunque en un medio real esta trayectoria se vuelve curva debido a los fenómenos atmosféricos que ya se citaron y que más adelante se tratarán.

Una antena isotrópica produce un frente de onda esférico de radio  $R$ . Todos los puntos a la distancia  $R$  de la fuente están en la superficie de la esfera y tienen densidades de potencia iguales (ver fig. 2.1 p.e. los puntos A y B). En cualquier instante de tiempo, la potencia total radiada  $P_T$  (watts) está uniformemente distribuida sobre la superficie de la esfera. Por lo tanto la densidad de potencia en cualquier punto será la potencia total radiada entre el área total de la esfera.



**Figura 2.1** Fuente de onda esférica de una fuente isotrópica

Matemáticamente, la densidad de potencia en cualquier punto de la superficie de un frente de onda esférica es:

$$P_a = \frac{P_T}{4\pi R^2} \quad (\text{II.3})$$

en donde:

- $P_T$  = potencia total radiada (watts)
- $R$  = radio de la esfera (el cual es igual a la distancia desde cualquier punto en la superficie de la esfera a la fuente)
- $4\pi R^2$  = área de la esfera.

Ahora suponga que se tienen dos antenas, una transmisora y una receptora, ambas ideales, la antena transmisora se coloca en el centro de la esfera (A) y la antena receptora sobre la superficie de la esfera (B) figura 2.2, convencionalmente, una antena isotrópica puede servir como una antena receptora o transmisora.

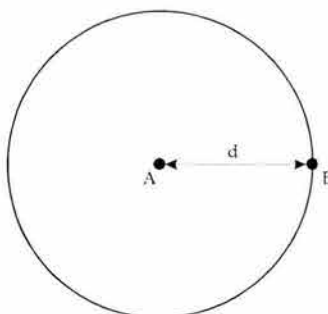


Figura 2.2 Fuente puntual isotrópica en la transmisión y recepción

En la función de antena receptora, esta absorbe potencia del campo de radiación en el cual está situada. La cantidad de potencia que la antena receptora absorbe en relación con la densidad de potencia de la fuente está determinada por su *apertura efectiva*, la cual se define como el área equivalente de la antena a través de la cual se le entrega la máxima potencia a la carga. Para una antena isotrópica, el área efectiva es  $\lambda^2/4\pi$ , donde  $\lambda$  es la longitud de onda del campo de radiación incidente.

De la ecuación (II.3), para una antena isotrópica situada en un campo de radiación con una densidad de potencia de  $P_a$ , la densidad de potencia a la recepción  $P_R$  se obtiene de la siguiente ecuación:

$$P_R = P_T \left[ \frac{\lambda}{4\pi R} \right]^2 \quad (\text{II.4})$$

en donde R es el radio de la esfera o la distancia entre las antenas d,  $R=d$ .

Las pérdidas de transmisión entre una antena receptora (a lo que se denominó atenuación en el espacio libre) y una transmisora se definen como:

$$L_{dB} = 10 \log_{10} \frac{P_T}{P_R} \quad (II.5)$$

combinando las ecuaciones (II.3) y (II.4), las pérdidas de transmisión serán:

$$L_{dB} = 21.98 + 20 \log_{10} (R/\lambda) \quad (II.6)$$

La ecuación anterior se puede escribir en una forma más usual:

$$L_{dB} = 32.4 + 20 \log d_{km} + 20 \log F_{MHz} \quad (II.7)$$

en donde  $d$  es la distancia en Kilómetros entre la antena transmisora y la receptora, y  $F$  es la frecuencia en que se emite la onda en Megahertz,  $F$  se obtiene de la ecuación que se mencionó al principio de este capítulo  $\lambda = v/f$ .

Realizando las conversiones necesarias, la expresión anterior se puede obtener en el sistema de unidades que se requiera:

$$\begin{aligned} L_{dB} &= 36.58 + 20 \log d_{sm} + 20 \log F_{MHz} && \text{(en millas terrestres)} \\ L_{dB} &= 37.80 + 20 \log d_{nm} + 20 \log F_{MHz} && \text{(en millas náuticas)} \\ L_{dB} &= -37.87 + 20 \log d_{ft} + 20 \log F_{MHz} && \text{(en pies)} \\ L_{dB} &= -27.55 + 20 \log d_m + 20 \log F_{MHz} && \text{(en metros)} \end{aligned}$$

### II.3. PROPAGACIÓN EN UN MEDIO REAL

En esta sección se va a analizar que es lo que sucede con una onda que se propaga en un medio real, esto implica la presencia de la Atmósfera Terrestre. Anteriormente se mencionó que si una onda se propaga en el Espacio Libre, esta sigue una trayectoria recta, esto no ocurre en un medio real ya que las capas atmosféricas (troposfera y ionosfera principalmente) juegan un papel importante, en dichas capas ocurren fenómenos que alteran la trayectoria de las ondas, la ionización de las partículas provocan que las ondas se difracten, reflejen, refracten o se tenga el fenómeno de absorción debido a los gases. Los fenómenos anteriores varían en función de la frecuencia y de las condiciones climáticas de la región en donde se llevará a cabo el enlace.

La energía radiada por una antena transmisora puede alcanzar a la receptora a lo largo de muchas trayectorias posibles de propagación, algunas de las cuales se ven en la figura 2.3.

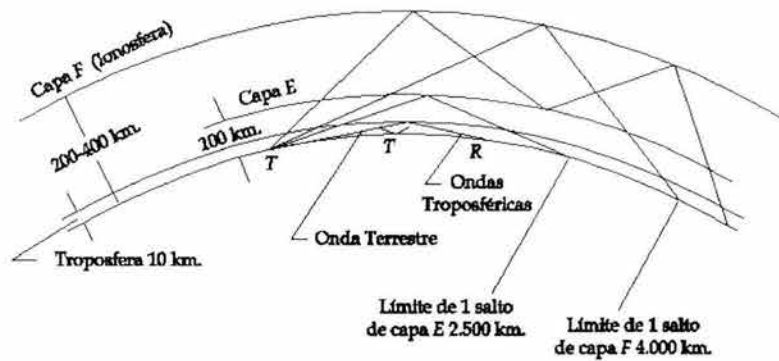
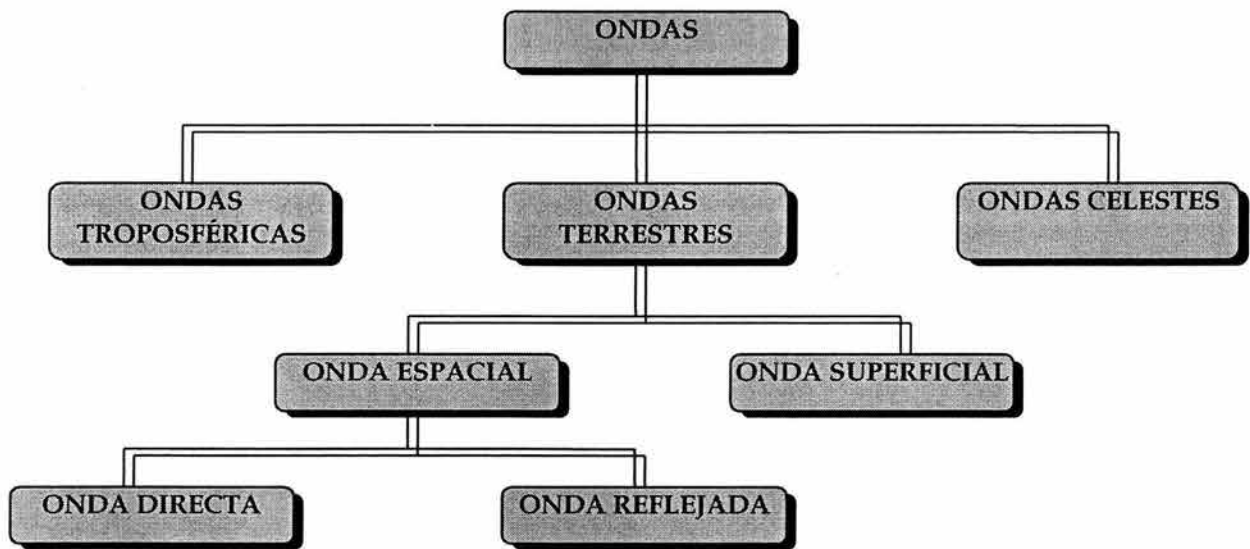


Figura 2.3 Algunas líneas de propagación posibles

Para el análisis de estas ondas, se ha hecho una división, la cual engloba las trayectorias que puede seguir una onda para llegar a su destino, esta clasificación es la siguiente:



CLASIFICACIÓN DE LAS ONDAS

Las *ondas troposféricas* son aquellas que se reflejan o dispersan en la Troposfera (región de la atmósfera que alcanza aproximadamente los diez kilómetros de altura).

Las ondas que llegan al receptor después de una reflexión o dispersión en la Ionosfera (región del espacio localizada aproximadamente de 50 a 400 Km arriba de la superficie terrestre) se conocen como *ondas celestes*. Esencialmente, la Ionosfera está compuesta de tres capas, (las capas D, E y F) mostradas en la figura 2.4. La capa D es la capa inferior de



la Ionosfera y se localiza entre 30 y 60 millas (50 a 100 kilómetros) arriba de la superficie de la Tierra. Esta capa refleja ondas V.L.F. y L.F. y absorbe ondas M.F. y H.F.

La capa E se localiza, entre 60 y 85 millas (de 100 a 140 kilómetros) se le conoce también como la capa Kenelly-Heaviside, en honor a los dos científicos que la descubrieron. Esta capa tiene su mayor densidad a mediodía, al igual que la capa D, estas tienden a desaparecer totalmente de noche. La capa E auxilia la propagación de ondas de superficie M.F. y refleja ondas H.F. un poco durante el día.

La capa F está hecha realmente de dos capas, las capas  $F_1$  y  $F_2$ . Durante el día, la capa  $F_1$  se localiza entre 85 y 155 millas (de 140 a 250 kilómetros) arriba de la superficie Terrestre, la capa  $F_2$  se localiza de 85 a 155 millas (de 140 a 300 kilómetros) durante el invierno y de 155 a 220 millas (de 250 a 350 kilómetros) en el verano. Durante la noche, la capa  $F_1$  absorbe y atenúa algunas ondas H.F., aunque la mayoría de las ondas pasan a través de la capa  $F_2$ , cuando se refractan nuevamente a la Tierra.

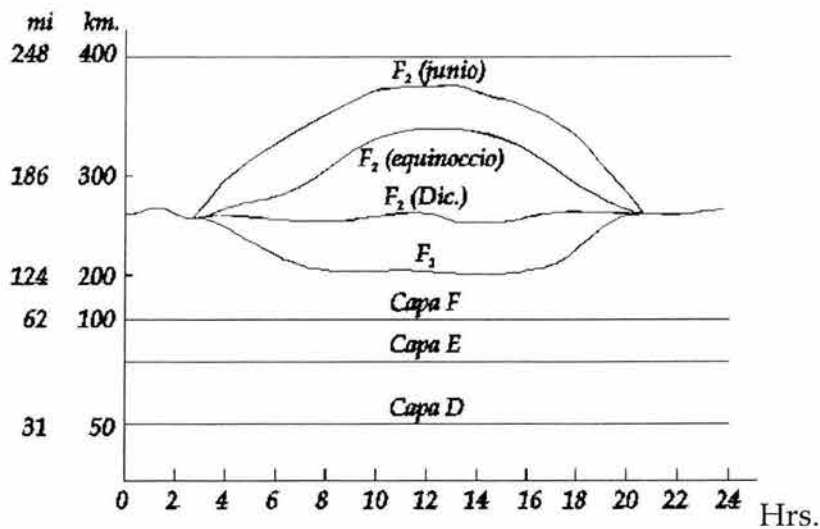


Figura 2.4 Capas Ionosféricas

La energía propagada por otros trayectos próximos a la superficie de la tierra se consideran como *ondas terrestres*. Es conveniente dividir la señal de la onda terrestre en *onda espacial* y *onda superficial*. La onda espacial está formada por las *ondas directa* (señal que sigue un trayecto directo del transmisor al receptor) y la *onda reflejada en tierra* (señal que llega al receptor después de haber sido reflejada en la superficie de la tierra).

La propagación de ondas espaciales incluye energía radiada que viaja unas cuantas millas, en la parte inferior de la atmósfera de la Tierra. La propagación de ondas espaciales con ondas directas se llama comúnmente *transmisión de línea de vista* (LOS por sus siglas en inglés, Line Of Sight). Por lo tanto, la propagación de ondas espaciales se limita por la curvatura de la Tierra (de lo cual se hablará más adelante).

La *onda superficial* es una onda guiada a lo largo de la superficie de la tierra de un modo parecido a la onda electromagnética guiada por una línea de transmisión. Las características de las *ondas superficiales* son las siguientes:

1. Dan suficiente potencia de transmisión, las ondas de tierra se pueden utilizar para comunicarse entre dos ubicaciones, cualesquiera en el mundo.
2. Las ondas de tierra no se ven relativamente afectadas por los cambios en las condiciones atmosféricas.
3. Las ondas de tierra requieren de una potencia relativamente alta para transmisión.
4. Las ondas de tierra están limitadas a frecuencias, muy bajas, bajas y medias (V.L.F., L.F. y M.F.) por lo que requieren de antenas grandes.
5. Las pérdidas por tierra varían considerablemente con el material de la superficie.

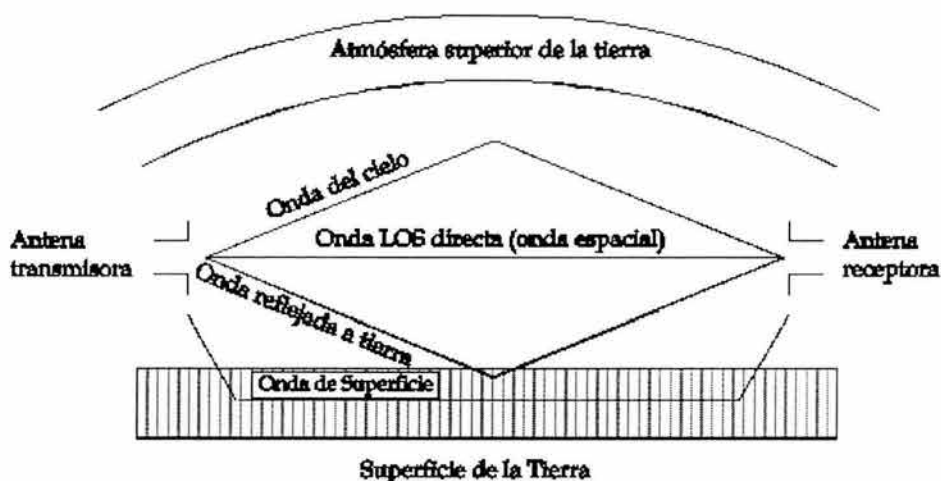


Fig.2.5 Modos normales de la propagación de ondas.

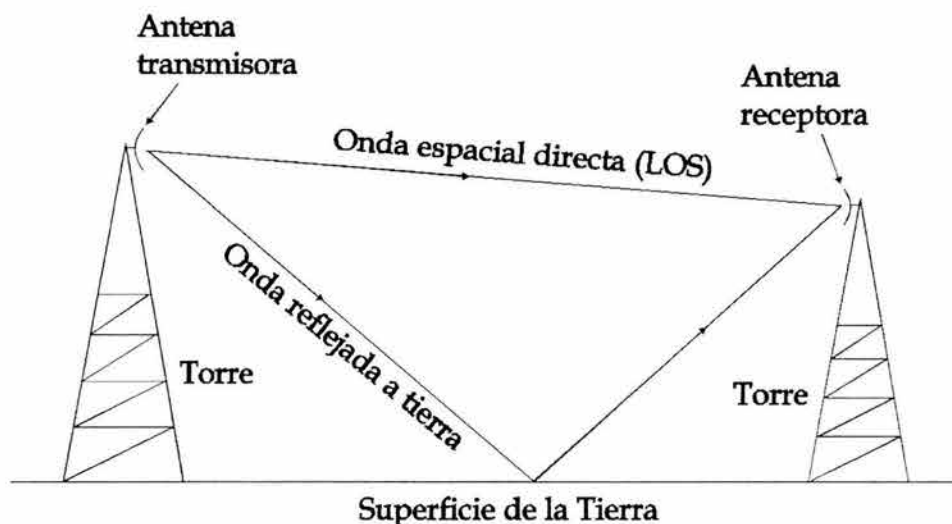


Fig. 2.6 Propagación de ondas espaciales.

En la atmósfera de la Tierra, la propagación de las ondas se ve alterada por efectos ópticos como la *refracción*, *reflexión* y *difracción*, estos fenómenos se dice que son ópticos porque primero fueron observadas en ésta ciencia, sin embargo, su análisis se extiende a las ondas de radio. Utilizando un lenguaje menos científico, se puede comparar al efecto de refracción como un doblamiento de la señal, la reflexión como un salto y la difracción como el esparcimiento de la señal. El análisis matemático de estos fenómenos lo realizaron científicos como Snell y Huygens, utilizando las ecuaciones de Maxwell.

### II.3.1. REFRACCIÓN.

La refracción electromagnética es el cambio de dirección de un rayo conforme pasa oblicuamente, de un medio a otro con diferentes velocidades de propagación. La velocidad a la cual una onda electromagnética se propaga es inversamente proporcional a la densidad del medio en el cual se está propagando. Por lo tanto, la refracción ocurre siempre que una onda de radio pasa de un medio a otro medio de diferente densidad. Al ocurrir este fenómeno, la trayectoria de la onda se ve alterada y se tiene que, el rayo sufre una inclinación. La cantidad de inclinación o refracción que ocurre en la interface de dos materiales de diferente densidad es bastante predecible y depende del *índice de refracción* de los dos materiales. El índice de refracción simplemente es la relación de la velocidad de propagación de un rayo de luz en el espacio libre a la velocidad de propagación de un rayo de luz en un material dado. Matemáticamente:

$$n = \frac{c}{v} \quad (\text{II.8})$$

en donde:  $n$  = índice de refracción (sin unidades)  
 $c$  = velocidad de la luz en el espacio libre ( $3 \times 10^8$  m/s)  
 $v$  = velocidad de la luz en un material dado (m/s)

Si se considera que una onda de radio se propaga en la atmósfera terrestre, esta encontrará medios distintos, uno con un cierto índice de refractividad  $n_1$  y otro con índice  $n_2$ , por lo que se tienen que relacionar con la Ley de Snell:

$$n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2 \quad (\text{II.9})$$

en donde:  $n_1$  = índice de refracción del material 1.  
 $n_2$  = índice de refracción del material 2.  
 $\theta_1$  = ángulo de incidencia (grados).  
 $\theta_2$  = ángulo de refracción (grados).

Si la onda atraviesa medios que se encuentran en capas paralelas, cada una con poca diferencia en el índice de refracción, la onda se refractará en el límite correspondiente de los medios, propagándose en forma curva.

El índice de refractividad de la atmósfera,  $n$ , es un número que se encuentra en el orden de 1.0003, variando entre 1.0 (en el espacio libre, sin influencia atmosférica) y 1.00045 como un máximo.

Como una convención, se ha utilizado un término llamado "refractividad"  $N$ , el cual se define como:

$$N = (n-1) \times 10^6 \quad (\text{II.10})$$

esto se realiza ya que son cambios muy pequeños de  $n$ . La forma de calcular el valor de  $N$  es el siguiente:

$$N = \frac{77.6}{T} p + 4810 \frac{e}{T} \quad (\text{II.11})$$

en donde:  $p$  = presión total en milibares.  
 $e$  = presión parcial del vapor de agua en milibares.  
 $T$  = temperatura absoluta en grados Kelvin.

Existe otro factor denominado índice de refracción modificado, el cual permite conocer la tendencia de la onda que se está refractando en la atmósfera, es decir, como las capas de la atmósfera son concéntricas, se debe tomar en cuenta la altitud que alcanza la onda y sumarla al radio de la tierra para poder entonces cuantificar la refracción de la onda de la siguiente manera:

$$M = (n-1) \times 10^6 + 4.8h \quad (\text{II.12})$$

en donde:  $n$  = el índice de radio refractividad.  
 $h$  = la altura a nivel del mar en cientos de pies.

Conociendo las tendencias de las variaciones de  $M$  se tiene una idea de la curvatura que sufre una onda al propagarse y sufrir una refracción.

### II.3.2. DIFRACCIÓN.

La difracción se define como la modulación o redistribución de energía, dentro de un frente de onda, cuando pasa cerca del extremo de un objeto opaco. La difracción es el fenómeno que permite que las ondas de radio se propaguen a la vuelta de las esquinas. Cuando un frente de onda pasa cerca de un obstáculo no se puede utilizar un simple análisis geométrico para explicar los resultados y el principio de Huygens es necesario.

El principio de Huygens indica que cada punto de un frente de onda esférica determinado se puede considerar como una fuente secundaria de puntos de ondas electromagnéticas, desde donde se irradian hacia fuera otras ondas secundarias (ondas pequeñas). Cada fuente puntual secundaria irradia energía hacia afuera en todas direcciones. Sin embargo, el frente de onda continúa en su dirección original en lugar de extenderse hacia afuera, porque la cancelación de ondas ocurre en todas direcciones excepto de frente. Por lo tanto, el frente de onda permanecerá plano.

Cuando se considera un frente de onda plano y finito, la cancelación en direcciones aleatorias es incompleta, en consecuencia, el frente de onda se extiende hacia afuera o se dispersa. Este efecto de dispersión se llama *difracción*.

En la transmisión de ondas este fenómeno ocurre cuando se encuentra en su trayectoria con algún obstáculo. Bajo condiciones normales de transmisión, el diseñador debe de considerar estos obstáculos para reducir la atenuación de la señal que causan estos fenómenos. La teoría que nos ayuda a considerar este fenómeno en particular es la de Fresnel.

### II.3.3. REFLEXIÓN.

Reflejar significa lanzar o volverse hacia atrás, y la reflexión es el acto de reflejar. La reflexión electromagnética ocurre cuando una onda incidente choca con una barrera de dos medios y algo o todo de la potencia incidente no entra al segundo material. Las ondas que no penetran al segundo medio se reflejan. Debido a que todas las ondas reflejadas permanecen en un solo medio, las velocidades de las ondas reflejadas e incidentes son iguales. Consecuentemente el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia ( $\theta_i = \theta_r$ ). Sin embargo, la intensidad del campo de voltaje reflejado es menor que la intensidad del campo de voltaje incidente. La relación de las intensidades de voltaje reflejado a incidente se llama coeficiente de reflexión,  $\Gamma$ . Para un conductor perfecto,  $\Gamma = 1$ .  $\Gamma$  se utiliza para indicar la amplitud relativa de los campos incidentes y reflejados y, además, el desplazamiento de fase que ocurre en el punto de reflexión. Matemáticamente, el coeficiente de reflexión es:

$$\Gamma = \frac{E_r e^{j\theta_r}}{E_i e^{j\theta_i}} = \frac{E_r}{E_i} e^{j(\theta_r - \theta_i)} \quad (\text{II.13})$$

en donde:

- $\Gamma$  = coeficiente de reflexión (sin unidades)
- $E_i$  = intensidad del voltaje incidente (volts)
- $E_r$  = intensidad del voltaje reflejado (volts)
- $\theta_i$  = fase incidente (grados)
- $\theta_r$  = fase reflejada (grados)

En la transmisión de ondas de radio, estas se reflejan en la superficie terrestre, por lo que se debe considerar la constante eléctrica de la tierra, la cual está determinada por: la conductividad  $\sigma$ , permitividad  $\epsilon$ , permeabilidad  $\mu$ , longitud de onda  $\lambda$ , polarización de la onda (P.H. Polarización horizontal y P.V. Polarización Vertical) y ángulo adyacente a la tierra  $\varphi$ .

La fórmula para calcular el coeficiente de reflexión de la onda de polarización horizontal  $R_h$  y la de polarización vertical  $R_v$ , se obtiene de acuerdo con la siguientes ecuaciones de Fresnel:

$$R_h = R e^{-j\theta} = \frac{\text{sen}\theta - \sqrt{\epsilon_c - \cos^2\theta}}{\text{sen}\theta + \sqrt{\epsilon_c - \cos^2\theta}} \quad \text{P. H.} \quad (\text{II.14})$$

$$R_v = R e^{-j\theta} = \frac{\epsilon_c \text{sen}\theta - \sqrt{\epsilon_c - \cos^2\theta}}{\epsilon_c \text{sen}\theta + \sqrt{\epsilon_c - \cos^2\theta}} \quad \text{P.V.} \quad (\text{II.15})$$

en donde  $\epsilon_c$  es la permitividad de números complejos y es necesario introducirla en la fórmula porque se supone que la superficie de reflexión tiene característica conductiva y su expresión es:

$$\epsilon_c = \epsilon - j60 \sigma \lambda$$

En el caso del dieléctrico perfecto, solo se tiene que considerar que  $\epsilon_c = \epsilon$ , y sustituir en las ecuaciones anteriores.

La onda de polarización vertical tiene características especiales, por lo que el ángulo adyacente sufre dos tipos de variaciones: la primera ocurre cuando el ángulo tiene un punto mínimo, que es el valor absoluto del coeficiente de reflexión, y la segunda cuando existe una variación repentina de la fase de la onda. El ángulo adyacente a la tierra del coeficiente de reflexión mínimo se conoce también con el nombre de ángulo adyacente a la tierra de Brewster  $\varphi_B$ .

Además,  $\theta$  de la polarización horizontal será más o menos igual a  $180^\circ$ ; por lo tanto,  $R_h = -R$ , y la polarización vertical estará formada por 3 casos:

- |                          |                      |            |
|--------------------------|----------------------|------------|
| 1. $\varphi < \varphi_B$ | $\theta = 180^\circ$ | $R_v = -R$ |
| 2. $\varphi = \varphi_B$ |                      | $R_v = 0$  |
| 3. $\varphi > \varphi_B$ | $\theta = 0^\circ$   | $R_v = R$  |

En una superficie normal, en donde no se tiene un conductor perfecto, ni permitividad perfecta, la polarización horizontal y vertical varía en forma sucesiva con la fase, a su vez varía el ángulo adyacente a la tierra. La onda de polarización vertical también tiene

características especiales. Cuando  $\varphi$  es menor que  $\varphi_B$ , la fase del coeficiente de reflexión  $\theta$  es casi igual a  $180^\circ$  y cuando  $\varphi$  es mayor que  $\varphi_B$ , la fase  $\theta$  es casi igual a  $0^\circ$ .

### II.3.4. PROPAGACIÓN SOBRE UNA SUPERFICIE CURVA.

En las secciones anteriores se han descrito los fenómenos más importantes que se deben considerar en el análisis de la propagación de las ondas electromagnéticas, también se mencionaron las diferentes trayectorias que estas pueden seguir, dentro de estas trayectorias la más usual es la trayectoria directa, es en este punto donde se presenta un problema que hasta el momento no se ha considerado, la forma geométrica de la tierra; si se requiere enlazar dos puntos a una distancia "d" se observará lo siguiente:

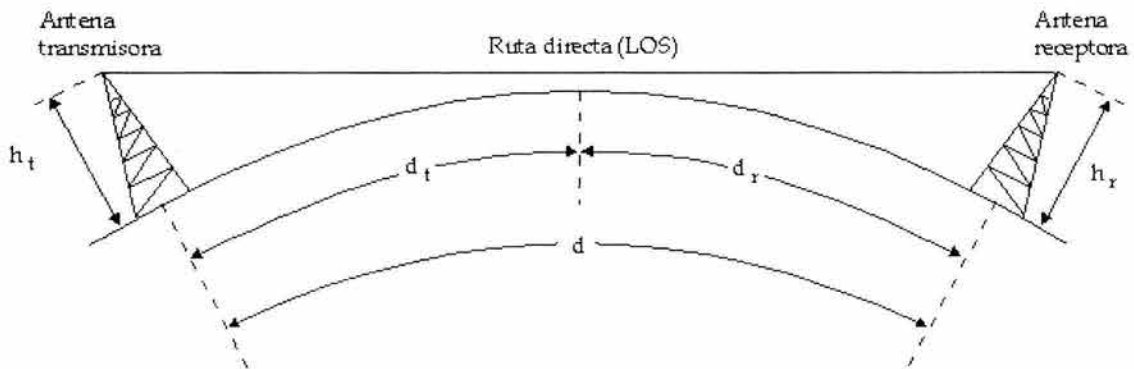


Fig. 2.7 Onda directa y curvatura de la Tierra.

La curvatura de la Tierra presenta un horizonte para la propagación de ondas directas comúnmente llamado *radio horizonte*. Debido a la refracción atmosférica, el radio horizonte se extiende más allá del horizonte óptico para la atmósfera estándar común. La tropósfera causa la refracción, debido a cambios en su densidad, temperatura, contenido de agua-vapor, y relativa conductividad. El radio horizonte puede alargarse simplemente elevando las antenas, transmisora o receptora (o ambas) por arriba de la superficie de la Tierra, con torres o colocándolas arriba de montañas o edificios altos.

Se puede relacionar la distancia del radio horizonte con la altura de las antenas de la siguiente manera:

$$d = \sqrt{2h} \quad (\text{II.16})$$

en donde:

$d$  = distancia a radio horizonte (millas)

$h$  = altura de la antena sobre el nivel del mar (pies)

Por lo tanto, para una antena receptora y una transmisora, la distancia entre las dos es:

$$d = d_t + d_r$$

sustituyendo la ecuación II.16:

$$d = \sqrt{2ht} + \sqrt{2hr} \quad (\text{II.17})$$

en donde:  $d$  = distancia total (millas)  
 $dt$  = radio horizonte para antena transmisora (millas)  
 $dr$  = radio horizonte para antena receptora (millas)  
 $ht$  = altura de la antena transmisora (pies)  
 $hr$  = altura de la antena receptora (pies)

$$o \quad d = \sqrt{2} \sqrt{ht} + \sqrt{2} \sqrt{hr} \quad (\text{II.18})$$

en donde  $dt$  y  $dr$  son distancias en kilómetros y  $ht$  y  $hr$  son alturas en metros.

### II.3.4.1 CURVATURA DE HAZ.

Cuando se realiza un enlace, se espera que la transmisión siga un camino recto, es decir, la onda tiene que describir una trayectoria directa, sin embargo, como se analizó anteriormente, esto depende del medio en el que se transmite, el fenómeno de la refractividad siempre se debe considerar, lo que provoca que el rayo sufra una curvatura (fig. 2.8), el grado de curvatura del haz dependerá de las condiciones que existan en la atmósfera y estas varían dependiendo de la zona en donde se realice el enlace.

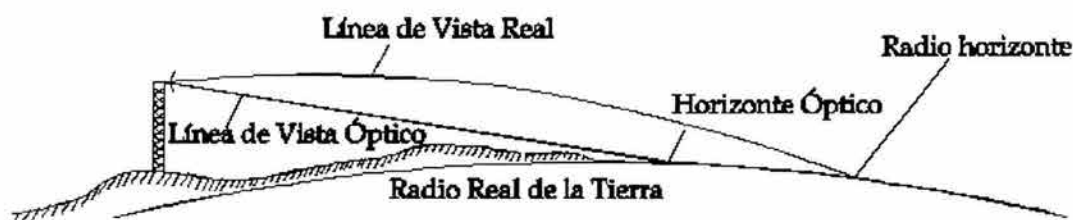


Fig. 2.8 Curvatura del Haz y radio horizonte.

Si se pretende modificar la trayectoria curva a una línea recta, se necesita cambiar el grado de curvatura de la superficie terrestre, lo cual se puede lograr con un radio mayor que el real, considerando que la tierra es una esfera más grande; de esta manera si el valor del radio pensado lo denominamos como  $R$ , al radio real  $a$ , entonces la relación de ellos será:  $K = R/a$  y esta cantidad representa las condiciones indirectas de la refracción de las ondas y recibe el nombre de índice de radio equivalente de la tierra.

En una atmósfera con condiciones ideales, el valor de  $K = 1$  lo que representaría que el radio horizonte fuese igual que el horizonte óptico. Para una atmósfera en condiciones normales, el valor de  $K = 4/3$  esto nos indica que para cambiar una línea curva en una



atmósfera normal (fig. 2.9), por una recta, se debe de suponer que el radio de la Tierra es 4/3 el radio normal de la Tierra, el cual es aproximadamente 6370 km.

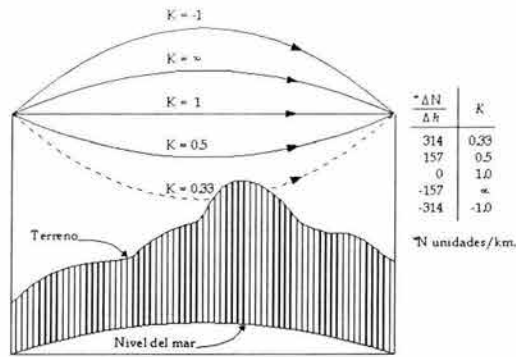


Fig. 2.9 Onda emitida con distintos valores de K.

Si se asume que el índice de refractividad  $n$  varía linealmente con la altura  $h$  de las antenas, se tendrá un gradiente de refractividad  $\Delta n/\Delta h$ , entonces el valor de K puede ser calculado de la sig. manera:

$$K = \frac{1}{1 + \frac{a}{n} \cdot \frac{\Delta n}{\Delta h}} \tag{II.19}$$

es más conveniente considerar el gradiente con las unidades de N en lugar de  $n$ , por lo que habrá que sustituir el valor de  $n$  por el de N además de tomar el valor de  $n=1.0003$  y considerar la relación que hay entre ellas (ecuación II.10), el valor de  $a=6370\text{km}$  para así obtener:

$$K = \frac{157}{157 + \frac{\Delta n}{\Delta h}} \tag{II.20}$$

Debido a que el valor de K depende de las condiciones atmosféricas, se han realizado algunos estudios para caracterizar el valor de K dependiendo de la zona geográfica, obteniendo los valores que más se recomiendan para determinada zona.

CONDICIONES DE PROPAGACIÓN

	PERFECTA	IDEAL	PROMEDIO	DIFICIL	MALO
CLIMA	Atmósfera estándar	Atmósfera sin niebla ni capas	Atmósfera sub-estándar, posee niebla ligera	Atmósfera con capas superficiales y niebla a nivel de la superficie	Atmósfera con alta humedad, alta concentración de niebla.
ZONA TIPICA	Zona de temperatura casi constante sin niebla y con condiciones atmosféricas casi constantes. en el día y la noche	Zonas secas y montañosas	Regiones planas donde se puede presentar algo de niebla	Regiones costeras	Región costera tropical. El enlace cruza por agua.
FACTOR K	1.33 = 4/3	1 - 1.33	0.66 - 1	0.5 - 0.66	0.4 - 0.5

TABLA 1.- GUÍA DEL FACTOR K

Cuando se va a realizar un enlace y existen obstáculos en la ruta de propagación (ver figura 2.10), tendrá que considerarse un incremento de altura debido a la curvatura de la tierra, este incremento se calcula de la siguiente manera.

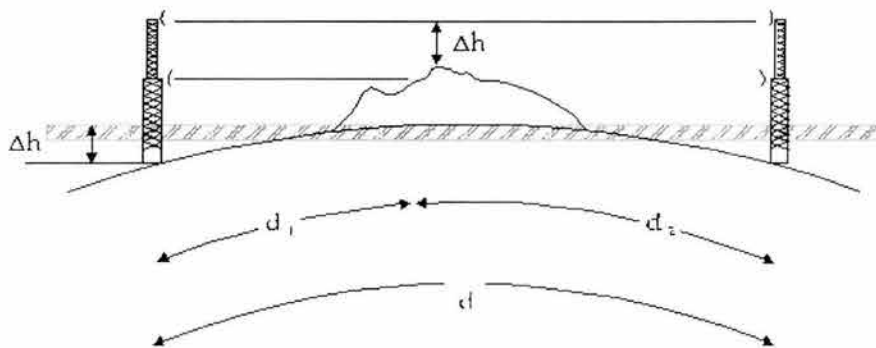


Fig. 2.10 Incremento de altura debido a la curvatura terrestre

$$\Delta h = \frac{d_1 d_2}{12.75 \cdot K} \quad (\text{II.21})$$

en donde:  $\Delta h$  = altura adicional del obstáculo debido a la curvatura de la tierra (en metros).  
 $d_1$  = distancia desde el extremo más cercano del enlace al obstáculo (en kilómetros)  
 $d_2$  = distancia desde el extremo más lejano del enlace al obstáculo (en kilómetros)  
 $D = d_1 + d_2$  distancia total del enlace.

### II.3.5 ZONAS DE FRESNEL

En las secciones anteriores se mencionó que una onda sufre el fenómeno de difracción cuando su frente de onda golpea con algún obstáculo, la Teoría de Huygens-Fresnel establece que al momento de chocar la onda con algún objeto, esta se difracta y forma círculos concéntricos, los cuales contienen en diferentes cantidades la energía que posee la onda, concentrando la mayor parte en el centro (figura 2.11), después debido al proceso de difracción la onda vuelve a concentrarse en un punto de recepción. El análisis que realizó Fresnel se basa en lo que ocurre en los círculos concéntricos que se forman alrededor del obstáculo y la relación que tienen con la frecuencia con la que se propaga la onda y la distancia que viaja.

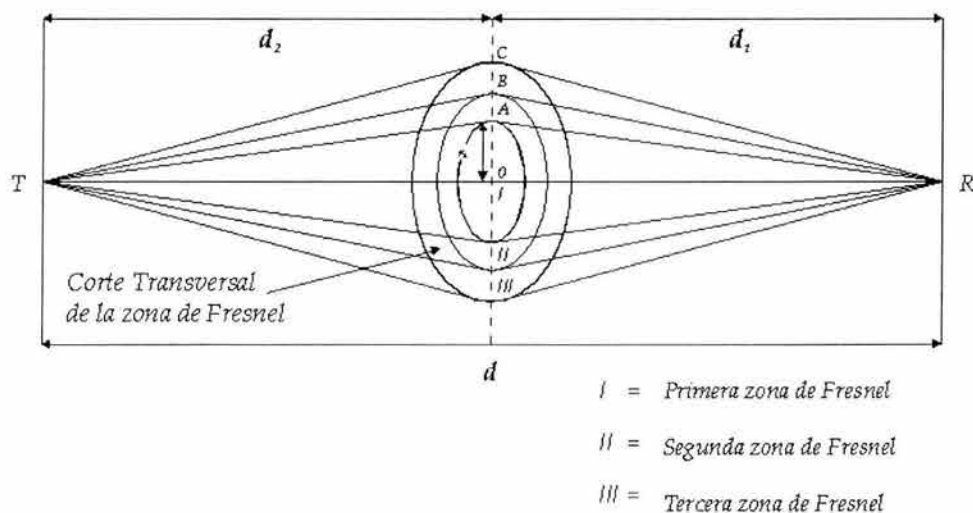


Fig. 2.11 Zonas de Fresnel.

De la figura anterior se tiene que la intensidad de campo en el punto receptor será la sumatoria vectorial de las pequeñas ondas que pasan por los puntos O, A, B y C. La trayectoria que sigue la onda al tocar los diferentes puntos, se relaciona de la siguiente manera:

$$TR = d$$

$$TAR = TR + \lambda/2 = d + \lambda/2$$

$$TBR = TR + \lambda = d + \lambda$$

$$TCR = TR + 3\lambda/2 = d + 3\lambda/2$$

Del fenómeno de difracción se observa que las pequeñas ondas que se forman al chocar, cambian su fase, si se toma como medida el valor de  $\pi$  para los retardos de fase, de la teoría electromagnética se tiene que para el primer ciclo, la intensidad de campo en el receptor tenderá a ser positiva, para el segundo ciclo ( $2\pi$ ), la intensidad de campo tenderá a ser negativa, a la primera zona se le conoce como primera zona de Fresnel, hasta  $2\pi$ , segunda zona de Fresnel y así sucesivamente. También se dice que la primera zona de Fresnel es la superficie que contiene todos los puntos para los cuales la suma de las distancias desde el punto de interés a los dos extremos de la ruta es exactamente media longitud de onda más larga que la ruta directa entre los extremos. Para calcular el radio de la esfera que forma la primera zona de Fresnel se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$F_1 = 17.3 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{fD}} \quad (\text{II.22})$$

en donde:

$F_1$  = primera zona de Fresnel.

$d_1$  = distancia de la fuente al obstáculo (en km.).

$D$  = distancia total de la trayectoria (en km.).

$d_2 = D - d_1$

$f$  = frecuencia de operación en GHz.

Conociendo el valor de la primera zona de Fresnel se puede entonces calcular cualquier zona; si  $n$  es el número de la zona que se desea averiguar, entonces:

$$F_n = F_1 \sqrt{n} \quad (\text{II.23})$$

La energía de la onda se concentra en la primera zona de Fresnel, por lo que se tiene que tomar en cuenta cuando se realiza un enlace y si se tiene algún obstáculo, se dice que por lo menos debe de pasar el 60% de la primera zona de Fresnel,

$$\text{Criterio de Libramiento} = 0.6 F_1$$

### II.3.6 ABSORCIÓN ATMOSFÉRICA

Al igual que la luz sufre una atenuación por la absorción de las nubes, de la niebla y de la lluvia al atravesar éstas, las ondas eléctricas sufren también alguna absorción y atenuación. Sin embargo, la atenuación sólo se convierte en un problema en la práctica cuando la frecuencia con que se envían las ondas son del orden de los 7 u 8 GHz. La principal absorción gaseosa se debe al oxígeno y al vapor de agua. La atenuación debida al oxígeno es relativamente constante en el rango de frecuencias de los 2 a los 14 GHz. y está ligeramente por debajo de 0.01dB/milla.

Por otro lado, el vapor de agua es altamente dependiente de la frecuencia en que se esté trabajando, es extremadamente baja en los 2 GHz., en el orden de los 0.0002 dB/milla. Para los 8 GHz. se encuentra en el orden de 0.002 dB/milla, para los 14 GHz. se comporta casi como la absorción debida al oxígeno, 0.01 dB/milla. A continuación se presenta una tabla que permite calcular la atenuación debido a la absorción atmosférica para diferentes rangos de frecuencia y distintas longitudes.

LONGITUD DE LA TRAYECTORIA EN MILLAS	ATENUACIÓN - dB				
	2-4-6 GHz.	8 GHz.	10 GHz.	12 GHz.	14 GHz.
20	0.20	0.26	0.32	0.38	0.48
40	0.40	0.52	0.64	0.76	0.96
60	0.60	0.78	0.96	1.14	1.44
80	1.80	1.04	1.28	1.52	1.92
100	1.00	1.30	1.60	1.90	2.40

TABLA 2.-10 ATENUACIÓN DEBIDA LA ABSORCIÓN ATMOSFÉRICA.<sup>1</sup>

### II.3.7 ATENUACIÓN POR LLUVIA.

Otro parámetro importante que se debe considerar, es el efecto que tiene la lluvia sobre la propagación de las ondas electromagnéticas, al igual que la absorción atmosférica debida al vapor de agua. El grado de atenuación está en función de un número de variables incluyendo la frecuencia, el tamaño y forma de la gota, y la distribución de la lluvia (en términos de la intensidad instantánea) a lo largo de la trayectoria.

Como se ha expuesto, las ondas al propagarse sufren una difracción y una dispersión, esto se debe a que la atmósfera no es un medio homogéneo, también se mencionó que las ondas se atenuan, esta atenuación es debida a partículas que se denominan hidrometeoros. Un hidrometeoro está compuesto por agua, oxígeno, nieve y hielo.

El problema de la atenuación debido a la lluvia es muy complejo ya que no se puede predecir con gran exactitud la cantidad de agua que va a caer, así como la intensidad y grosor de las gotas; generalmente se realizan muestras de lluvia que permiten obtener datos estadísticos en zonas específicas, (lo que ayuda enormemente a los ingenieros encargados de los enlaces de comunicaciones a calcular las pérdidas debidas a este fenómeno); la intensidad de la lluvia depende de la cantidad de agua líquida contenida en el hidrometeoro y de la velocidad a la que caen las gotas.

<sup>1</sup> Fuente: NBS Monograph No. 92 "Radio Meteorology"

La distribución del tamaño de las gotas ha sido estudiada por varios investigadores; los modelos más usados son: Law y Paterson (LP), Marshall-Pallmer (MP), Joss-Thunderstorm (JT) y Joss-Drizzle (JD).

Diversos estudios muestran que un enlace no se ve afectado por la presencia de lluvia durante toda la trayectoria del mismo, ni durante todo el tiempo que dilata (Crane), por lo que hay que considerar que ésta únicamente afecta al enlace durante un periodo de tiempo finito y a lo largo de un segmento de su trayectoria. Asimismo, la distribución o cantidad de agua durante una tempestad no es uniforme; si la variable es el tiempo, la intensidad se incrementa por momentos, para después disminuir. El mismo fenómeno es observado, si se toma como variable a la altura.

En el transcurso de la historia de las comunicaciones han sido desarrollados modelos para predecir la atenuación que puede sufrir una onda electromagnética al propagarse en cuerpos de agua. Estos modelos toman como parámetros la frecuencia a utilizar, la intensidad de la lluvia en la localidad del enlace y la disponibilidad deseada del mismo. Los principales modelos de atenuación por lluvia son el de Rice\_Homberg, el de Dutton-Daugherty, el de S.H. Lin y el modelo global de Crane. Los tres primeros tienen como variable únicamente a la intensidad de la lluvia, como factor representativo del medio atmosférico. Por el contrario, el modelo de Crane está basado en mediciones meteorológicas y en el clima específico de cada región.

Este modelo divide a todo el globo en ocho tipos de regiones, así solo deberá de situar la zona en la que se llevará a cabo el enlace y después obtener los datos de la Tasa de lluvia (denominada generalmente como  $R^{(2)}$ ) para calcular con mayor precisión la atenuación debido a la lluvia. En México se presentan las regiones D, E, F y G.

En la siguiente tabla se muestran algunos valores de disponibilidad deseada utilizadas con mayor frecuencia, obviamente si un enlace requiere de un grado mayor de disponibilidad el costo del enlace aumenta, por lo que no se debe de olvidar el concepto costo-beneficio, es importante pues, decidir el tipo de aplicación que se va a utilizar para elegir este parámetro.

---

<sup>2</sup> Freeman, Roger L.; "Radio System Design For Telecommunications (1-100GHz.); Ed. John Wiley & Sons, 1987

Disponibilidad %	Tiempo de Interrupción	Porcentaje de tiempo excedido
99.0	87.7 horas/año	1.0
99.5	43.8 horas/año	0.5
99.75	21.9 horas/año	0.25
99.85	13.1 horas/año	0.15
99.90	8.8 horas/año	0.10
99.95	4.4 horas/año	0.05
99.98	1.8 horas/año	0.02
99.999	0.5 horas/año	0.001

Tabla 1.- Relación disponibilidad-tiempo de interrupción-porcentaje excedido

Es importante mencionar que existe mayor problema cuando nuestra frecuencia es superior a los 10 Ghz., debido a que este trabajo trata la propagación de ondas con tecnología de espectro disperso y esta no excede los 10 GHz. no se tomará en consideración.

# ESPECTRO DISPERSO

## III.1 CONCEPTOS BÁSICOS

El desarrollo de las comunicaciones en este siglo ha sido cada vez más rápido debido a los avances tecnológicos, es importante mencionar que muchos de estos se han gestado durante las guerras, por citar alguno, el invento del radar durante la segunda guerra mundial. Sin lugar a dudas, los avances más significativos para las comunicaciones se han desarrollado durante y para las guerras. Es así como surge esta técnica de modulación denominada espectro disperso, la cual tiene por prioridad evitar que la información pueda ser interceptada, además de poder utilizarse en lugares donde se genera ruido intencional. Este sistema de comunicación fue desarrollado por el ejército de los Estados Unidos. Sin embargo en el año de 1980, la C.F.C. (Comisión Federal de Comunicaciones<sup>3</sup>) expresó el deseo de extender el espectro disperso fuera del dominio militar y permitir a los radio aficionados experimentar con estos sistemas.

Antes de intentar definir lo que es un sistema de espectro disperso primero se debe definir el concepto de espectro. Cada sistema de modulación o transmisión tiene una característica singular, esta incluye la frecuencia en la cual se centra la señal y el ancho de banda que utiliza para su modulación y transmisión. El espectro es la representación de una señal en el dominio de la frecuencia. Sin embargo una señal puede estar representada en el dominio del tiempo o la frecuencia, para poder realizar una transformación, se utilizan herramientas matemáticas conocidas como transformada de Fourier y transformada de Laplace, las cuales se definen de la siguiente manera:

Transformada de Fourier:

$$F(f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (\text{III.1})$$

Transformada inversa de Fourier:

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(f)e^{j\omega t} df \quad (\text{III.2})$$

Para que la Transformada de Fourier exista, y pueda ser aplicada a alguna función, se requiere que exista la siguiente integral:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(t)dt \quad (\text{III.3})$$

<sup>3</sup> Organismo que en los Estados Unidos regula todo lo relativo a las telecomunicaciones o comunicaciones eléctricas, incluso la radiodifusión y la videodifusión, y los servicios telefónicos, telegráficos y de radiocomunicación en todas sus modalidades (F.C.C. por sus siglas en inglés).



En el caso de que alguna función fuese discontinua se aplica la transformada de Laplace:

$$L(s) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt \quad (\text{III.4})$$

En la figura 3.1, se muestran algunas de las transformadas de Laplace y Fourier que son muy importantes en el estudio de los sistemas de espectro disperso.

Sobra mencionar que existe una gran cantidad de literatura sobre el tema de la Transformada de Fourier y de Laplace, sin embargo esta Tesis no pretende analizar estos temas, por lo que al final se citan algunos libros interesantes que pueden ahondar mas sobre estos conceptos.

En el capítulo uno se citó que, el espectro disperso no es más que otra técnica de modulación con características muy singulares, como la de disponer de toda una banda de frecuencia para transmitir una señal, aunque la señal antes de ser modulada deberá utilizar el menor ancho de banda posible. En los sistemas convencionales (F.M. o banda lateral única A.M.) se permite que el ancho de banda para transmitir sea comparable con el ancho de banda de la propia información. Por otro lado, un sistema de espectro disperso frecuentemente toma una señal de banda base, (p.e. un canal de voz) con un ancho de banda de solamente unos pocos kilohertz y los distribuye sobre una banda que quizá tenga muchos megahertz de ancho.

Para que un sistema de comunicación pueda ser considerado como un sistema de espectro disperso, la señal que se va a transmitir tiene que satisfacer dos criterios:

1. El ancho de banda de la señal transmitida, deberá ser mucho mayor que el ancho de banda del mensaje. Esto por sí mismo, no es suficiente porque hay muchos métodos de modulación que lo realizan. Por ejemplo, la modulación en frecuencia, modulación de impulsos codificados (P.C.M.), y la modulación delta, las cuales cumplen con esta restricción ya que sus anchos de banda son mucho más grandes que los anchos de banda del mensaje.
2. El segundo criterio, es que el ancho de banda de la transmisión este determinado por alguna función que sea independiente del mensaje y que sea conocida por el receptor.

En el caso de las modulaciones de F.M., P.C.M. y la modulación delta, la expansión del ancho de banda se debe a que de esa manera se combate al ruido blanco (recuerde que el ruido blanco Gaussiano es un modelo matemático que por definición tiene una potencia infinita distribuida uniformemente sobre todas las frecuencias), en los sistemas de espectro disperso esto no es el objetivo, ya que algunas de sus aplicaciones incluyen:

Función en el Tiempo

Función en la Frecuencia

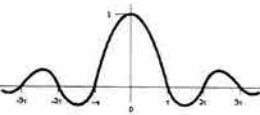
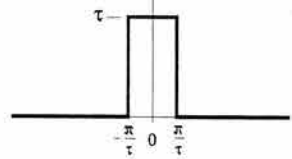
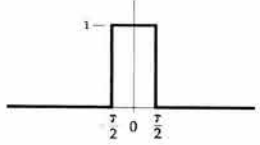
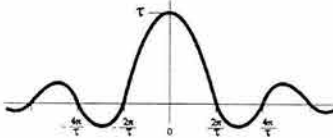
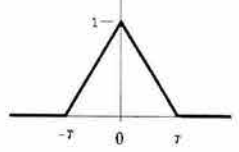
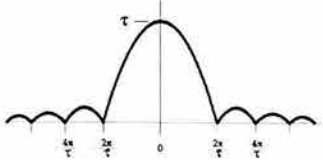
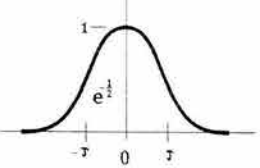
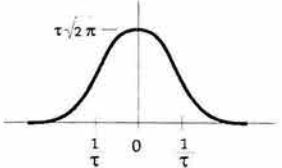
<p>sen x x envolvente</p>		$f(t) = \frac{\text{sen}(\pi t / \tau)}{\pi t / \tau}$	$F(\omega) = \begin{cases} \tau, &  \omega  < \pi / \tau \\ 0, &  \omega  > \pi / \tau \end{cases}$		<p>Espectro de Frecuencias Rectangular</p>
<p>Envolvente Rectangular</p>		$f(t) = \begin{cases} 1, &  t  < \tau / 2 \\ 0, &  t  > \tau / 2 \end{cases}$	$F(\omega) = \tau \frac{\text{sen}(\omega \tau / 2)}{\omega \tau / 2}$		<p><math>\frac{\text{sen } x}{x}</math> Espectro de Frecuencia.</p>
<p>Envolvente Triangular.</p>		$f(t) = \begin{cases} 1 -  t  / \tau, &  t  < \tau \\ 0, &  t  > \tau \end{cases}$	$F(\omega) = \tau \frac{\text{sen}^2(\omega \tau / 2)}{\omega \tau / 2^2}$		<p><math>\left(\frac{\text{sen } x}{x}\right)^2</math> Espectro de Frecuencia</p>
<p>Envolvente Gaussiana</p>		$f(t) = e^{-(t/\tau)^2 / 2}$	$F(\omega) = \tau \sqrt{2\pi} e^{-(\tau\omega)^2 / 2}$		<p>Espectro de Frecuencia Gaussiano.</p>

Fig. 3.1 Cuatro transformadas de Fourier importantes y sus funciones correspondientes del tiempo y la frecuencia.

- Capacidad contra perturbaciones intencionales.
- Rechazo a la interferencia.
- Capacidad para acceso múltiple.
- Protección contra multitrayectoria.
- Baja probabilidad para interceptar la señal transmitida.
- Comunicaciones seguras.
- Eficiencia espectral mejorada.
- Medición remota.

En la siguiente figura se trata de mostrar lo que sucede cuando una señal contiene ruido blanco y la otra ruido intencional, antes de que la señal se expanda y después de ser expandida por la técnica de espectro disperso.

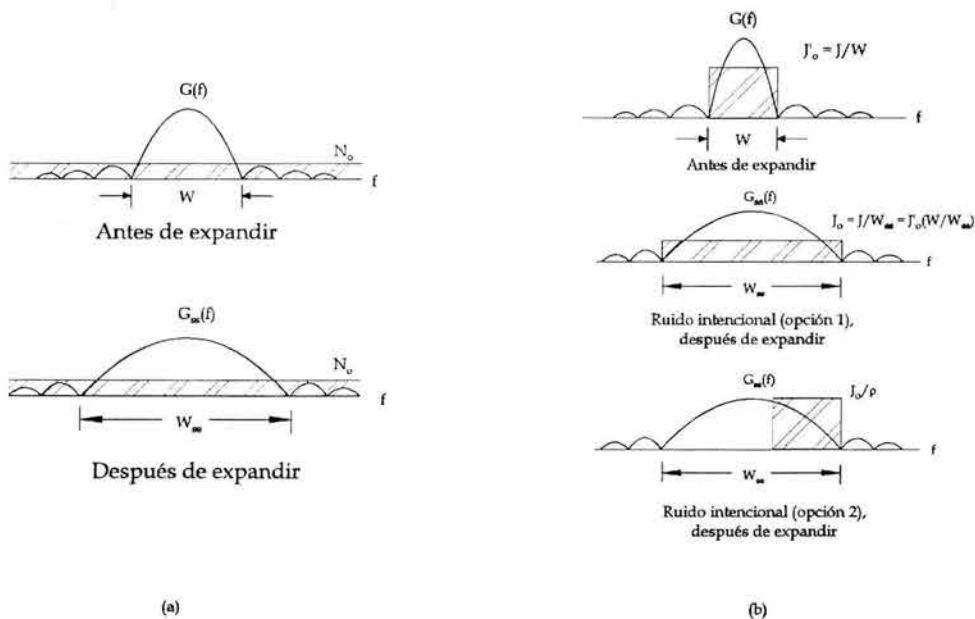


Fig. 3.2 Efecto del espectro disperso. (a) Espectro disperso en presencia de ruido blanco.

(b) Espectro disperso en presencia de ruido intencional

$G(f)$  es la densidad espectral de potencia antes de expandir y  $G_{ss}(f)$  después de expandir,  $N_o$  es el ruido blanco Gaussiano,  $W$  es el ancho de banda antes de expandir y  $W_{ss}$  después de expandir. En la figura 3.2 (a), el ruido ( $N_o$ ) no afecta la señal de manera significativa, además el ruido sigue conservando las mismas características después de que la señal se expande. En cambio en la figura 3.2 (b) se observa que el ruido puede tener dos opciones, en la primera, la densidad del ruido se reduce por el factor  $(W/W_{ss})$ , a esto se le conoce como *Densidad espectral del ruido intencional de banda ancha*, esto es muy conveniente ya que el ruido se reduce, así como el efecto que podría producir a la señal que se va a transmitir. En la opción 2, el ruido ocupa una parte de la señal, al expandir se ve que el ruido puede disminuir o aumentar debido al factor  $J_o/\rho$  ( $0 < \rho \leq 1$ ) donde  $\rho$  es la porción de la banda del espectro disperso que elige el ruido para utilizarla; obviamente si el ruido utiliza una porción pequeña, entonces el ruido se reduce y se obtiene una señal de mayor calidad, sin

embargo, se puede presentar el caso contrario, en donde la parte que utiliza el ruido es la misma que se tiene en la señal original (como se muestra en la figura), este sería el caso extremo y aún así, se nota que al ampliar el espectro se obtiene un buen resultado ya que la cantidad que afecta el ruido es menor, comparada con la forma inicial. Es interesante decir que el ruido "intencional" (jamming en inglés) no siempre es un acto premeditado, puede ser causado por fenómenos naturales y algunas veces es el resultado de una interferencia propia causada por la multitrayectoria, lo cual se origina por algún retraso, por rutas alternas que puede tomar la señal interfiriendo así la transmisión directa que lleva la señal al llegar al receptor.

Existen muchos tipos de sistemas de espectro disperso. Una primera forma de clasificarlos es analizando la manera para minimizar la interferencia, de esta forma se tienen dos grupos, los Sistemas de Promedio y los Sistemas de Evasión. Un Sistema de Promedio, es aquél en el cual la reducción de interferencia es posible debido a que, durante la transmisión, todas las señales incluyendo las de interferencia se van promediando, obteniendo un nivel de la señal durante todo el intervalo de tiempo, si este promedio se incrementa (recuerde que cuando la señal del ruido es intencional, el nivel de la señal se ve alterado considerablemente) durante la transmisión, entonces los sistemas recortan estas señales o no las consideran como parte de la señal original. Un sistema de evasión, es aquél en el cual la reducción de la interferencia ocurre debido a que la señal elude la interferencia en el tiempo que dura la transmisión de la señal, esto se logra ya que la señal en cada instante brinca en la frecuencia, o en el tiempo, si se considera que es un periodo largo, entonces el ruido no altera la señal de manera significativa.

Un segundo método para clasificar a los sistemas de espectro disperso es por la modulación.

Las técnicas de modulación que se utilizan comúnmente son las siguientes:

- ◇ Secuencia directa.
- ◇ Saltos de Frecuencia.
- ◇ Saltos de Tiempo.

Los sistemas que utilizan la modulación de secuencia directa, son sistemas de promedio, mientras que los sistemas de evasión son los que utilizan las técnicas de saltos de frecuencia y tiempo.

Las bases de la tecnología del espectro disperso están expresadas por C.E. Shannon en la ecuación que define la máxima capacidad del canal:

$$C = W \log_2 (1+S/N) , \quad (\text{III.5})$$

en donde :

C = capacidad en bits por segundo.

W = ancho de banda en Hertz.

N = potencia del ruido en Watts

S = potencia de la señal en Watts

Esta ecuación muestra la relación que existe entre la capacidad del canal para transferir la información libre de error, comparada con la relación de la señal a ruido existente en el canal y el ancho de banda utilizado para transmitir la información.

Cabe mencionar que estos sistemas se desarrollaron para evitar la interferencia, por lo que se espera que la potencia del ruido sea mucho mayor a la potencia de la señal, de esta manera se puede iniciar un análisis para los sistemas de espectro disperso.

Si de la ecuación anterior se supone conocida la capacidad del canal, se cambian las bases del logaritmo y la relación señal a ruido es pequeña, digamos  $\leq 0.1$  (esto se logra ya que la potencia del ruido es similar e incluso mayor a la de la señal):

$$C = W 1.44 \log_e(1+S/N) ; \quad \frac{C}{W} = 1.44 \frac{S}{N}$$

$$\log_e(1+S/N) = S/N - 1/2(S/N)^2 + 1/3(S/N)^3 - 1/4(S/N)^4 \dots (-1 < S/N < 1)$$

$$\frac{N}{S} = \frac{1.44W}{C} \equiv \frac{W}{C} \quad (\text{III.6})$$

y así:

$$W = \frac{NC}{S} \quad (\text{III.7})$$

De esta manera, se tiene que, para cualquier relación de señal a ruido, se obtiene una tasa baja de error si se incrementa el ancho de banda de la señal que va a transmitirse. Por ejemplo, si se requiere un sistema operando en un enlace, en el cual el ruido de interferencia es 100 veces mayor que la señal y la información está a 3 kilobits por segundo, entonces los 3 kbps de información deberán transmitirse con un ancho de banda de:

$$W = \frac{1 \times 3 \times 10^5}{1.44} = 2.08 \times 10^5 \text{ Hz}$$

La información por sí misma puede ser encapsulada en la señal de espectro disperso por muchos métodos. El más común es en el que la información se suma al código del espectro disperso antes de ser utilizada por alguna modulación de dispersión. Por supuesto que esta información deberá estar en alguna forma binaria, ya que ésta será sumada a un código binario. Así, la esencia del espectro disperso es el arte de expandir el ancho de banda de una señal, transmitirla, recibirla y recuperarla en el ancho de banda original. Además, estos sistemas son capaces de minimizar la interferencia, ruido o cualquier otra perturbación que pueda sufrir la información al ser transmitida.

### III.2. SECUENCIA DIRECTA

Los sistemas de Secuencia Directa son los más conocidos y los más utilizados en los sistemas de espectro disperso. Esto se debe a la relativa simplicidad para implementar equipos con este tipo de modulación

La modulación con Secuencia Directa consiste básicamente en dos procesos de modulación, el primero consiste en modular la señal portadora con la señal que lleva la información o los datos, el segundo consiste en modular la señal que se generó en el primer proceso por un código de secuencia de alta velocidad (banda ancha), para ser entonces transmitida.

Este método puede ser simplificado si en lugar de modular dos veces la señal, se modula sólo una vez, esto es, se realiza la multiplicación de la señal de datos por el código de secuencia (que también se le conoce como código de pseudo ruido), la señal que resulta de este proceso se modula por una portadora utilizando algún método de modulación angular, como se ve en la siguiente figura:

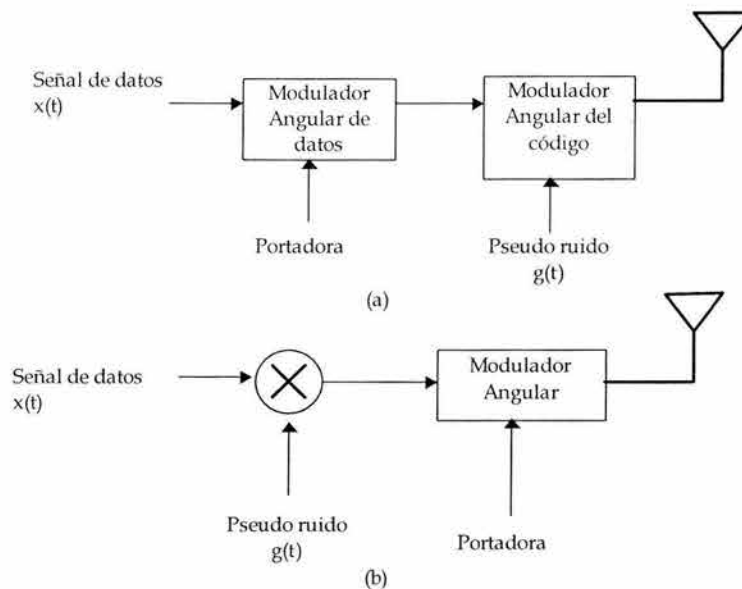


Fig. 3.3 Sistema de Espectro disperso con modulación de Secuencia Directa  
 (a) Transmisor con Secuencia Directa y modulación angular.  
 (b) Transmisor simplificado de Secuencia Directa con modulación angular

El código que utiliza el espectro disperso se obtiene de un generador de pseudoruido que tiene una longitud fija, el generador se basa en un Procesador Digital de Señales. Después de un número dado de bits, el código se repite exactamente. En la siguiente figura se puede observar una secuencia binaria aleatoria de pulsos durante un periodo fijo, a cada pulso fundamental de esta secuencia se le conoce como "chip".

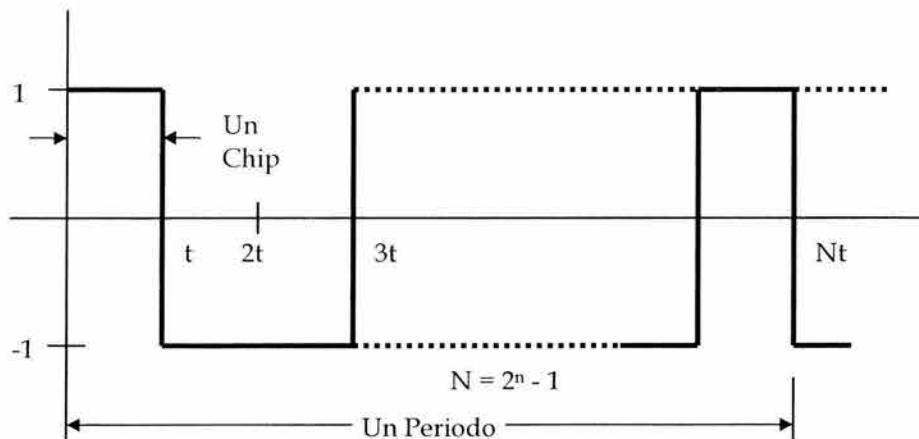


Fig. 3.4 Secuencia binaria periódica, Pseudoruido.

A la velocidad con la cual se transmite la secuencia se le llama tasa de cambio de chip y sus unidades son los chips por segundo (cps). En el caso general, la modulación con secuencia directa puede considerarse como una modulación en A.M. (pulsos), F.M. o cualquier otra forma de modulación en amplitud o modulación angular.

Como se ha mencionado, la señal antes de ser transmitida tiene que modularse, el tipo de modulación que utiliza esta técnica es angular; es conveniente mencionar los tipos de modulación que se utilizan en los sistemas de espectro disperso para la secuencia directa.

Dentro de la modulación angular, se encuentra la modulación por desplazamiento de fase (PSK), la cual es una modulación digital de amplitud constante. La modulación del tipo PSK es similar a la modulación en fase convencional, excepto que con PSK la señal de entrada es una señal digital binaria y es posibles un número limitado de fases de salida. A partir de esta modulación surgen las modulaciones BPSK y QPSK que son una variante de ésta modulación. Con la transmisión por desplazamiento de fase binaria (BPSK), son posibles dos fases de salida para una sola frecuencia de la portadora. Una fase de salida representa un 1 lógico y la otra un 0 lógico. Conforme la señal digital de entrada cambia de estado, la fase de la portadora de salida se desplaza entre dos ángulos que están  $180^\circ$  fuera de fase. Otros nombres que se le dan a BPSK son transmisión inversa de fase (P.R.K.) y modulación bifásica, en las siguientes figuras se ve como funciona esta modulación así como un modulador de secuencia directa con modulación bifásica.

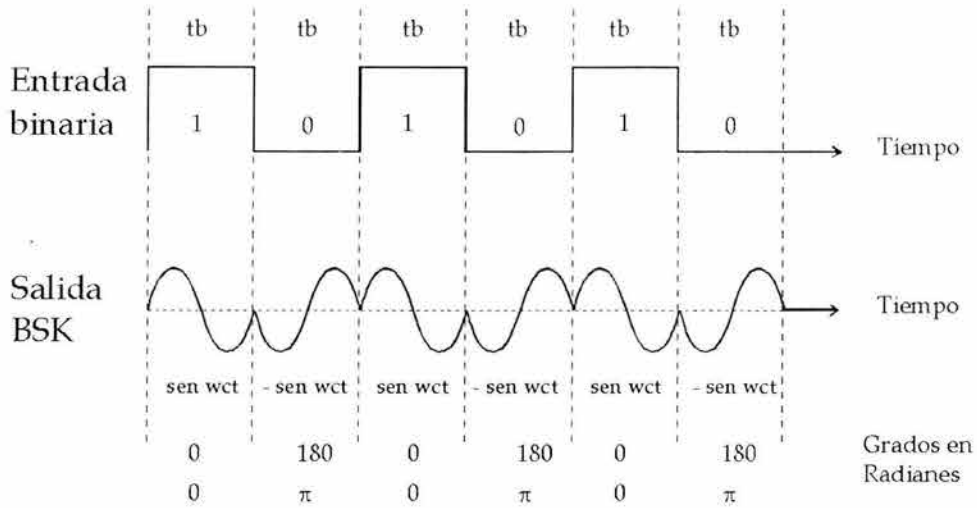


Fig. 3.5 Relación de la fase de salida contra tiempo para un modulador de BPSK

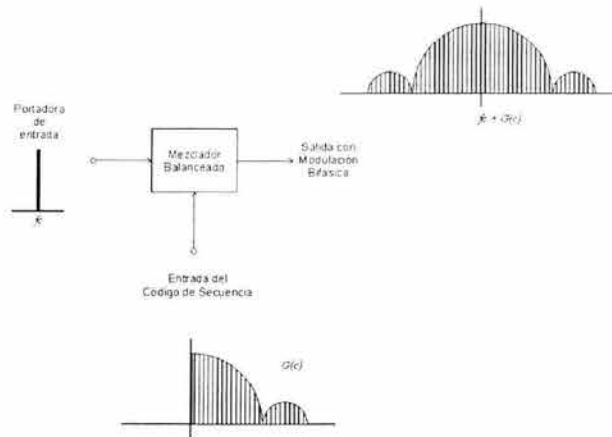


Fig. 3.6 Modulador de Secuencia Directa (Bifase).

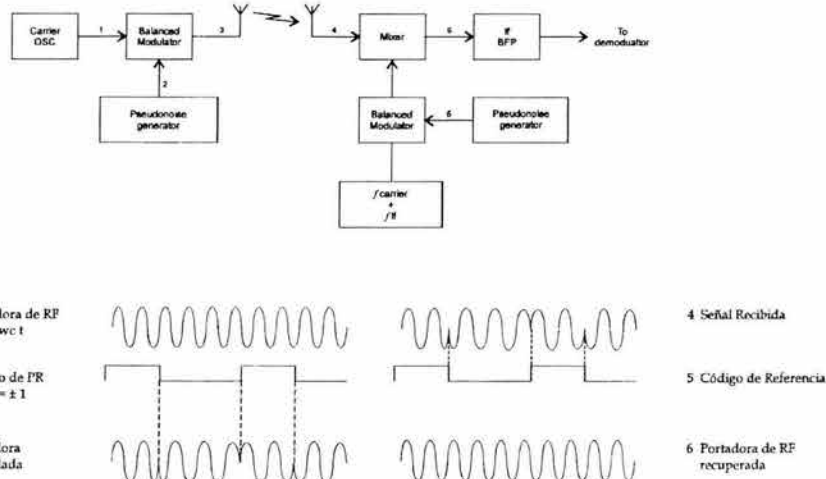


Fig. 3.7 Exhibición del sistema de Secuencia Directa mostrando las formas de onda.



La transmisión por desplazamiento de fase cuaternario (QPSK) o, PSK en cuadratura como a veces se llama, es otra forma de modulación angular de amplitud constante. La QPSK es una técnica de codificación "M-ario", en donde  $M=4$ . Con QPSK son posibles cuatro fases de salida, para una sola frecuencia de la portadora. Debido a que hay cuatro fases de salida diferentes, tiene que haber cuatro condiciones de entrada diferentes. Ya que la entrada digital a un modulador QPSK es una señal binaria (base 2), para producir cuatro condiciones diferentes de entrada, se necesita más de un solo bit de entrada. Con dos bits, hay cuatro posibles condiciones: 00, 01, 10 y 11. En consecuencia, con esta modulación los datos de entrada binarios se combinan en grupos de 2 bits llamados dibits. Cada código dibit genera una de las cuatro fases de entrada posibles. Por tanto, para cada dibit de 2 bits introducidos al modulador, ocurre solamente un cambio a la salida. Así que, la razón de cambio en la salida (razón de baudio), es la mitad de la razón de bit de entrada.

Una razón por la que se utilizan este tipo de modulaciones es que sólo el 10% de la señal de espectro disperso se encuentra en los lóbulos laterales.

En la figura 3.7 se puede ver de una manera simple lo que es un enlace utilizando tecnología de espectro disperso utilizando la técnica de secuencia directa para una modulación BPSK de la señal portadora (Cabe mencionar que en esta figura no se incluye la señal de datos, sin embargo el funcionamiento no se altera). En la figura se observa que los sistemas de secuencia directa son similares a los enlaces de comunicaciones convencionales como AM o FM con el código de modulación incrustándose sobre la portadora. En la práctica actual, la portadora usualmente no está modulada por la información de banda base (cabe mencionar que la banda base es la señal de información que modula la portadora principal); la información de banda base se digitaliza y se suma al código de secuencia.

Hasta el momento se ha mencionado cómo se transmite la señal de espectro disperso, citando las características más importantes para que se lleve a cabo una transmisión adecuada. Ahora se debe analizar qué es lo que sucede en el receptor para comprender totalmente el sistema que se está analizando.

Básicamente son tres los pasos que se deben seguir para recuperar la señal satisfactoriamente, estos son:

1. Detectar la señal.
2. Reducir el ancho de banda de la señal.
3. Demodular el mensaje.

Los puntos 1 y 2 se pueden realizar de dos formas, se les conoce como detección activa y pasiva. El método activo se encarga de detectar la señal en el dominio del tiempo o la frecuencia, fijando o siguiendo la señal después de que ésta se adquirió. El método pasivo consiste en buscar la señal sólo en el dominio de la frecuencia, además de que estos sistemas operan conforme se va adquiriendo la señal. Para lograr el punto 2, se multiplica la señal que llega con un generador de pseudoruido que se tiene a la recepción, el cual

tiene la misma secuencia que el transmisor, sólo que este contempla un retraso para que se logre la sincronía de las señales, a este proceso de sincronización se le conoce como correlacionar las señales, esto es, medir el grado de defasamiento de la señal transmitida y la recibida; entonces cuando las señales están alineadas en el tiempo, se puede recuperar el ancho de banda original. Escoger alguno de los métodos dependerá de las condiciones que prevalezcan en los sistemas, los métodos activos se utilizan preferentemente cuando las secuencias son muy largas o cuando el proceso de ganancia es grande. Los métodos pasivos son más adecuados para secuencias cortas y también ayudan a adquirir las señales, estos métodos pueden combinarse y estar presentes en un receptor.

El tercer inciso consiste en demodular la señal y esto se logra con los métodos ya conocidos, es importante que antes de demodular la señal, ésta se filtre con el fin de obtener solamente la señal deseada y no el ruido que se le agrega durante la propagación de la señal, generalmente estos filtros son de banda angosta. La señal filtrada puede ser utilizada como un medio para controlar el reloj que maneja al generador de pseudoruido y así incrementar la sincronía que se debe tener.

Las señales no deseadas se tratan igualmente, entran en el mismo proceso de multiplicación a la recepción y forman parte de la señal de secuencia directa que se recibe, por lo tanto se encuentran contenidas en el ancho de banda de la portadora original. Sin embargo cualquier señal que entra y no está sincronizada con el código que se encuentra en la recepción (una señal de banda amplia) se dispersa en un ancho de banda que es igual a su propio ancho de banda más el ancho de banda de la referencia; una señal a la entrada que no esté sincronizada se distribuye dentro de un ancho de banda amplio, por lo menos, como el de la referencia que está en el receptor, así el filtro paso banda puede rechazar casi toda la potencia de la señal no deseada.

Hasta aquí se han mencionado los aspectos fundamentales que se llevan a cabo para poder transmitir y recibir una señal con la técnica de espectro disperso, sin embargo se tienen que considerar dos conceptos muy importantes, los cuales se denominan: "proceso de ganancia" y "margen de interferencia", el proceso de ganancia es la diferencia entre la relación de señal a ruido a la salida de un procesador con la señal de entrada al procesador, por ejemplo, si se tiene una relación de señal a ruido de 10 dB a la entrada y a la salida tenemos 16 dB, entonces el proceso de ganancia será de 6 dB.

En los sistemas de espectro disperso el proceso de ganancia puede calcularse con la siguiente expresión:

$$\text{proceso de ganancia} = G_p = \frac{BW_{RF}}{R_{info}} \quad (\text{III.8})$$

en donde:

$BW_{RF}$  = ancho de banda de la señal de espectro disperso transmitida.

$R_{info}$  = velocidad de transmisión de los datos en el canal de banda base.

El margen de interferencia indica la capacidad de operación de un sistema bajo condiciones hostiles, las cuales pueden ser intencionales o naturales. Para poder calcular este margen, se debe considerar la ganancia del sistema, las pérdidas normales que se tienen al implementar un sistema y la relación señal a ruido de la información que se va a transmitir, así se tiene que:

$$\text{margen de interferencia} = G_p \left[ L_{\text{sys}} + \left( \frac{S}{N} \right)_{\text{salida}} \right] = M_i \quad (\text{III.9})$$

en donde:

$L_{\text{sys}}$  = pérdidas por la implementación del sistema.

$(S/N)_{\text{salida}}$  = relación señal a ruido de la información de salida.

Por ejemplo, un sistema operando con un proceso de ganancia de 30 dB, con una relación señal a ruido mínima de 10 dB y pérdidas de 2 dB, da por resultado un margen de interferencia de 18 dB, lo cual indica que el sistema puede trabajar soportando una interferencia máxima de 18 dB alrededor de la señal deseada.

### III.3. SALTOS DE FRECUENCIA

De una manera sencilla se puede decir que una modulación con saltos de frecuencia no es más que una modulación del tipo FSK (manipulación por desplazamiento de frecuencia) excepto que en la modulación por saltos de frecuencia se cuentan con muchas frecuencias para poder transmitir la información. En una modulación del tipo FSK sólo se cuenta con dos frecuencias, una  $f_1$  para transmitir un "uno" binario y una frecuencia  $f_2$  para transmitir un "cero" binario. En una señal de saltos de frecuencia, la frecuencia se mantiene constante en un intervalo de tiempo y va saltando en la frecuencia según lo dicte el código de pseudoruido, esto se aprecia en la siguiente figura:

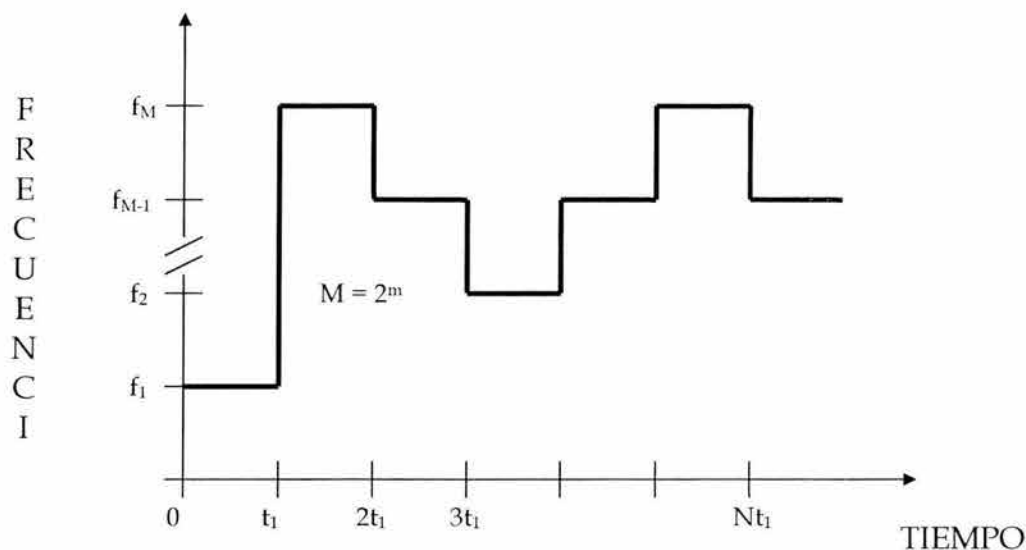


Fig. 3.8 Señal de Saltos de Frecuencia

El número de frecuencias que se deben escoger para este tipo de modulación dependerá de las características y requerimientos que se presenten en cada caso particular. Algunas de estas características son las siguientes:

1. El tipo de información que se va a transmitir y su velocidad.
2. La cantidad de redundancia que se utilizará.
3. La distancia al punto más cercano que pueda producir interferencia considerable.

En su forma básica un sistema de saltos de frecuencia cuenta con un modulador MFSK, un generador de Pseudoruido y un modulador de Saltos de Frecuencia (sintetizador de frecuencia) como se muestra en la siguiente figura:

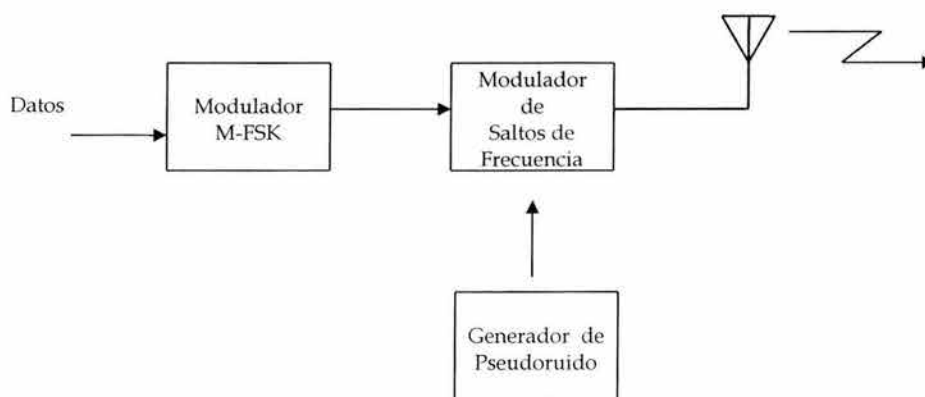


Fig. 3.9 Sistema Transmisor de Saltos de Frecuencia

Antes de iniciar el análisis de estos sistemas, es conveniente recordar las características que tiene la modulación FSK. La transmisión por desplazamiento de frecuencia binario (FSK)

es una forma de modulación angular de amplitud constante, similar a la modulación en frecuencia convencional, excepto que la señal modulante es un flujo de pulsos binarios que varía entre dos niveles de voltaje discreto, en lugar de una forma de onda analógica que cambia de manera continua. Con el FSK binario, la frecuencia central o de portadora se desplaza (se desvía), por los datos de la entrada binaria. En consecuencia, la salida de un modulador de FSK binario es una función escalón en el dominio del tiempo. Conforme cambia la señal de entrada binaria de 0 a 1 lógico, y viceversa, la salida del FSK se desplaza entre dos frecuencias: una frecuencia de marca o de 1 lógico y una frecuencia de espacio o de 0 lógico. Con el FSK binario, hay un cambio en la frecuencia de salida, cada vez que la condición lógica de la señal de entrada binaria cambia. Así, la razón de salida del cambio es igual a la razón de entrada del cambio. En la modulación digital, la razón (rapidez) de cambio en la entrada del modulador se llama razón de bit y tiene las unidades de bits por segundo (bps). La rapidez (razón) de cambio en la salida del modulador se llama baudio o razón de baudio y es igual al recíproco del tiempo de un elemento de señalización de salida. En esencia, el baudio es la razón de línea en símbolos por segundo. En el FSK binario, las razones de cambio de entrada y salida son iguales; en consecuencia, la razón de bit y la razón de baudio son iguales. Un transmisor de FSK binario sencillo se muestra en la siguiente figura.

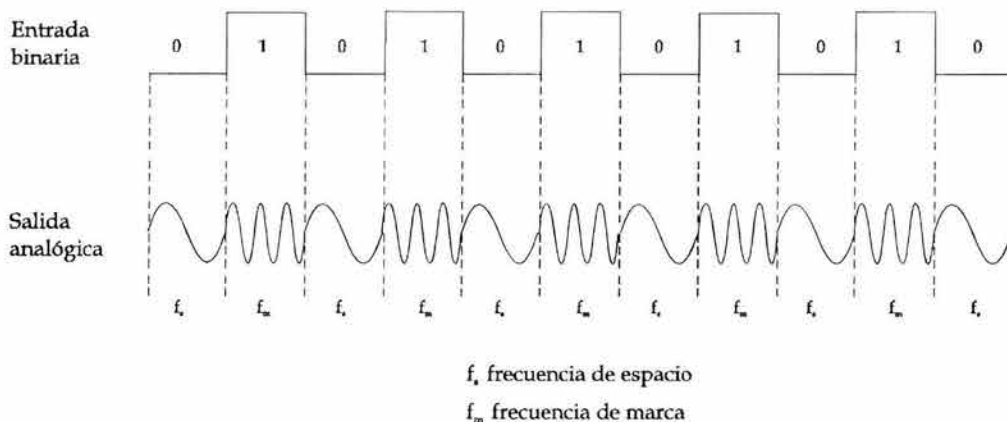


Fig. 3.10 Transmisor de FSK binario

Con este antecedente, se puede entender mejor el primer paso de la modulación, ya que el tipo de modulación que se utiliza es el M-FSK, el cual es una variante de la modulación FSK, en donde M indica el número de desplazamientos en frecuencia que se tienen, es decir, para el caso de FSK, el valor de  $M=2$ , pues se tienen dos cambios de frecuencia, así se van agrupando bits para lograr algún tipo de modulación M-FSK, el valor de  $M = 2^m$ , en donde m es el número de bits que se agruparán, por ejemplo si se quieren ocho

desplazamientos, entonces se deben tomar secuencias de 3 bits y así ir asignando frecuencias.

SÍMBOLO	FRECUENCIA
000	$f_1$
001	$f_2$
010	$f_3$
011	$f_4$
100	$f_5$
101	$f_6$
110	$f_7$
111	$f_8$

A esta modulación se le conoce como 8-ary-FSK.

En la figura 3.9 se observa que la señal de datos ya modulada sufre una segunda modulación esta modulación es producida por el generador de pseudoruido y consiste en desplazar la señal a otra frecuencia de acuerdo al código de pseudoruido. En la siguiente figura se trata de ejemplificar el proceso de transmisión.

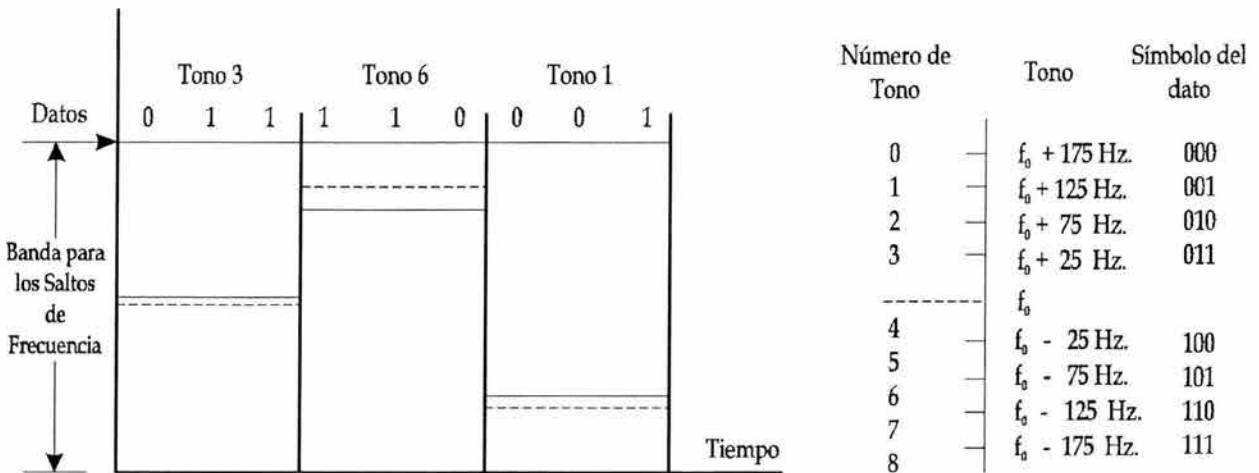


Fig. 3.11 Ejemplo de Saltos de Frecuencia utilizando una modulación 8-ary FSK.

Cada símbolo se transmite en un tono distinto, la línea sólida indica en qué frecuencia se ubica el símbolo después de ser modulado con M-FSK, la línea punteada indica en qué nueva frecuencia se transmitirá realmente, este pequeño salto lo produce la segunda modulación y es en esta frecuencia en la que se transmite la señal. Estos incrementos de frecuencia (línea punteada) no son iguales para todos los símbolos, es decir para una primera secuencia, por ejemplo 000, se transmite en una frecuencia  $f_1$  debido a la modulación de tipo M-FSK y sufre un segundo incremento de frecuencia  $\Delta f_1$ , para la

siguiente secuencia, por ejemplo 101, se transmite con una frecuencia  $f_5$  y debido al código de pseudoruido sufre un incremento de frecuencia  $\Delta f_5$ , estos incrementos de frecuencia NO son necesariamente iguales ( $\Delta f_1 \neq \Delta f_5$ ), a diferencia de los incrementos de frecuencia debido a la modulación M-FSK en donde los incrementos siempre son de la misma magnitud, en este ejemplo el incremento es de 50 Hz.

Algunos autores dividen a estos sistemas en sistemas de saltos rápidos y sistemas de saltos lentos, la diferencia entre ambos consiste en la velocidad con la que se transmite el mensaje comparada con la velocidad con la que se produce el salto de frecuencia, se dice que un sistema es de saltos rápidos cuando la velocidad del salto es mucho mayor que la velocidad con la que se está transmitiendo el mensaje; en los sistemas de salto lento la velocidad con la que ocurre el salto es mucho menor que la velocidad con la que se está transmitiendo el mensaje.

Es importante mencionar que el mensaje antes de ser modulado debe de utilizar algún código de corrección de errores, esto se debe a que al saltar en la frecuencia puede ocurrir algún problema, lo cual repercutiría en la pérdida de información, lo que ocasionaría que la información no fuera la correcta, por lo anterior, es necesario contar con esta herramienta para poder recuperar adecuadamente la señal que se está transmitiendo.

Al igual que los sistemas de secuencia directa, estos cuentan con un proceso de ganancia, este se define como la razón que existe entre el ancho de banda de la señal y el ancho de banda del mensaje. En los transmisores de espectro disperso con saltos de frecuencia se cuenta con un multiplicador de frecuencia a la salida del sistema, y su función es la de incrementar el ancho de banda para que aumente el proceso de ganancia.

Si las M frecuencias producidas son separadas por  $f_1 = 1/t_1$ , entonces el ancho de banda de la señal estará dado por la siguiente expresión:

$$B_s \cong KMf_1 = \frac{KM}{t_1} \quad (\text{III.10})$$

En donde K es la cantidad de multiplicación de frecuencia empleada.

El ancho de banda del mensaje está dado por la siguiente expresión:

$$B_m = 1/t_m \quad (\text{III.11})$$

En donde  $t_m$  es el tiempo de duración del chip. Así, el proceso de ganancia se obtiene con la siguiente expresión:

$$PG = \frac{B_s}{B_m} = \frac{KM/t_1}{1/t_m} = \frac{kKM/t_m}{1/t_m} = kKM \quad (\text{III.12})$$

El proceso de ganancia de un sistema de espectro disperso con saltos de frecuencia depende de la cantidad de multiplicación de frecuencias, el número de frecuencias empleadas y el número de saltos por mensaje.

Una vez que la señal se transmitió, se tiene que analizar la manera en la cual la señal se debe de recuperar, el primer paso para lograrlo es el de anular los saltos que sufre la señal al ser modulada, esto se logra utilizando un generador de Pseudoruido idéntico al que se tiene en la parte de la transmisión, este código se multiplica por la señal que entra a nuestro receptor, si los datos están en sincronía (es lo que se pretende al utilizar el mismo generador de Pseudoruido) entonces se genera una señal normal binaria del tipo M-FSK, la cual es demodulada de la manera usual y así se recupera la señal transmitida. Visto de esta manera resulta muy sencillo, sin embargo no es así, el proceso es más complejo, ya que se utilizan un mayor número de elementos para poder recuperar la señal de manera satisfactoria, algunos de estos elementos son filtros, relojes para sincronía, lógica para la corrección de errores, circuitos que permiten ajustar los tiempos de retardo de la señal, etc.

Vea la siguiente figura:

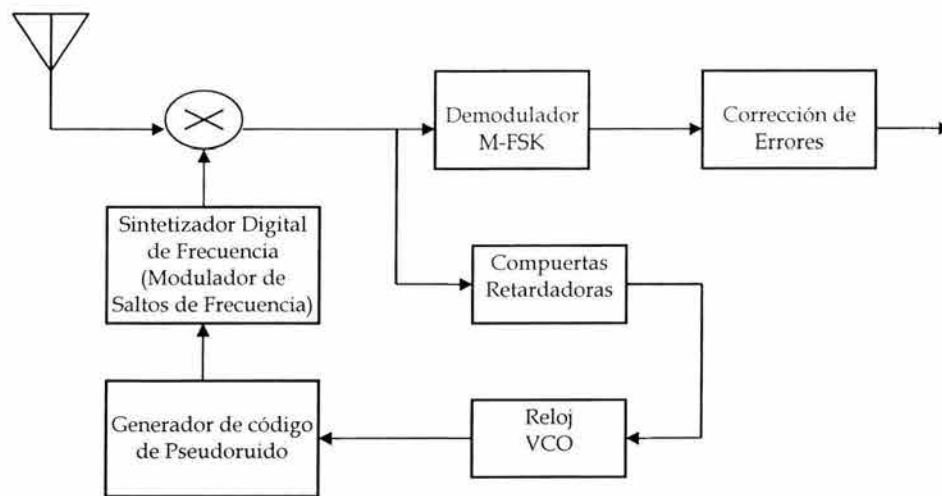


Fig. 3.12 Receptor de Saltos de Frecuencia.

De la figura se puede ver que existe un módulo de compuertas que sirven para “retardar” la señal, esto sirve para que una vez detectada la señal se sincronicen correctamente las señales, ya que al momento de transmitir una señal, esta sufre un retardo por la propagación, en seguida se encuentra un reloj (oscilador controlado por voltaje), el cual fija junto con las compuertas la sincronía de la señal que entra con la que se genera localmente. Al final se encuentra un módulo de corrección de errores, se mencionó que por las características de la modulación, es necesario utilizar este tipo de sistemas para poder obtener nuestro mensaje fielmente.



En la figura también se aprecia el demodulador de M-FSK, este módulo consta de comparadores de fase y un acumulador, el número de comparadores se determina por el valor que toma la  $M$ , en el caso que se ha manejado, serán 8 comparadores, el proceso de demodulación consiste en comparar la señal adquirida con las 8 frecuencias y fijar la señal con la que corresponde, enseguida la señal pasa por un circuito recortador de amplitud, esto se hace para evitar el ruido intencional o cualquier otro tipo de interferencia, después la señal pasa a un acumulador para que entre a una compuerta final que decidirá que símbolo representan y entonces concluir con el proceso de demodulación.

### III.4. SALTOS DE TIEMPO.

Al igual que en la modulación anterior, se tiene un salto de la información, en este caso, la señal va saltando en el tiempo, vea la siguiente figura:

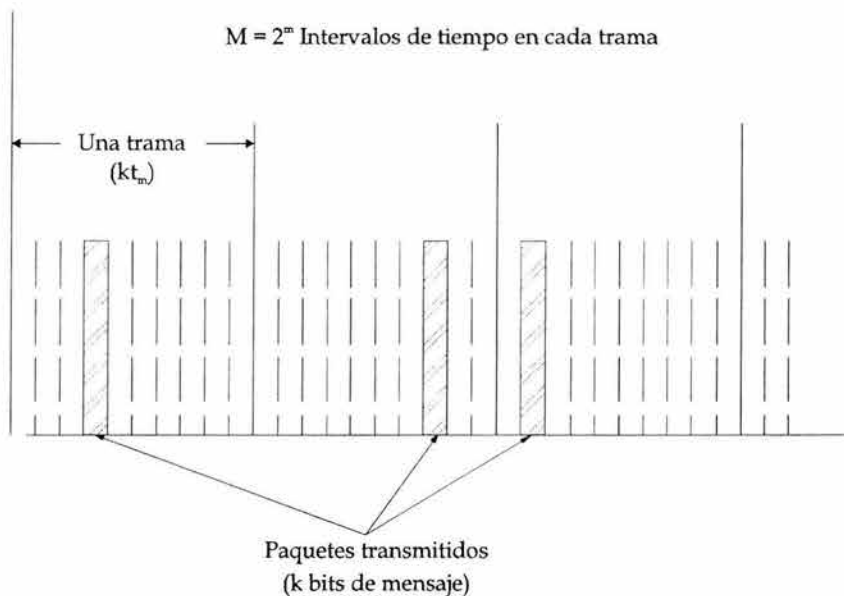


Fig. 3.13 Forma de onda para Saltos de Tiempo.

El eje del tiempo se divide en intervalos los cuales reciben el nombre de tramas, cada trama a su vez está dividida en  $M$  intervalos de tiempo. Durante cada trama solamente un intervalo de tiempo podrá ser modulado con un mensaje por cualquier técnica de modulación. El intervalo de tiempo que se escoge para una trama dada es seleccionado por el código de Pseudoruido. Todos los bits de un mensaje se acumulan en una trama y se transmiten en un paquete en el intervalo que se seleccionó. De lo anterior se define lo siguiente:

$T_f$  = duración de la trama

$k$  = número de bits del mensaje en una trama.

$T_f = kt_m$

El ancho de cada intervalo de tiempo en una trama es  $T_f/M$  y el ancho de cada bit en el intervalo de tiempo es  $T_f/kM$ , el cual es simplemente  $t_m/M$ . Esto indica que el ancho de banda de la señal transmitida es  $2M$  veces el ancho de banda del mensaje, y así el proceso de ganancia de un sistema de saltos de tiempo es simplemente dos veces el número de intervalos de tiempo en cada trama cuando se utiliza modulación bifásica, y la mitad cuando se utiliza modulación cuadrifásica.

En la siguiente figura se aprecia un receptor para este tipo de sistemas. Este consiste de un interruptor de "encendido" "apagado" que es manejado por un generador de Pseudoruido que se encarga de encender el interruptor cuando entra una trama que contiene los datos transmitidos. A la salida de este interruptor se encuentra el demodulador ya sea de dos o cuatro fases, dependiendo de la modulación con la cual se transmitió la señal. Al igual que el receptor de saltos de frecuencia, el receptor de saltos de tiempo cuenta con un sistema que controla la sincronía, este sistema consiste en un bit que va ajustando el reloj del código de Pseudoruido para mantener la sincronía. Una característica importante de este sistema es que si por alguna razón, la velocidad con la cual llegan los bits del mensaje es mucho mayor a la velocidad con la cual se transmitieron originalmente, entonces cada paquete puede ser almacenado y recuperado con su velocidad original.

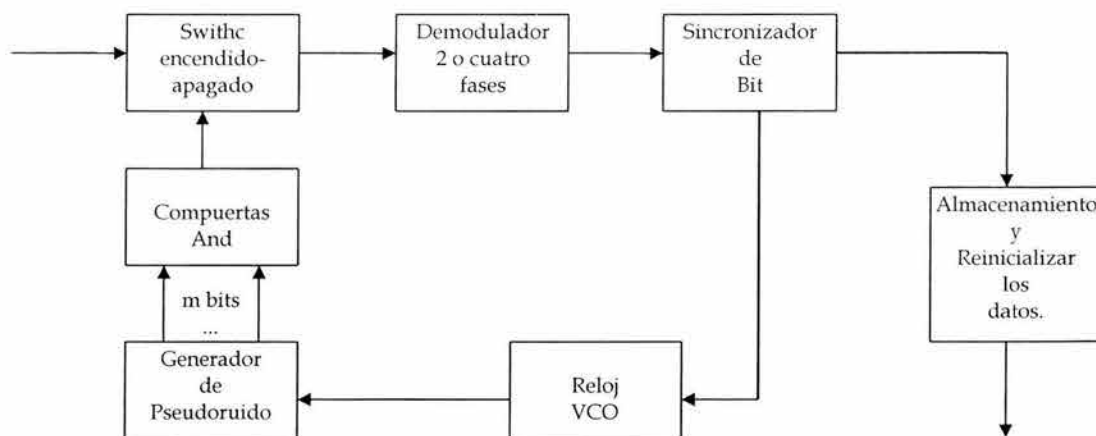


Fig. 3.14 Receptor de Saltos de Tiempo.

Una de las características más importantes de los sistemas de espectro disperso, es que en la misma banda de frecuencia pueden transmitir varios usuarios, aunque esto puede originar interferencia producida por los mismos usuarios, sin embargo una manera de minimizar este problema en el sistema de saltos de tiempo es la coordinación de los tiempos para que cada usuario pueda transmitir su señal y no interferir con otro usuario. Si esto no se pudiese coordinar entonces se tendría un problema de interferencia, lo que redundaría en la transmisión de errores, esto se puede solucionar utilizando algún código de corrección de errores, de los cuales se hablará más adelante.

Aunque no son las únicas técnicas de modulación que existen, sí se puede decir que son las más importantes y que pueden combinarse para obtener mejores resultados, a la combinación de estas técnicas se les conoce como sistemas híbridos y pueden ser:

- \* Secuencia Directa con Saltos de Frecuencia (DS/FH).
- \* Secuencia Directa con Saltos de Tiempo (DS/TH).
- \* Saltos de Tiempo con Saltos de Frecuencia (FH/TH)
- \* Secuencia Directa con Saltos de Frecuencia y Saltos de Tiempo (SD/FH/TH).

Existe otro método conocido como **Chirp**, el cuál consiste en utilizar una modulación en frecuencia lineal para la portadora y así expandir el ancho de banda. Esta técnica es muy común en los sistemas de radar aunque también se utilizan para los sistemas de comunicaciones. La relación que existe entre la frecuencia y el tiempo se puede ver en la siguiente figura, en la cual,  $T$  es la duración de una señal dada y  $B$  es el ancho de banda sobre el cual se varía la frecuencia. En este caso, el proceso de ganancia es simplemente  $BT$ .

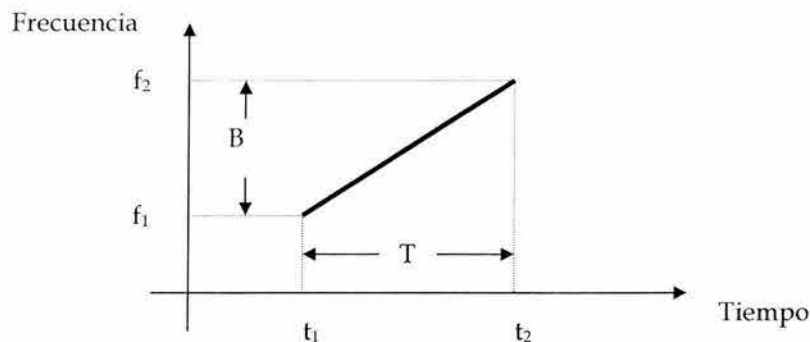


Fig. 3.15 Señal Chirp.

Es importante citar en este momento las ventajas y desventajas de los tres tipos de sistemas de espectro disperso que se han analizado. El propósito de esta comparación, es proporcionar una lista de condiciones que se deben tomar en cuenta para que se utilice el mejor sistema de acuerdo a la aplicación en la cual se utilizará la técnica.

#### SISTEMAS DE SECUENCIA DIRECTA.

##### VENTAJAS:

- Mejor desempeño de ruido y ruido intencional.
- Más difícil de detectar.
- Mejor discriminación contra multirutas.

**DESVENTAJAS:**

- Requiere un canal de banda ancha con pequeña distorsión.
- Gran tiempo de adquisición.
- Se requiere un Generador rápido de códigos.
- Problemas del "extremo remoto".

**SISTEMAS DE SALTOS DE FRECUENCIA.****VENTAJAS:**

- La cantidad más grande de dispersión.
- Puede ser programado para evitar porciones del espectro.
- Tiempo de adquisición relativamente bajo.
- Menor afectación por el problema del "extremo remoto".

**DESVENTAJAS:**

- Sintetizador de frecuencia complejo.
- No útil para mediciones de rango (distancia).
- Corrección de error requerido.

**SISTEMAS DE SALTOS DE TIEMPO.****VENTAJAS:**

- Alta eficiencia de ancho de banda.
- Implementación más sencilla que en Saltos de Frecuencia.
- Útil cuando el transmisor está limitado en su potencia promedio, no en su potencia pico.
- Problema del "extremo remoto" evitado en un sistema coordinado.

**DESVENTAJAS:**

- Largo tiempo de adquisición.
- Corrección de error necesaria.

### III.5 GENERACIÓN Y DETECCIÓN DE SEÑALES DE ESPECTRO DISPERSO.

Hasta el momento se ha mencionado que los sistemas de espectro disperso (secuencia directa, saltos de frecuencia o saltos de tiempo) se basan principalmente en un generador de pseudo ruido, el cuál es la base fundamental para poder generar una señal de este tipo. De este generador solo se mencionó que proporciona el código necesario para poder manipular la señal que se desea transmitir, en el caso de la secuencia directa, el código al multiplicarlo con el mensaje permite codificar la señal de tal manera que no sea sencillo recuperar el mensaje original, además de expandir el ancho de banda; en el caso de los saltos de frecuencia o tiempo, este código es el que determina en qué posición de frecuencia o tiempo se envían los datos, este es fijo y se repite después de un cierto número de bits. A continuación se explicará cómo funciona y cuales son las características de este código de pseudo ruido.

El generador se basa en registros de corrimiento para formar una secuencia, vea el siguiente dibujo para entender mejor el concepto:

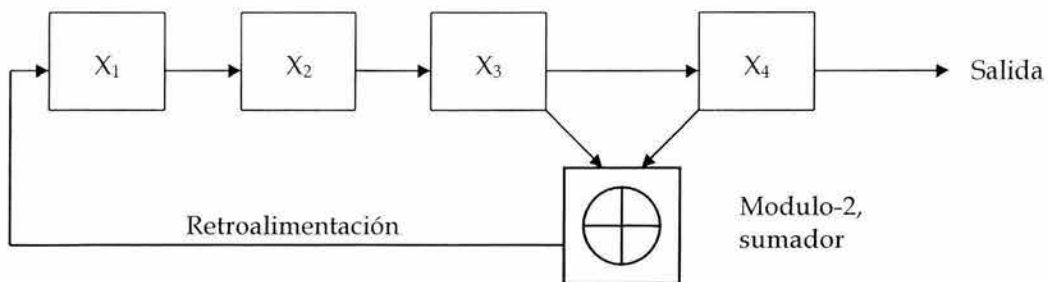


Fig. 3.16 Ejemplo de un registro de corrimiento con retroalimentación lineal.

Suponga que el primer registro  $X_1$  contiene un "uno" y los demás registros son "ceros", esto es, el estado inicial del registro es 1 0 0 0. En la siguiente tabla se puede observar qué es lo que sucede cuando el registro inicia su corrimiento (accionado por un reloj); vea que al primer pulso de reloj se tiene un "cero" en el registro  $X_1$ , este "cero" es el resultado de sumar los registros  $X_3$  y  $X_4$  del estado inicial, observe también que los registros sufren un corrimiento, y ocupan la posición siguiente:

$X_3$	+	$X_4$	=	$X_1$
0	+	0	=	0
1	+	0	=	1
0	+	1	=	1
1	+	1	=	0

		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
Contenido Inicial		1	0	0	0
Pulso de Reloj	1	0	1	0	0
	2	0	0	1	0
	3	1	0	0	1
	4	1	1	0	0
	5	0	1	1	0
	6	1	0	1	1
	7	0	1	0	1
	8	1	0	1	0
	9	1	1	0	1
	10	1	1	1	0
	11	1	1	1	1
	12	0	1	1	1
	13	0	0	1	1
	14	0	0	0	1
Nuevo periodo	15	1	0	0	0

De la tabla, se obtiene la secuencia que va a proporcionar este registro, la cual es:

0 0 0 1 0 0 1 1 0 1 0 1 1 1 1

esta es la secuencia que proporciona el generador de pseudo ruido con 4 compuertas, si se asocia el valor binario con un nivel de voltaje o un pulso, como en la tabla siguiente:

Valor Binario	Valor del Pulso
1	+1
0	-1

de acuerdo con la tabla, la secuencia será:

-1 -1 -1 +1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 +1

la señal asociada a los niveles de voltaje será la siguiente:

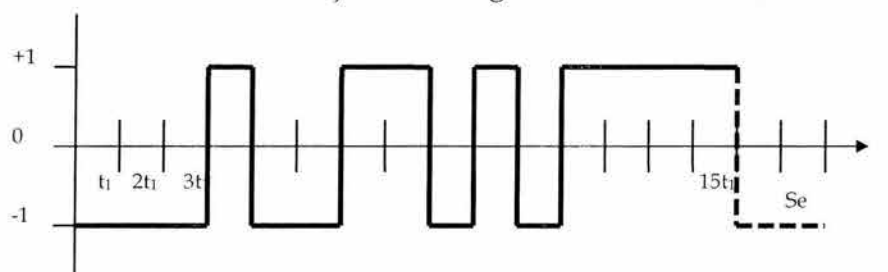


Fig. 3.17 Código de pseudo ruido con cuatro compuertas.

El generador de registros de corrimiento produce secuencias que dependen del número de compuertas, de la retroalimentación y de las condiciones iniciales. La secuencia de salida puede clasificarse como secuencias de máxima longitud o de longitud no máxima. La secuencia de máxima longitud tiene la propiedad de que, para  $n$ -compuertas lineales con retroalimentación el periodo de repetición de la secuencia en pulsos de reloj "p" es:

$$p = 2^n - 1 \quad (\text{III.13})$$

en el caso anterior  $n=4$ , el período para que la secuencia se repita será de 15 pulsos de reloj. Si la longitud de la secuencia es menor que  $(2^n - 1)$  entonces la secuencia se clasifica como una secuencia de longitud no máxima.

Las propiedades de las secuencias máximas lógicas son:

1. El número de "unos" es igual al número de "ceros" menos uno, esto es, para el caso anterior, se tienen 8 "unos" y 7 "ceros", a esta propiedad se le conoce como propiedad de Balance, y es importante ya que al utilizar dos niveles de voltaje (-V y +V) se puede equilibrar la señal para evitar el desajuste de ellas.
2. Propiedad de Corrimiento. Una corrida se define como una secuencia de dígitos binarios del mismo valor. La aparición de un dígito alternado comenzará una nueva corrida. La longitud de la corrida es el número de dígitos que contiene. Es importante que las corridas cumplan o traten de cumplir con la siguiente característica, la mitad de las corridas de cada tipo (1 o 0) serán de longitud 1, la cuarta parte serán de longitud 2, la octava de longitud 3 y así sucesivamente. En el ejemplo, se aprecia lo siguiente:

000	00	0	0
1a corrida	2a corrida	3a corrida	4a corrida

Considerando solamente la secuencia de ceros (se trata igual para los unos), se tienen 4 corridas ya que entre ellas existen dígitos de diferente valor, también se obtiene que las longitudes son 3, 2, 1 y 1 respectivamente, además que la mitad de ellos son de longitud 1, la cuarta parte de longitud 2 y en este caso la cuarta parte también es de longitud 3, sin embargo se dice que cumple con la propiedad de corrimiento.

3. Propiedad de Correlación. Esta propiedad consiste en comparar término por término dos señales, en este caso, las señales a comparar serán las que se envían del transmisor con las que llegan al receptor. Esto es muy importante ya que así se sabe si las señales están en sincronía además de conocer la cantidad de datos erróneos o modificaciones que pueda sufrir la señal en el trayecto debido a la interferencia, además de comprobar si la señal que se recibe es la correcta. Más adelante se explicará con mayor detalle esta propiedad, ya que es una de las más importantes en estos sistemas.

Cada una de estas propiedades son utilizadas especialmente en sistemas de comunicaciones o en sistemas de medición.

El hecho de utilizar un número igual (o similar) de unos y ceros en los códigos lineales es importante ya que la componente de Corriente Directa en este tipo de códigos se pretende anular.

El número exacto de "unos" en un código lineal máximo está dado por la siguiente expresión:

$$\frac{2^n}{2} = \text{número de unos} = 2^{(n-1)} \quad (\text{III.14})$$

y el número de "ceros" es:

$$\frac{2^n}{2} - 1 = \text{número de ceros} = 2^{(n-1)} - 1 \quad (\text{III.15})$$

en donde  $n$  es, usualmente el número de compuertas en el generador del código, y la longitud del código es  $2^n - 1$  chips.

La correlación es un proceso fundamental en los sistemas de espectro disperso debido a que la recepción de una señal de este tipo se basa principalmente en este concepto. La correlación se encarga de medir si dos señales (principalmente analógicas) son iguales. El grado de igualdad frecuentemente se expresa como un número entre cero y uno. Dos señales que son perfectamente iguales se indican con un cero, mientras que una correlación parcial toma valores entre uno y cero, dependiendo del grado de semejanza.

La correlación se realiza con un circuito conocido como correlacionador. Un correlacionador está típicamente compuesto de un mezclador seguido de un filtro paso-bajas los cuales realizan un promedio de la señal. El mezclador recibe las señales que se tienen que comparar y se multiplica por una señal que se genera localmente. Esta operación proporciona un valor máximo de salida; sin embargo, si las dos señales son diferentes, la salida puede ser muy pequeña, esto dependerá del grado de diferencia que exista entre las señales. El circuito reporta el promedio de la señal a la salida del mezclador.

Contar con un circuito promediador es muy importante en el caso de la secuencia directa, ya que si se introduce ruido o interferencia a la señal, esta quedaría fuera del promedio de la señal original, por lo que la señal se vuelve a expandir y se considera como ruido provocando que el circuito opere como un filtro paso-bajas "cortando" las señales no deseadas, mientras que la señal deseada toma su forma original para concluir el proceso de recepción.



La acción de correlación en los sistemas de Saltos de Frecuencia se implementan diferente, pero el concepto es el mismo.

El concepto de correlación se expresa de manera matemática de la siguiente forma:

$$R_{12}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(t)f_2(t-\tau)dt \quad (\text{III.16})$$

a esto se le conoce como la *función de correlación* entre las funciones  $f_1(t)$  y  $f_2(t)$ . La función de correlación  $R_{12}(\tau)$  suministra una medida de la similitud o interdependencia entre las funciones  $f_1(t)$  y  $f_2(t)$  en función del parámetro  $\tau$  (el desplazamiento de una función con respecto a la otra). Si la función de correlación es cero para todo valor de  $\tau$ , entonces se dice que las dos funciones no están correlacionadas.

Si  $f_1(t)$  y  $f_2(t)$  son idénticas, entonces la función de correlación se denomina *función de autocorrelación* de  $f_1(t)$ .

En este caso, la función que se transmite debe de ser exactamente igual a la que se recibe, por lo que realmente se realiza una autocorrelación, estas funciones se aprecian de manera más sencilla utilizando la secuencia de unos y ceros (que es lo que se generó con las compuertas anteriores), si en un ciclo cualquiera entre  $f(t)$  y  $f(t+\tau)$  con  $(1 \leq \tau < p)$ , la función de autocorrelación normalizada será igual a:

$$R_x(\tau) = 1/p \cdot (\text{número de aciertos menos número de errores en un periodo completo de la secuencia})$$

Del ejemplo anterior, si se tiene la secuencia:

000100110101111

con un retardo de  $\tau=1$ :

100010011010111

entonces los siguientes aciertos y errores, linealmente son:

e a a e e a e a e e e e a a a

así:

$$R(\tau=1) = 1/15 (7-8) = -1/15$$

En la figura siguiente se aprecia la función de autocorrelación normalizada para una secuencia de longitud máxima.

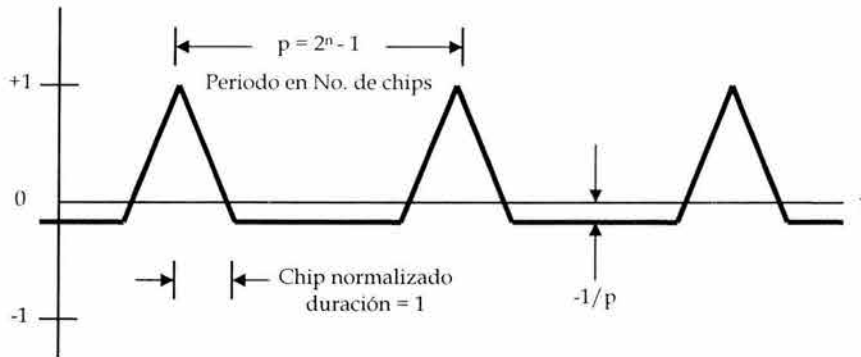


Fig. 3.18 Función de Autocorrelación para el Código de pseudo ruido.

De la figura anterior se concluye que, mientras la secuencia sea más larga, entonces se tiene una función mucho más exacta y la propiedad de autocorrelación mejorará notablemente. Sin embargo estas longitudes no pueden ser generadas arbitrariamente ya que existen factores que restringen el utilizar generadores con muchas compuertas, el primer factor que restringe y salta a la vista primeramente es la velocidad con la cual deberán operar los registros, debido a que el tiempo que tarda en generarse la señal puede ser muy larga, además se debe considerar el tiempo que emplea la señal en retroalimentarse, además el utilizar secuencias tan largas exigiría utilizar mayores anchos de banda, por lo que se tienen que contemplar estas características para poder elegir alguna secuencia adecuada de acuerdo con nuestra aplicación.

Retomando la generación del código, existen modelos matemáticos que se han desarrollado en forma de polinomios que permiten analizar de forma matemática las secuencias que se generan, a continuación se muestran algunos en la siguiente tabla:

n	f(x)
3	$x^3 + x + 1$
4	$x^4 + x + 1$
5	$x^5 + x^2 + 1$
6	$x^6 + x + 1$
7	$x^7 + x + 1$
8	$x^8 + x^6 + x^5 + x^4 + 1$
10	$x^{10} + x^3 + 1$
12	$x^{12} + x^{10} + x^2 + x + 1$
14	$x^{14} + x^{12} + x^2 + x + 1$
15	$x^{15} + x + 1$
17	$x^{17} + x^3 + 1$
19	$x^{19} + x^5 + x^2 + x + 1$

En los sistemas de espectro disperso con saltos de frecuencia también se mencionó un sintetizador de frecuencia, el cual se encarga de generar los saltos, estos sintetizadores de

frecuencia se dividen en dos clases, los métodos directos y los indirectos, a continuación se explicará brevemente cómo funcionan ambos métodos.

El método directo (sumar y dividir) opera de acuerdo con los siguientes bloques:

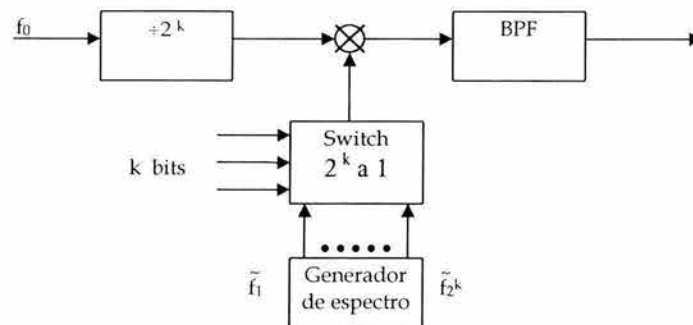


Fig. 3.19 Sintetizador de Frecuencia Directo.

Como se aprecia, el sintetizador consta de tres bloques fundamentales y un sumador, iniciemos con el Generador de Espectro, este bloque se encarga de proporcionar un cierto número de frecuencias, “k”, estas frecuencias se encuentran disponibles en el bloque del switch, el cual es manejado por el Generador de pseudo ruido, esta operación no es más que un multiplexaje, en donde el generador de pseudo ruido proporciona una secuencia de bits que es la encargada de elegir una frecuencia de las disponibles en el generador de espectro, esto es si la secuencia generada es un 1 0 0 0, entonces la frecuencia  $f_1$  es la que será habilitada para sumarse. Por otra parte,  $f_0$  representa la señal que se modula con alguna técnica de M-FSK, por lo tanto esta señal está cambiando en frecuencia, estas frecuencias entran a un módulo el cual se encarga de dividir la señal en una potencia de 2. Ambas señales, la que se escoge y la que se divide, se suman obteniendo una tercer señal, la cual se filtra para introducirla en una nueva compuerta en donde la operación se repite.

Si se tienen “n” compuertas, y “ $2^k$ ” frecuencias por compuerta, entonces el número total de frecuencias producidas por el sintetizador de frecuencia directo es:

$$M = (2^k)^n = 2^{kn}$$

Considere el siguiente ejemplo para entender mejor el concepto; suponga que  $k=2$ , entonces  $2^k=4$ , por lo tanto se cuentan con 4 frecuencias en el Generador de Espectro, y la señal de entrada  $f_0$  se divide entre 4; la longitud de la secuencia del Generador de pseudo ruido es 2. Considere que la señal que se recibe y las que se generan son las siguientes:

$$f_0=60\text{MHz.}$$

$f_1=33\text{MHz}$	$f_3=49\text{MHz}$
$f_2=41\text{MHz}$	$f_4=57\text{MHz}$

De esta manera, las posibles frecuencias generadas son las siguientes:

$$\begin{aligned}
 60/4 + 33 &= 48\text{MHz.} \\
 60/4 + 41 &= 56\text{MHz.} \\
 60/4 + 49 &= 64\text{MHz.} \\
 60/4 + 57 &= 72\text{MHz.}
 \end{aligned}$$

Esto quiere decir que, si la secuencia lanza la frecuencia "1"=33MHz y a esta se le suma el resultado del proceso de división, entonces se tendrá una frecuencia de 48 MHz, la cual pasará a un filtro paso bajas que limitará la frecuencia para pasar a otra compuerta que se encargará del mismo proceso, obteniendo así la siguiente tabla:

	33	41	49	57
48	45	53	61	69
56	47	55	63	71
64	49	57	65	73
72	51	59	67	75

de estos cálculos se puede decir que una señal que se transmite a 60MHz. puede ser transmitida en cualquiera de estas nuevas frecuencias, debido al salto que le proporciona el sintetizador de frecuencia; el ancho de banda que tiene la señal se calcula de la siguiente manera:

$$B=2^k\Delta F \tag{III.17}$$

en donde  $\Delta F$  es el incremento de frecuencia en el Generador de Espectro, en este caso 8MHz. así, para el ejemplo, el ancho de banda será de  $B=32\text{MHz}$ , los cuales se centran en la frecuencia de entrada al sistema, esto es  $f_0=60\text{MHz}$ , este ancho de banda establece un rango de frecuencias en las cuales la señal puede saltar.

El método indirecto para generar los saltos de frecuencia se ilustra en la siguiente figura:

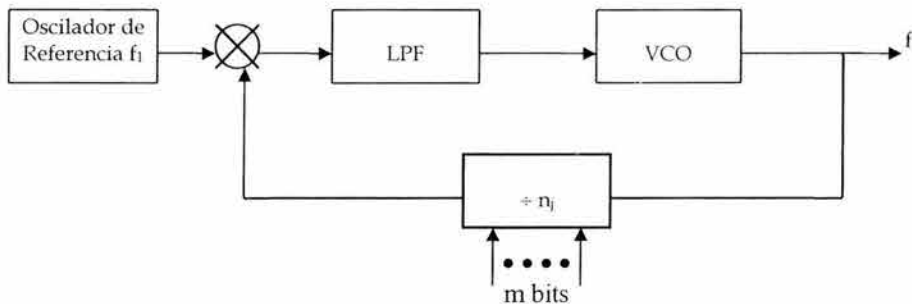


Fig. 3.20 Sintetizador de Frecuencia Indirecto.

De la figura se observa que es un sistema de lazo cerrado, el cual posee a la entrada un filtro paso-bajas (LPF), al cual llega la diferencia de señales entre un oscilador de referencia

y la salida de un divisor de frecuencia. El oscilador controlado por voltaje VOC proporciona una frecuencia  $n_j \times f_1$ , esta frecuencia es retroalimentada para obtener varios valores de frecuencia, permitiendo así los saltos de frecuencia que se requieren.

El divisor de frecuencia se programa para dividir una frecuencia determinada por un número entero aleatorio, desde  $n_1$  hasta  $n_1 + 2^n - 1$ , en donde  $n$  es el número de bits que se tiene a la entrada del divisor. Si se requieren muchas frecuencias, entonces se hacen necesarios más divisores y esto se logra conectando en cascada este tipo de arreglos. Por lo tanto, la frecuencia de salida en el salto "i" es:

$$f_i = n_i f_1 \quad (\text{III.18})$$

En el siguiente ejemplo se pretende explicar mejor el concepto, considere 16 frecuencias centradas aproximadamente a 60 MHz., entonces:

$f_1 = 2$  MHz., que es el intervalo que existe entre las 16 frecuencias disponibles.

$M = 2^4 = 16$  número de frecuencias disponibles del ejemplo anterior.

si  $n_1 = 23$ , por lo tanto  $n_1 + 2^m - 1 = 23 + 16 - 1 = 38$

por lo tanto, la frecuencia más baja es:  $f_L = 23 \times 2 = 46$  MHz.

y la frecuencia más alta es:  $f_H = 38 \times 2 = 76$  MHz.

los intervalos entre frecuencias son de 2MHz. entonces se tienen disponibles las siguientes frecuencias para que se realice el salto:

46	54	62	70
48	56	64	72
50	58	66	74
52	60	68	76

En este método, la velocidad de los saltos se determina por el tiempo de asentamiento del lazo. Usualmente el tiempo de levantamiento del sistema es del orden de las decenas de microsegundos. Las técnicas que se utilizan para reducir el tiempo de switcheo entre las frecuencias son aquellas que utilizan múltiples lazos.

Es apropiado hacer algunas comparaciones de los dos métodos. En los sintetizadores de frecuencia directa, uno de los  $k$  bits dentro de una compuerta del sintetizador es un bit de mensaje. Todos los demás son los que producen los saltos de la secuencia. En los sintetizadores de frecuencia indirecta, uno de los  $m$  bits controlan el divisor.

Los sintetizadores de frecuencia directa pueden producir el salto de la señal a una velocidad mayor que los sintetizadores de frecuencia indirecta.

El uso de sintetizadores de frecuencia es muy importante, ya que con ellos se pueden programar los saltos y de esta manera especificar la parte del espectro que se va a utilizar.

A continuación se analizará la manera en que se detectan las señales y la forma en que son recuperadas.

En un sistema de comunicación con espectro disperso, el uso de un código (pseudoruido) para los sistemas de secuencia directa o para los sistemas con saltos de frecuencia o tiempo, hace que los periodos que se generan sean mucho más largos que la duración de los mensajes. Para recibir estas señales satisfactoriamente, es necesario contar con este código en la recepción, de esta manera, se logrará un enlace adecuado; para realizar lo anterior se tienen que considerar dos pasos fundamentales. El primero consiste en adquirir la fase de la señal transmitida, el receptor se encarga de ajustar las señales, la transmitida y la que él genera. El segundo paso consiste en sincronizar las señales, esto es, ajustar las señales en tiempo y fase para que así se recupere el mensaje con el menor número de errores posible.

El problema de la adquisición se puede definir como una búsqueda de la señal en el dominio del tiempo o la frecuencia y la comparación de ésta con la que se genera localmente. La adquisición se clasifica en dos esquemas, estos son: Sistemas Coherentes y No Coherentes. Se dice que un Sistema Coherente es un sistema en el cual la señal de salida se obtiene demodulando la señal recibida después de haberla mezclado con la señal que se generó localmente, la cual posee una relación de fase fija con la señal transmitida.

Los problemas que se presentan para adquirir la señal son los siguientes:

1. La distancia que existe entre el receptor y el transmisor hace que el tiempo de retardo de las señales sea desconocido.
2. La relativa inestabilidad del reloj entre el transmisor y el receptor hacen que exista una diferencia de fases entre las señales expandidas en el receptor y el transmisor.
3. La incertidumbre de la velocidad relativa del receptor con respecto al transmisor provoca un cambio incierto en el valor debido al efecto Doppler de la frecuencia (cambio aparente en la frecuencia de una onda por efecto del movimiento relativo de la fuente y el observador).
4. Oscilación relativa debido a la inestabilidad entre el transmisor y el receptor, resulta una dispersión en frecuencia entre las dos señales

Un receptor coherente de secuencia directa se basa en tres bloques, el primero se encarga de alinear la señal portadora, el siguiente se ocupa de ajustar el código con el que se transmite la señal, finalmente el tercer bloque consiste de una serie de filtros que reducen el efecto Doppler. Para ilustrar mejor el funcionamiento de estos receptores, considere una señal que llega al receptor con una frecuencia  $f_0$ , además de un corrimiento desconocido de la señal debido al efecto Doppler  $f_d$ . La señal se mezcla con un oscilador cuya frecuencia es  $f_0 + f_1$ , esta mezcla deriva en una resta de señales  $f_1 - f_d$ , la cual entra al bloque que se encarga de alinear la señal portadora que no es más que un oscilador controlado por voltaje que retroalimenta la señal que se compara con la señal que se recibe. La señal que

entra al receptor, también va a otros dos mezcladores, los cuales tienen un oscilador local a una frecuencia  $f_0 + f_1$ . La frecuencia de la señal a la salida de estos mezcladores, está a una frecuencia  $f_1 - f_d$  y van a un filtro paso bandas cuya frecuencia central es  $f_1$  pero con un ancho de banda bastante grande para acomodar el desplazamiento debido al efecto Doppler. La señal a la salida del filtro paso bandas se mezcla con la señal que se obtiene a la salida del primer bloque.

Los osciladores locales restantes, se utilizan para ajustar las señales, ya que son controlados por el código de pseudo ruido, este código genera dos señales, una que está adelantada en tiempo y otra retrasada, esto se hace con el fin de que las señales se estén comparando hasta que no exista ningún retardo o adelanto de la señal, de esta manera se logra sujetar a la señal en el tiempo adecuado. Esta operación se lleva a cabo debido a los desajustes de voltaje, este desajuste indicará si la señal está retrasada o adelantada, dependiendo de la polaridad de dicho voltaje. Este es un primer método para poder adquirir la señal, sin embargo no es el único, existen métodos más sofisticados que se pueden implementar dependiendo de las características de la señal y de la aplicación que tenga, por ejemplo, si se transmite con una modulación bifásica, se utiliza el método de lazo cuadrado, el cual es similar al anterior, solo que cuenta con un cambiador de fase ( $90^\circ$ ), para efectuar con mayor precisión la adquisición de las señales con este tipo de modulación.

Los sistemas no coherentes, se utilizan para la técnica de saltos de frecuencia, esto se debe a que los saltos de frecuencia no llevan un patrón establecido.

A continuación se muestra un diagrama de bloques de un típico receptor de saltos de frecuencia no coherente.

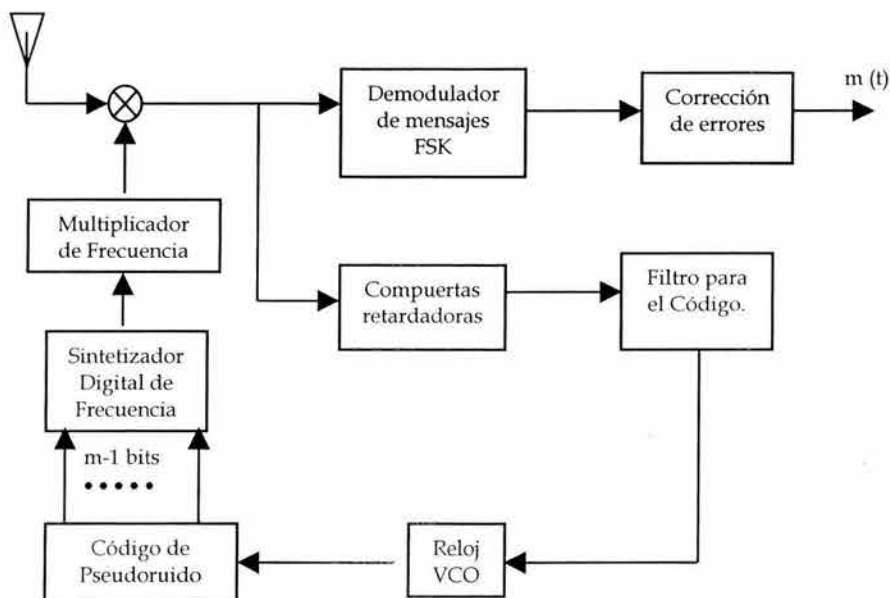


Fig. 3.21 Receptor No coherente para Saltos de Frecuencia.

Note que el receptor contiene un sintetizador digital de frecuencia que se maneja a través de bits ( $m-1$ ), estos bits los proporciona el código generador de pseudo ruido, las

frecuencias que se generan son multiplicadas por el multiplicador de frecuencia (esto ocurre si en el transmisor se emplea un multiplicador de frecuencia) y después se mezclan con la señal entrante. La señal que se obtiene es una señal normal FSK, el mensaje se recupera de la manera usual, si se utilizan códigos para la corrección de errores, entonces la señal entra en este bloque.

En la figura se observa un bloque retardador, este sirve para ir ajustando la señal entrante con el código que se genera en el receptor para que, de esta manera las señales estén en fase.

### **III.6 APLICACIONES DE ESPECTRO DISPERSO A LAS COMUNICACIONES.**

Después de que se ha mencionado la manera de generar y detectar las señales con espectro disperso, es apropiado mencionar algunas de las aplicaciones en las que se hace presente este tipo de modulación. Una de las más importantes se refiere al problema del acceso múltiple.

El espectro disperso también encuentra aplicación en los sistemas de comunicación personal PCS (Personal Communication Systems, especialmente en telefonía digital CDMA) o en las redes personales de comunicación PCN (Personal Communications Networks) además de utilizarse para las redes de área local LAN (Local Area Networks), otra aplicación interesante se encuentra en los sistemas de seguridad inalámbricos. Es interesante incluir en esta tesis información sobre este tipo de aplicaciones, algunas de ellas se encuentran disponibles para ser utilizadas en nuestro país, además se proporcionan algunas direcciones de internet para que el lector pueda encontrar más información al respecto.

#### **III.6.1 ACCESO MÚLTIPLE.**

El acceso múltiple es el efecto que se presenta cuando un número de usuarios tratan de enviar su información a un lugar común. Un ejemplo de este problema se encuentra en los sistemas de comunicación vía satélite, en el cual, los usuarios envían sus señales al satélite desde las estaciones terrenas, todas estas señales convergen en el satélite y es en donde se presenta el problema de acceso múltiple, otro ejemplo son los sistemas de comunicación móvil, en estos, todos los vehículos móviles tratan de establecer la comunicación con una estación central, presentándose en ese momento el problema del acceso múltiple.

El método clásico para manejar el acceso múltiple es la división de frecuencia FDMA (Frequency Division Multiple Access) esta técnica consiste en asignar un canal de frecuencia particular a cada usuario para que no exista interferencia o se pueda perder información al llegar la señal a su destino.



Otra técnica es la de división de tiempo TDMA (Time Division Multiple Access) el cual consiste en asignar a cada usuario una "ranura" de tiempo dentro del total de tiempo que dura toda una trama, durante esa ranura de tiempo se transmite una porción del mensaje por medio de técnicas digitales de transmisión. El uso de TDMA es una aplicación importante para los sistemas satelitales. Una diferencia entre los sistemas de TDMA y FDMA es que, los primeros requieren señales digitales, mientras que los sistemas por división de frecuencia pueden utilizar señales digitales pero no las requiere necesariamente.

La tercera técnica es la que se refiere a la división de código CDMA (Code Division Multiple Access). El CDMA es siempre acompañado por métodos de espectro disperso. En estos sistemas, a cada usuario se le asigna un código particular (la secuencia de pseudo ruido que poseen los sistemas de espectro disperso); así cada usuario tiene un código único y evita que el receptor pueda confundirse de señales o mezclarlas. Una ventaja adicional del CDMA es que el mensaje que se pretende enviar por algún usuario, no es fácilmente decodificable por otro ya que, no se conoce el código propio o no se cuenta con el equipo necesario para generar la señal apropiada para poder obtener la referencia de la señal.

Hablar de Espectro disperso es sin lugar a dudas hablar de CDMA.

Con el CDMA no hay restricciones de tiempo o de ancho de banda. Cada transmisor de estación terrena (refiriéndonos a sistemas satelitales) puede transmitir, cada vez que lo desee, y puede utilizar cualquier ancho de banda o todos los anchos de banda asignados a un sistema de canal de satélite en particular. Debido a que no hay limitaciones en el ancho de banda también se le conoce como Acceso múltiple del espectro disperso, la transmisión y recepción de las señales es tal como se describieron en las secciones anteriores, las técnicas más utilizadas en el CDMA son los saltos de frecuencia y la secuencia directa.

### III.6.2. EFICIENCIA DE ENERGÍA Y ANCHO DE BANDA.

La relación de la señal a ruido SNR de un receptor en presencia de ruido y de interferencia está dada por la siguiente expresión:

$$(SNR)_0 = \frac{P_r}{\frac{N_0}{2t_m} + \frac{J}{PG}} \quad (III.19)$$

en donde J es la potencia de interferencia en el ancho de banda del receptor. Sin embargo, la energía asociada con un bit de mensaje es:

$$E_b = P_r t_m = \text{energía del bit.} \quad (III.20)$$

de esta manera la salida de la relación de la señal a ruido puede ser expresada como:

$$(\text{SNR})_0 = \frac{P_r t_m}{N_0 / 2 + J t_m / P_G} = \frac{E_b}{N_0 / 2 + J / B_s} \quad (\text{III.21})$$

ya que el proceso de ganancia está dado por:  $P_G = t_m B_s$ , acomodando la ecuación, se tiene:

$$(\text{SNR})_0 = \frac{E_b / N_0}{1 / 2 + J / N_0 B_s} \quad (\text{III.22})$$

colocando la ecuación anterior como la relación de energía de bit respecto a la densidad espectral de ruido:

$$E_b / N_0 = \left[ \frac{1}{2} + \frac{J}{N_0 B_s} \right] (\text{SNR})_0 \quad (\text{III.23})$$

De las ecuaciones anteriores se obtienen dos conclusiones muy importantes. La primera es que, cuando la interferencia es de banda angosta, si se incrementa la expansión de la señal, se tiene una mejor eficiencia de energía. La segunda es que, cuando la interferencia es de banda ancha, como el ruido blanco, si se incrementa la expansión de la señal, no mejorará la eficiencia de la energía porque la potencia de interferencia  $J$ , incrementa directamente con la señal del ancho de Banda  $B_s$ .

Para obtener la eficiencia del ancho de banda, hay que mencionar algunas ecuaciones que ayuden a calcular dicha eficiencia, primero se establecerá la velocidad de los bits de mensaje de la siguiente manera:

$$R_m = \frac{1}{t_m} = \text{velocidad de los bits del mensaje.}$$

A partir de la ecuación anterior se obtiene la eficiencia del ancho de banda:

$$\frac{B_s}{2R_m} = \frac{B}{R}$$

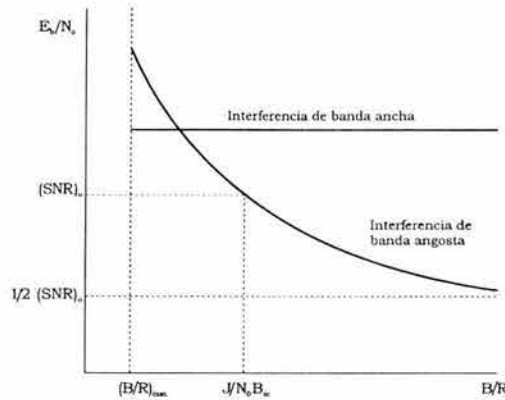


Fig. 3.22 Energía y utilización del Ancho de Banda Para un sistema de espectro disperso.

Note que la cantidad  $B_s/2$  se utiliza mientras ésta sea equivalente a la energía del ancho de banda de la señal. Note también que  $B/R$  incrementa linealmente con la dispersión; así, la eficiencia disminuye mientras el ancho de banda de la señal de espectro disperso se incrementa. Combinando el resultado de la energía la eficiente utilización del ancho de banda, tenemos que:

$$\frac{E_b}{N_0} = (\text{SNR})_0 \left[ \frac{1}{2} + \frac{J}{2N_0 R_m (B/R)} \right] = \frac{1}{2} (\text{SNR})_0 \left[ 1 + \frac{J/N_0 R_m}{B/R} \right] \quad (\text{III.24})$$

Para el caso en el cual la interferencia es de banda angosta comparada con el ancho de banda de la señal de espectro disperso y también:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{1}{2} (\text{SNR})_0 \left[ 1 + \frac{J_0}{N_0} \right] \quad (\text{III.25})$$

cuando la interferencia es de banda ancha respecto a la señal de espectro disperso. La cantidad de  $J_0$  se define como la densidad espectral de la señal de interferencia. Este valor se puede obtener de la gráfica anterior fig. 3.22.

### II.6.3 IDENTIFICACIÓN DE SEÑALES.

Como se ha mencionado, el factor fundamental para poder obtener una señal después de haber sido modulada con cualquier técnica de espectro disperso, es que el receptor conozca exactamente el código de secuencia con el que se está transmitiendo, de esta manera, cualquier señal que no corresponda con este código no se tomará en cuenta para poder recuperar la información.

Es importante mencionar que las técnicas de saltos de frecuencia y tiempo requieren de métodos más complejos para poder sincronizar sus señales, por lo que se han desarrollado técnicas para poder identificar la señal deseada, es importante citar en este punto que, si

una señal no está debidamente sincronizada jamás se podrá demodular ya que el proceso de demodulación consiste en comparar las señales, al obtener esta correlación se identifican las señales y así se recupera la información.

Una de estas técnicas consiste en la búsqueda de una señal en el dominio del tiempo y la frecuencia, se hace lo siguiente:

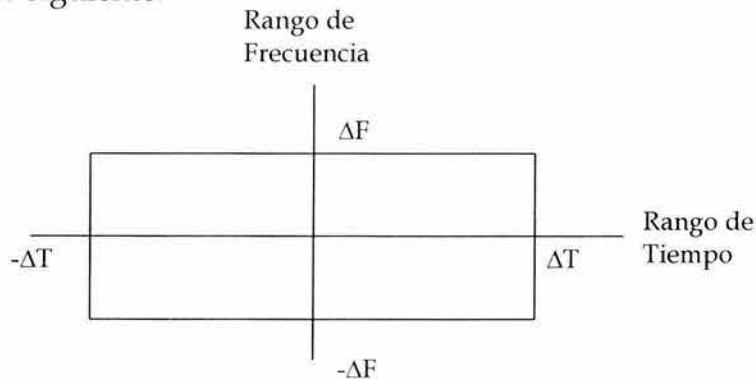


Fig. 3.23 Región variable de Tiempo y Frecuencia.

### III.6.4 CÓDIGOS DE CORRECCIÓN DE ERRORES.

Los códigos de corrección de errores no son más que técnicas que se utilizan en la transmisión de datos para detectar múltiples bits erróneos.

Para los sistemas de radio, se utiliza el F.E.C. (Forward Error Correction por sus siglas en inglés) ésta es una técnica de detección y corrección de errores que se lleva a cabo sobre un enlace; el FEC se basa en la codificación de bloques y utiliza bits de "relleno" o extras sobre la portadora en el encabezado de la trama para detectar los errores.

Básicamente el FEC es un algoritmo matemático que forma un código que es añadido a una trama de datos, al ser este un algoritmo matemático conocido, cuando la señal es recibida, se procede a comparar los códigos, si el código recibido es diferente entonces se dice que ha ocurrido un error y éste es contabilizado. Solamente un número limitado de combinaciones de bits es permitido por la técnica de codificación; así, no solamente se detectan los errores sino que también es posible corregirlos (obviamente en un número limitado).

Algunos autores clasifican a los códigos en tres tipos; el primero es conocido como Código de Bloques Lineal, el segundo que es una clase especial del anterior llamado Código Cíclico y el tercero (que es completamente diferente) se le da el nombre de Código Convolutivo.

Uno de los algoritmos o códigos más utilizados es el Reed-Solomon. Con estas técnicas es posible alcanzar tasas de error de hasta  $10^{-12}$  RBER (Residual Bit Error Rate por sus siglas en inglés).

# EQUIPOS DISPONIBLES EN EL MERCADO NACIONAL

## IV.1 FRECUENCIAS DE OPERACIÓN.

En el año de 1994, se publicó en el Diario Oficial, la **Norma Oficial Mexicana Emergente NOM-EM-121-SCT1-1994**, Instalación y operación de sistemas de radiocomunicación que emplean la técnica de espectro disperso en las bandas de **902-928 MHz, 2450-2483.5 MHz y 5725-5850 MHz**.

Los organismos e instituciones que participaron en la elaboración de esta Norma son:

1. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).
2. Instituto Mexicano de Comunicaciones (IMC).
3. Colegio de Ingenieros Mecánicos Electricistas (CIME).
4. Kb/Tel Telecomunicaciones.
5. Mexicana de Electrónica Industrial S.A. de C.V. (MEXEL).

Conviene tener presente que en los artículos 124 y 125 del Reglamento de Telecomunicaciones de México, se hace alusión a los equipos para aplicaciones Industriales, Científicos y Médico [ICM (que no son de espectro disperso)] y, en particular dichos equipos operan, entre otras, en las bandas de 902-928 MHz, 2400-2500 MHz y 5725-5875 MHz.

Por tanto, los equipos ICM que no son equipos de radiocomunicación, debido a que no transmiten información, deben convivir y ser protegidos, por parte de los sistemas de espectro disperso, conforme a los artículos 124 y 125 mencionados.

Los equipos ICM son dispositivos que producen una energía de radiofrecuencia, conviene aclarar que las utilizan internamente para generar efectos de tipo físico, mecánico, biológico y/o químico. Entre las aplicaciones ICM típicas se tienen las siguientes: Calefacción industrial en procesos de manufactura, diatermia médica terapéutico, aceleración de partículas cargadas, transductores electromecánicos para producir energía mecánica ultrasónica, humidificadores ultrasónicos domésticos, limpiadores domésticos de joyería. Por tanto, no se trata de un Servicio de Telecomunicación.

Por otra parte, los equipos con técnica de espectro disperso son equipos de radiocomunicación que tienen aplicaciones internas (interiores de oficina) y externas

(intercomunicar edificios), dependiendo de la ocupación del espectro radioeléctrico en los países.

Básicamente, se identifican tres bandas de frecuencia factibles de operarse en México, siempre y cuando se cumplan con las regulaciones que se especifican en el diario oficial. Estas bandas son **902-928 MHz**, **2450-2483.5 MHz** y **5725-5850 MHz**. A estas frecuencias también se les denomina como:

<b>902-928 MHz</b>	<b>BANDA "L"</b>
<b>2450-2483.5 MHz</b>	<b>BANDA "S"</b>
<b>5725-5850 MHz</b>	<b>BANDA "C"</b>

En México, la banda de frecuencias de **902-928 MHz** está atribuida al servicio fijo para transmisión de datos a baja velocidad y al servicio de radiolocalización para radares meteorológicos. También en esta banda operan los equipos ICM.

La banda de frecuencias de **2400-2500 MHz** está atribuida en otros países para los sistemas de espectro disperso. En México sólo se considera el segmento de **2450-2483.5 MHz** como factible para la operación de esta clase de equipos. Lo anterior se debe a que la banda de **2300-2450 MHz** se opera actualmente para sistemas de distribución múltiple de señales (enlaces punto-multipunto), para el servicio de telefonía en poblaciones rurales cuyos repetidores se ubican en cerros altos a lo largo de nuestro país, y también, se aplica para la transmisión de datos dentro de las ciudades más pobladas; en esta banda de frecuencias dentro del rango de **2483.5 a 2500 MHz** también se encuentran servicios móviles por satélite, mediante satélites de órbita baja para transmisiones de voz y datos por lo cual se podría presentar cierta interferencia, por ello se evalúa actualmente la factibilidad técnica de emplear también la banda **2400 -2450 MHz** para espectro disperso, para ello se realizan estudios de convivencia con los sistemas de operación en México. Asimismo, la banda de **5725-5850 MHz** puede ser utilizada para aplicaciones de espectro disperso, en México dicha banda tiene usos de radiolocalización y aficionados.

Algunos de los equipos que se encuentran disponibles en México se muestran en la siguiente tabla, en la cual se indica la marca y las frecuencias en las cuales operan.

MARCA	FRECUENCIA		
	BANDA "L"	BANDA "S"	BANDA "C"
CYLINK	AIRLINK	AIRLINK, AIRPRO 64S	AIRPRO E1
DTS	-----	SKYPLEX I y II	SKYPLEX II
HARRIS	-----	AURORA 2400	AURORA 5800
MIXBAAL	-----	RED I	RED II
P-COM	-----	100-2,200 y 400	100-5, 200 y 400
WIRELESS	-----	ACCESS LINK	ACCESS LINK

Nota: P-COM compró a CYLINK

Información actualizada a Diciembre, 2002.

Existen también otros equipos que trabajan con la tecnología de espectro disperso, solo que estos son de propósito específico, dentro de estos, se encontraron equipos para sistemas de seguridad, algunas tarjetas y puentes para redes LAN y equipos para extender las líneas telefónicas y ruteadores, esta información se anexa al final de esta tesis.

## IV.2 CAPACIDADES DE TRANSMISIÓN.

En esta sección se detalla cada equipo en relación a la capacidad de transmisión.

<b>CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN Kbps (BANDA "L")</b>	
MARCA	MODELO
	64 MP y 64 MP-E (multipunto) 128
CYLINK (AIRLINK)	Asíncrona (máx.): 19.2      Asíncrona (máx.): 32 Síncrona: 64,56, 19.2, 9.6,      Síncrona: 128, 112 4.8, 2.4, 1.2

<b>CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN Kbps (BANDA "S")</b>					
MARCA	MODELO				
	64 SMP (Multipunto)	128S	256S	384S	512S
CYLINK (AIRLINK)	Asínc.: 19.2 Sínc.: 64, 56, 19.2, 9.6, 4.8, 2.4, 1.2	Asínc.: 32 Sínc.: 128, 112	Asínc.: 64 Sínc.: 256, 224	Asínc.: 96 Sínc.: 384, 336	Asínc.: 128 Sínc.: 512, 448
	AIRPRO 64S				
CYLINK	Asíncrona: 19.2, 9.6, 4.8 Síncrona: 64, 56, 19.2, 9.6, 4.8				
	64 S	128S	256S	384S	512S
DTS (SKYPLEX I)	Sínc.:1.2, 2.4, 4.8, 9.6, 19.2, 56, 64 Asínc.:9.6	Sínc.:128, 112 Asínc.:19.2	Sínc.: 256, 224 Asínc.:38.4	Sínc.: 384, 336 Asínc.: 38.4	Sínc.: 512, 448 Asínc.: 38.4
	SKYPLEX II				
DTS	E1: 2048				
	RED-I				
MIXBAAL	64, 128 Y 256; 2x64 y 3x64				
	100-2		200		400

<b>P-COM</b>	56, 64, 128, 256, 512, 768 E1: 2048	2xE1	4xE1
<b>AURORA 2400</b>			
<b>HARRIS</b>	E1: 2048		
<b>ACCESS LINK</b>			
<b>WIRELESS</b>	E1: 2048, 2xE1, 4xE1		

<b>CAPACIDAD DE TRANSMISIÓN Kbps (BANDA "C")</b>			
<b>MARCA</b>	<b>MODELO</b>		
	<b>AIRPRO E1</b>		
<b>CYLINK</b>	E1: 2048		
<b>SKYPLEX II</b>			
<b>DTS</b>	56, 64, 128, 384, 512, 768 E1: 2048		
<b>AURORA 5800</b>			
<b>HARRIS</b>	E1: 2048, 2xE1		
<b>RED-II</b>			
<b>MIXBAAL</b>	E1: 2048		
	<b>100-5</b>	<b>200</b>	<b>400</b>
<b>P-COM</b>	56, 64, 128, 256, 512, 768 E1: 2048	2xE1	4xE1
<b>ACCESS LINK</b>			
<b>WIRELESS</b>	E1: 2048, 2xE1, 4xE1		

Información actualizada a Diciembre, 2002.



## IV.3 CUMPLIMIENTO DE REGULACIONES Y RECOMENDACIONES

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) recomienda a las administraciones de telecomunicaciones de los países miembros de esta organización, establecer un procedimiento adecuado para la homologación de equipos de telecomunicación (que utilicen una línea física o el espectro radioeléctrico para establecer una comunicación), esto es, establecer todo un cuadro normativo que incluya las especificaciones técnicas necesarias y estipule el correcto funcionamiento de los equipos. Las normas pueden dictarse sobre diversos aspectos necesarios para la homologación y funcionamiento de los equipos, pero la parte fundamental estriba en lo relacionado con la calidad del funcionamiento del equipo o sistema.

Se recomienda que el proceso normativo, entre otras cosas proporcione las bases primordiales para el correcto funcionamiento así como la descripción de la limitación, influencia y el entorno pretendido para los equipos, la capacidad para funcionar solos (stand alone), en conjunto o con otros equipos explotados por usuarios o prestadores de servicio, así como la viabilidad del diseño para un funcionamiento adecuado con otros sistemas o redes de otros países, la garantía de compatibilidad electromagnética y la prevención de la no interferencia.

La UIT indica que para las administraciones de telecomunicaciones es un esfuerzo a largo plazo y una labor bastante ardua, cuando se inician en las labores de la implantación de un proceso de normatividad, por la complejidad de la redacción del conjunto normativo nacional, por lo que, la referencia de las normas existentes como recomendaciones internacionales podrían ser mas pertinentes, permitiendo la simplificación de las tareas a las administraciones. Así pues, en el seno de este organismo existen un conjunto de normas internacionales que pueden ser adaptadas y adoptadas como nacionales.

México esta haciendo un esfuerzo para adaptar y adoptar las recomendaciones, prueba de ello es el despeje que ha realizado en bandas como la de 2 Ghz para ir ajustando éstas con las nuevas tecnologías. No es intención del presente trabajo de tesis el mencionar mas detalladamente el status en el que se encuentra nuestro país en lo referente a las recomendaciones, si se deseara conocer mas a detalle las normas se pueden consultar en la siguiente dirección electrónica, [www.cofetel.gob.mx](http://www.cofetel.gob.mx)

Desde el punto de vista económico, las normas deben elaborarse para asegurar el correcto funcionamiento y la protección del mercado de equipos de telecomunicaciones. Sin embargo, para los países incipientes, económicamente les es inconveniente desarrollar sus propias normas.

Especial atención debe ponerse al método de aplicación de normas de otras administraciones probadas bajo otros programas normativos, lo cual es riesgoso, ya que las atribuciones en las condiciones de operación y arquitectura de los equipos no son las

mismas en el mundo entero, pues un equipo que cumple en una zona puede ir en contra de su aplicación en otra, dadas las características de su diseño, aplicación y operatividad.

En todo proceso de homologación, la parte fundamental radica en la definición y aplicación de las normas nacionales e internacionales y las especificaciones de cumplimiento, los requerimientos de pruebas y los procedimientos administrativos relativos a la verificación del proceso establecido.

Conviene implantar formas de pruebas y mediciones (laboratorios) para verificar que los equipos se adaptan o cumplen con las normas en función, previo a su comercialización.

Puede también darse el caso en los procesos de homologación la aplicación y/o reconocimiento de convenios internacionales (siempre y cuando no ocasionen interferencias a los sistemas o redes), para la aceptación de pruebas de organismos competentes nacionales o extranjeros reconocidos por las administraciones para certificar la calidad del funcionamiento de los equipos en los países de origen.

Algunas administraciones determinan en su metodología, la aceptación de pruebas de laboratorios del sector privado, o la autocertificación del fabricante, asegurando con esto, que los equipos se adaptan a la normatividad aplicable en el país de uso final, estableciendo la administración en este método, el retirar equipos de manera selectiva para verificar su comportamiento, probándolos en sus propios laboratorios en forma periódica o según lo consideren pertinente.

Así pues, normalmente a los gobiernos nacionales u organismos delegados, les corresponde la responsabilidad de instituir y manejar el proceso de homologación más adecuado, así como dictar las políticas y normas posibles que debe seguirse en el proceso en turno, sin descuidar los procesos o recomendaciones que para tal fin se prestan en la UIT, y/o experiencias afines entre países que sobre el particular se han desarrollado.

### DEFINICION DE HOMOLOGACION

La Ley Federal de Telecomunicaciones, por decreto oficial publicado en el Diario Oficial de la Federación el 7 de junio de 1995, en las Disposiciones Generales Capítulo I Artículo 3 fracción V establece:

**"Homologación:** acto por el cual la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, reconoce oficialmente que las especificaciones de un producto destinado a telecomunicaciones satisfacen las normas y requisitos establecidos, por lo que puede ser conectado a una red pública de telecomunicaciones, o hacer uso del espectro radioeléctrico."

## IV.4 INTERFACES DE LOS PUERTOS E/S (I/O) PARA INTERCONEXIÓN CON EQUIPOS DE USUARIO.

A continuación se presentan tablas que muestran el tipo de interface eléctrica y física de los diferentes equipos, para realizar la interconexión entre las aplicaciones del usuario con los equipos que van a transmitir la información; es importante no perder de vista las capacidades de transmisión de los equipos, para ello refiérase al tema de Capacidades de Transmisión.

CYLINK	INTERFACE ELÉCTRICA Y FÍSICA		
	BANDA "L"	BANDA "S"	BANDA "C"
AIRLINK	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ V.11/V.35 (34 pin Winchester)</li> <li>◆ RS-232 (DB25)</li> <li>◆ RS-422 (DB25)</li> <li>◆ Conector de R.F. tipo N.</li> </ul> Todos los conectores son hembra.	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ V.11/V.35 (34 pin Winchester)</li> <li>◆ RS-232 (DB25)</li> <li>◆ RS-422 (DB25)</li> <li>◆ Conector de R.F. tipo N.</li> </ul> Todos los conectores son hembra.	-----
	AIRLINKPRO 64S	-----	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ V.11/V.35 (DB25 hembra)</li> <li>◆ RS-232 (DB25 hembra)</li> <li>◆ Software (DB9 macho)</li> <li>◆ Conector de R.F. tipo N (hembra).</li> </ul>
AIRPRO E1	-----	-----	◆ G.703

DTS	INTERFACE ELÉCTRICA Y FÍSICA		
	BANDA "L"	BANDA "S"	BANDA "C"
SKYPLEX I	-----	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ V.11/V.35 (34 pin Winchester Hembra)</li> <li>◆ RS-232, X.21 (DB25 H.)</li> <li>◆ RS 422/449 (DB25 H.)</li> <li>◆ EIA-530 (DB25 H.)</li> <li>◆ Conector de R.F. tipo N.</li> </ul>	-----
	SKYPLEX II	-----	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 75 Ohm G-703 E1 (BNC)</li> <li>◆ 120 Ohm G.703 E1 (RJ48)</li> <li>◆ DSX-1 T1 (RJ 48)</li> <li>◆ V.35 (15 pin D)</li> </ul>

<b>HARRIS</b>		<b>INTERFACE ELÉCTRICA Y FÍSICA</b>		
		<b>BANDA "L"</b>	<b>BANDA "S"</b>	<b>BANDA "C"</b>
<b>AURORA 2400</b>	-----	◆ CEPT-1; ITU-T G.703, G.823	-----	
		◆ RS-232, DTE, DB-9 H ◆ Conector de R.F. tipo N (H).		
<b>AURORA 5800</b>	-----		-----	◆ CEPT-1; ITU-T G.703, G.823
				◆ 75 Ohms, BNC (Sin balancear) ◆ 120 Ohms, RJ-48C (balanceado). ◆ RS232 DTE, DB-9 H. ◆ 2 Alambres, RJ11 ◆ RS-422 DB-15 H. ◆ DB-9 M. (Alarmas) ◆ Conector de R.F. tipo N (H).

<b>MIXBAAL</b>		<b>INTERFACE ELÉCTRICA Y FÍSICA</b>		
		<b>BANDA "L"</b>	<b>BANDA "S"</b>	<b>BANDA "C"</b>
<b>RED I</b>	-----	◆ V.35	-----	
		◆ RS-232		
<b>RED II</b>	-----		-----	◆ Puertos E1 para PBX y Datos RS-232/V.35 ◆ G.703

<b>P-COM</b>		<b>INTERFACE ELÉCTRICA Y FÍSICA</b>		
		<b>BANDA "L"</b>	<b>BANDA "S"</b>	<b>BANDA "C"</b>
<b>100-2</b>	-----	◆ V.35	-----	
		◆ G.703 ◆ DSX-1		
<b>100-5</b>	-----		-----	◆ V.35 (34 pin Winchester) ◆ G.703 ◆ DSX-1
<b>200</b>	-----	◆ G.703	-----	◆ G.703
<b>400</b>	-----	◆ G.703	-----	◆ G.703

<b>WIRELESS</b>		<b>INTERFACE ELÉCTRICA Y FÍSICA</b>		
		<b>BANDA "L"</b>	<b>BANDA "S"</b>	<b>BANDA "C"</b>

ACCESS LINK	◆ ITU-T E1 (BNC y RJ-48C)	◆ ITU-T E1 (BNC y RJ-48C)
	◆ DSX-1 T1 (RJ 48)	◆ DSX-1 T1 (RJ 48)

## IV.5 APLICACIONES COMÚNMENTE EMPLEADAS.

Es importante no perder de vista que el enlace que se va a realizar tiene como finalidad el intercambio de información de un lugar a otro, esta información es generada por el usuario y puede contener datos, voz, imágenes, etc., estos datos se envían a través de redes de cómputo, teléfono, o cualquier otro. A continuación se presenta un esquema de lo que puede ser un ejemplo real o una aplicación de estos sistemas.

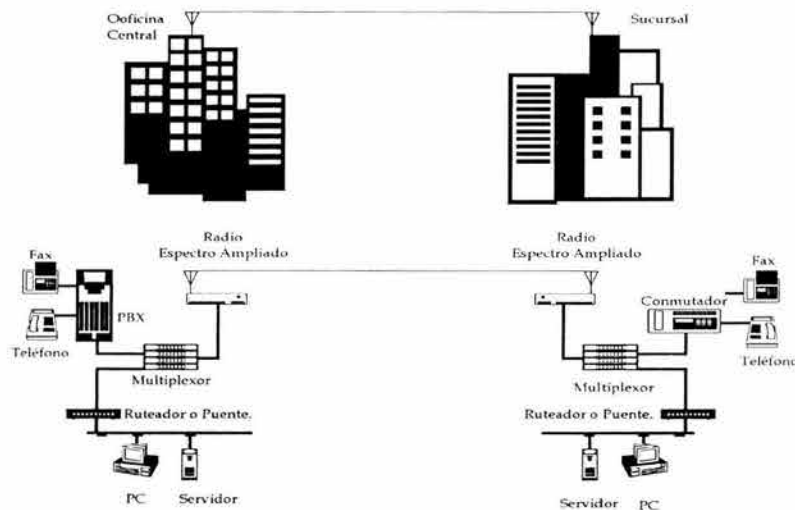


Fig. 4.1 Ejemplo de una aplicación real con radios de espectro disperso.

En el dibujo se aprecian multiplexores, redes de computadoras, PBX, Ruteadores, etc. Todos estos sistemas pueden integrarse a través del radio de espectro disperso; para obtener el resultado óptimo, se deben considerar todas las características de los equipos con los que se cuenta para poder seleccionar el equipo más adecuado, esto implica conocer las características técnicas de todos los equipos para realizar la conexión, se deben de considerar principalmente las velocidades y las interfaces tanto eléctricas como físicas para evitar los conversores o acopladores que representan un gasto extra además de otro punto de posible falla. Estos detalles son los que nos permitirán obtener el mejor resultado técnico, aunque no se debe de perder de vista el aspecto económico para poder encontrar la mejor solución costo-beneficio.

En la figura 4.1 se aprecia que el sistema que enlaza al radio con los sistemas del usuario es conocido como un equipo de acceso a la red del usuario, en este caso, este componente es el que se debe seleccionar con mayor cautela, o si ya se cuenta con él, es el que nos dará la mayor información para seleccionar el mejor radio de espectro disperso y así obtener la mejor solución, la selección de la marca o el equipo se obtendrá de las hojas técnicas de los mismos equipos que mejor cumplan con las necesidades que se tengan, incluyendo

obviamente la parte económica, además de prevenir la posible expansión del negocio, evitando así un gasto a corto plazo. Dentro de los multiplexores, existen varios tipos, algunos más complejos que otros y por lo tanto más caros, sin embargo como se ha expuesto, vale la pena invertir un poco más en la selección de este equipo al igual que el radio de espectro disperso, lo cual representará un mejor desempeño de la red de telecomunicaciones que se este planeando o que se tenga. Algunas marcas que se dedican a fabricar estos equipos son las siguientes:

- ◆ NEWBRIDGE.
- ◆ GDC.
- ◆ ACT.
- ◆ DSC.

# METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DEL ENLACE

En este capítulo se pretende dar una metodología para realizar un enlace con equipo que maneja la técnica de espectro disperso.

Es importante recordar que para efectuar un enlace se deben de cumplir las siguientes características:

1. La señal sigue una línea recta también llamada ruta de línea de vista.
2. La propagación de la señal es afectada por la denominada "atenuación en el espacio libre" y por fenómenos meteorológicos.
3. Normalmente se utilizan frecuencias mayores a los 400 Mhz.
4. Se hace uso de técnicas de modulación angular (F.M. o P.M.) o técnicas de modulación digital (F.S.K., P.S.K. o Espectro disperso).
5. El diseño en un enlace en línea de vista involucra normalmente los siguientes pasos:
  - a) Selección de sitios que cuenten con línea de vista entre sí.
  - b) Selección de la banda de frecuencias en la que se pretende operar, considerando la posible interferencia de R.F. y/o restricciones legales.
  - c) Desarrollo de los perfiles de ruta para determinar la altura de las torres o mástiles. Si la altura de las torres excede un cierto límite económico, entonces el paso "a)" debe ser repetido acercando los sitios o reconfigurando la ruta. (50 o 60 mts. de altura). En este paso, se debe tomar en cuenta que la energía de microondas es:
    - c.1. Atenuada o absorbida por objetos sólidos.
    - c.2. Reflectada por superficies conductoras, planos tales como: agua, y paredes metálicas de edificios.
    - c.3. Difractada alrededor de objetos sólidos.
    - c.4. Refractada o "doblada" por las diferentes capas de la atmósfera.
  - d) Cálculo de la ruta, después de elegir una cierta confiabilidad del enlace, se deben hacer los cálculos correspondientes para garantizar que el nivel de la señal recibida sea mayor al nivel de recepción de umbral.
  - e) Inspección de los sitios y la ruta para asegurar que lo asentado en los pasos "a", "b" y "c" es lo correcto.
  - f) Configuración del equipo para lograr de la manera más económica los márgenes de confiabilidad requeridos.
  - g) Instalación.
  - h) Establecimiento de los parámetros operacionales requeridos.
  - i) Alineación del haz, chequeo del equipo y pruebas de aceptación.

Es necesario agregar a los puntos anteriores las necesidades de la compañía, institución o cliente que requiere del enlace, esto es: capacidades de transmisión, longitud del enlace, velocidad con la que desean transmitir y qué tipo de información (video, voz, datos) se van a enviar a través de los equipos. Todo lo anterior aunado a un estudio económico, para obtener una solución adecuada y así obtener la mejor relación costo-beneficio.

Las características que se enumeraron arriba se analizarán con detalle, aunque algunas ya fueron tratadas de una manera más completa en el capítulo II que se refiere a la Propagación de las señales, así que en esta sección sólo se mencionarán las ecuaciones o los conceptos más importantes para llevar a cabo un enlace con la tecnología de espectro disperso.

En lo referente a las restricciones legales, es importante recordar que estos equipos no requieren de permisos para poder operar hasta la fecha, basta con que se cumplan las características que se muestran en el capítulo IV en lo referente a cumplimiento de regulaciones.

## **V.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS PUNTOS A CONECTAR.**

El primer paso que se debe considerar es la ubicación de los puntos que se desean enlazar, para realizar esto, se cuenta con mapas que nos pueden dar la ubicación exacta de los puntos, estos mapas pueden ser consultados en el INEGI, la escala recomendada para obtener una primera medición es: 1:250,000 y para la final 1:25,000 o 1:50,000.

Actualmente con los sistemas de posicionamiento global (GPS o DGPS), es más sencillo encontrar la ubicación de los puntos, basta con colocar el equipo en el sitio y tomar las lecturas correspondientes para obtener las coordenadas y las altitudes que se necesitan para establecer la posición de los sitios a enlazar.

Una vez que se ha definido la ubicación de los sitios, se debe de calcular la distancia del enlace, ya que este dato es limitante para definir las características del equipo que se deberá emplear, frecuencia, diámetro de antenas, etc. para nuestro caso, el fabricante indica la distancia aproximada que puede alcanzar el equipo bajo ciertas condiciones; la distancia más larga que indican los fabricantes aquí analizados es de 100 km dependiendo de las condiciones de propagación (capítulo II) la frecuencia y las potencias de transmisión.

Definidos los puntos y sabiendo que se puede realizar el enlace (distancia), se requiere determinar la ubicación de las antenas; se debe de tratar de colocar las antenas en lugares donde el haz (la señal transmitida) no pueda ser bloqueada, ya sea por un árbol, edificio, anuncio espectacular, o cualquier elemento que pueda obstruirlo, también es importante definir correctamente las alturas para alcanzar los criterios de libramiento para las zonas de Fresnel. Algunas veces se requiere la colocación de alguna torre, es importante conocer



o cuestionar sobre la resistencia del edificio para poder soportar dichas estructuras, cabe mencionar que no es recomendable utilizar torres que excedan los 90 metros de altura. Esto es debido a diversos factores como por ejemplo pueden ser la zona metropolitana se encuentra sobre una superficie altamente sísmica, por lo que una estructura de 90 mts de altura puede ser un riesgo para la población civil en caso de una catástrofe.

- La construcción de dicha torre representaría un alto costo de inversión.
- El espacio requerido para su construcción sería demasiado amplio.
- Representa un alto costo por concepto de inversión de la tierra.
- La falta de espacios que hoy en día se viven en el Distrito Federal.
- Otros.

Otro aspecto importante a considerar es, tener un fácil acceso a los puntos de transmisión y recepción, ya que será necesario llevar los equipos a estos lugares además de realizar las pruebas como la alineación del haz y en el futuro, prevenir los posibles mantenimientos o reparaciones a los equipos o estructuras. Es igualmente importante que se considere en la selección de los puntos, la posibilidad de obstrucción de la línea de vista, es decir, si se considera en el futuro construir algún edificio o ampliarlo (obstruyendo la trayectoria) o el crecimiento de algún árbol.

A continuación se presentan una serie de factores que se deben tener en cuenta para seleccionar el sitio.

- ◆ Situar las instalaciones en un terreno adecuado.
- ◆ Tener un acceso o la posibilidad de construir alguno para llegar al sitio en el cual se colocarán los equipos.
- ◆ Tomar en cuenta las restricciones en cuanto a construcción, si existe algún tipo de regularización de la zona, o incluso si se esta cerca de algún aeropuerto.
- ◆ El nivel de referencia adecuado para colocar las torres y si es el caso, la construcción de un cuarto en donde colocar el equipo (es importante mencionar que estos enlaces pueden estar en alguna comunidad rural, por lo que es importante tomar en cuenta estos factores) para prever las inundaciones o fenómenos de este tipo.
- ◆ Conocer las condiciones climáticas de la zona, aunque los equipos están diseñados para trabajar en condiciones poco favorables, es importante conocer las características de la zona para asegurar el óptimo funcionamiento de los mismos.
- ◆ Posibilidades de propagación con anomalías, esto puede ser posible en regiones cerca de la costa, en el desierto, o sobre rutas que crucen sobre ríos o extensiones de agua importantes (en el capítulo dos nos referimos a este tipo de anomalías).
- ◆ Contar con una fuente de energía eléctrica. Esto es muy importante ya que nuestros equipos necesitan forzosamente de una fuente de energía para poder operar, además de que las instalaciones eléctricas deben estar lo suficientemente protegidas contra variaciones de voltaje y contar con equipo de emergencia o de respaldo para garantizar el buen funcionamiento de los equipos de transmisión y recepción.
- ◆ Es de muchísima importancia contar con equipo 1+1, es decir, protegidos o redundantes ya que en caso de alguna falla, nuestra transmisión no será interrumpida

pues de inmediato deberá “entrar” el equipo secundario o de apoyo que encontramos trabajando de manera paralela a nuestro sistema original.

- ◆ Otro punto a considerar es contar con una fuente de energía eléctrica secundaria de emergencia (No Break) para que en caso de falta de suministro por parte del servicio público (CFE) las comunicaciones no se vean interrumpidas además de no perder información al momento de transmitir y/o recibir información.
- ◆ También se puede considerar tener 2 tipos de enlaces, con rangos de frecuencia de transmisión diferentes lo que permitirá una diversidad de frecuencias para evitar problemas en la comunicación.

## V.2 DETERMINACIÓN DEL PERFIL DE LA RUTA.

Una vez determinado el lugar en donde se van a colocar los equipos, el siguiente paso consiste en ubicar en un dibujo las características que se observan en la ruta de la transmisión, es decir una representación gráfica de la trayectoria entre el transmisor y el receptor en dos dimensiones, también deberán incluirse los obstáculos que existan en la trayectoria, edificios, árboles, montañas o cualquier cosa que pueda ocasionar alguna interferencia en la transmisión, esta información es muy importante para poder definir la altura de las antenas y manipular el punto de reflexión de la señal.

### **Métodos para la graficación de los puntos.**

#### **a) Método gráfico con K constante**

El primer método consiste en ubicar los obstáculos en un dibujo a escala, esta escala será la más conveniente de acuerdo a la distancias y la altura de los obstáculos, enseguida se analiza el perfil para determinar los puntos potenciales de obstrucción, estos puntos se colocan en la gráfica midiendo las distancias que existen entre el transmisor o receptor al obstáculo en cuestión; para representar la altura de los obstáculos, se utiliza la ecuación (II. 21) y la tabla 1 de acuerdo a las condiciones de propagación, así obtenemos la altura adicional que se debe considerar por el efecto de la curvatura de la tierra, también se debe considerar la primera zona de Fresnel para aplicar el criterio de libramiento y sumar estos incrementos de altura a los obstáculos.

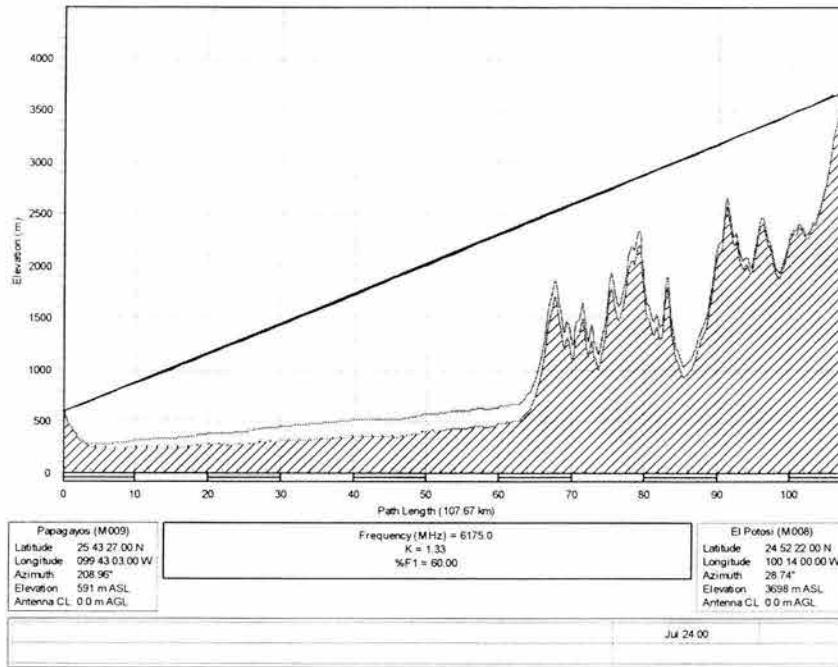


Fig. 5.1 Perfil utilizando el primer método de graficación, Criterio de libramiento 60% de la 1a zona de Fresnel con  $K=4/3$ .

**b) Método gráfico con K variable**

El segundo método consiste en utilizar un papel especial, este papel considera el factor  $K=4/3$ , por lo que las alturas de los obstáculos son las reales, no es necesario utilizar tablas ni ecuaciones como en el caso anterior, sin embargo en este tipo de papel no se puede manipular el factor de propagación. Un ejemplo de esto lo podemos apreciar en la siguiente figura:

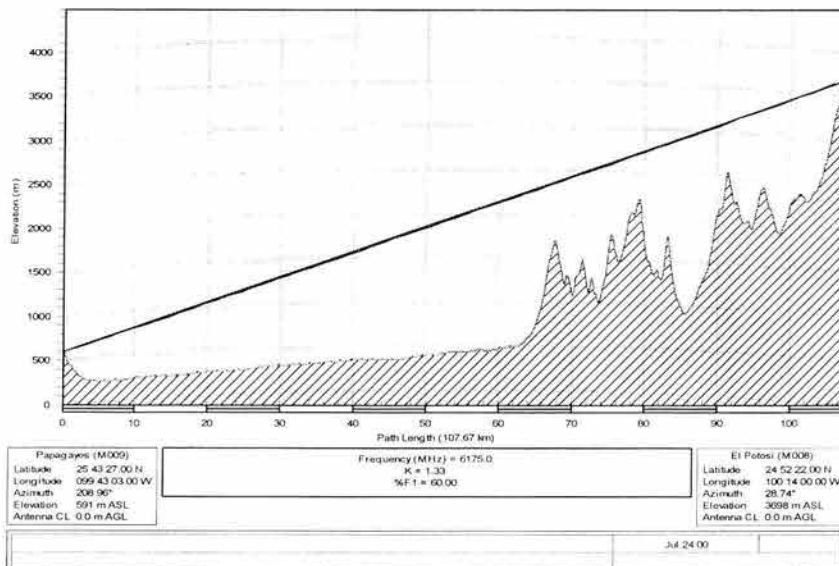


Fig. 5.1 Perfil utilizando el segundo método de graficación, Criterio de libramiento 60% de la 1a zona de Fresnel con  $K=4/3$  Papel curvo.

Ambos métodos nos permiten detectar los obstáculos, sin embargo tiene más uso el segundo, aunque actualmente con el desarrollo de programas de cómputo especializados en esto, resulta sencillo utilizar uno u otro, sin embargo se presenta un ejemplo para ver en cuáles fórmulas se basan dichos programas.

Si se cuenta con los siguientes datos:

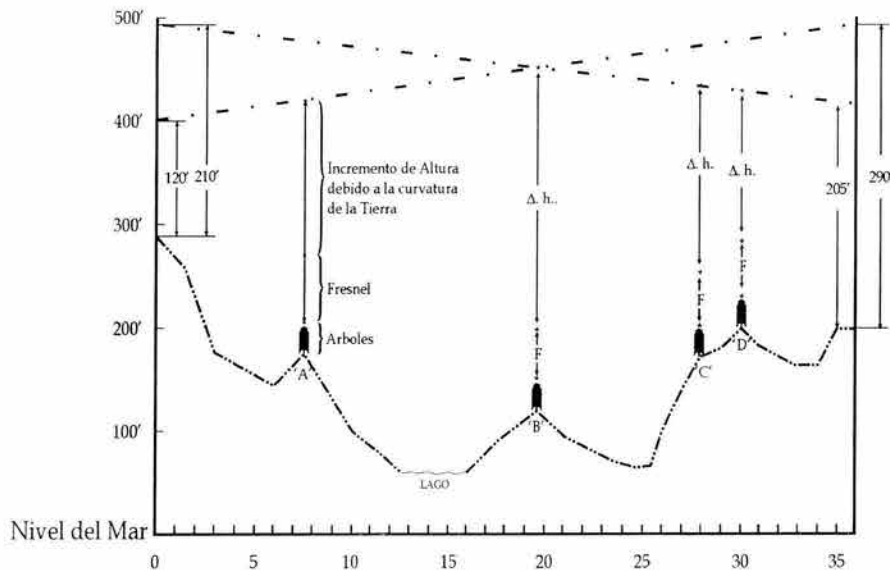
a

OBSTÁCULO	d1 (kms)	d2 (kms)	0.6 Fresnel (mts)	$\Delta h$ (mts) <sup>b</sup>	Arboles	Altura total Extendida (mts)
A	12.06	45.86	13.10	46.32	15.24	74.68
B	31.21	26.70	16.15	71.01	15.24	102.41
C	43.44	14.48	14.02	53.64	15.24	82.90
D	48.27	9.65	11.88	39.62	15.24	66.75

<sup>a</sup>Para los cálculos de la zona de fresnel y el incremento de alturas se consideró una frecuencia de 6GHz. y un factor K=0.92, la distancia entre los puntos de transmisión y recepción fue de 57.92 kms, en este caso el enlace es dentro de una zona rural por lo que se consideró que los árboles de la zona tienen una altura promedio de 12.19m y pueden aumentar 3.048m.

<sup>b</sup>El parámetro  $\Delta h$  se refiere a la altura adicional debido a la curvatura de la tierra (ecuación II.21).

A partir de la tabla y utilizando las ecuaciones descritas anteriormente, obtenemos el siguiente perfil:



	PUNTO CRÍTICO	d1	d2	FRESNEL	$\Delta h$
Factor K = 0.92	A	12.06	45.86	12.80m	47.24m
Arboles= 12.19m+3.048m	B	31.21	26.70	15.54m	71.32m
Frecuencia= 6GHz.	C	43.44	14.48	13.72m	53.03m
	D	48.27	9.65	11.89m	39.93m

Fig. 5.3 Ejemplo de un perfil de ruta utilizando el método uno.

De esta manera se obtienen las alturas más significativas de la trayectoria, así, se procede a definir la altura a la cual deberán de instalarse las antenas.

Cualquiera de los dos métodos anteriores puede ser empleado para calcular las características de la ruta por donde se transmitirá, desde este punto de vista se considera que el método con K variable es mejor ya que permite tener un mejor conocimiento de la superficie y de ésta manera conocer exactamente la altura a la cual se transmitirá la señal con respecto a la superficie terrestre ya que se puede tener exactamente por puntos específicos la altura del terreno.

### **V.3 CÁLCULO DE ALTURA DE LAS ANTENAS.**

Una vez establecidos los puntos críticos y considerado los incrementos debido a la curvatura de la tierra y al criterio de libramiento de la primera zona de fresnel, se procede a trazar una línea entre el punto de transmisión y el de recepción, esta línea deberá de tocar el punto crítico (con el incremento correspondiente), cuidando de no rebasar las alturas de las torres o mástiles en los que se instalará la antena, este proceso puede generar diferentes alturas, así que lo que se debe de cuidar es el punto o la zona de reflexión, el cual variará con las alturas que se propongan. También cuidar el costo que implica colocar una antena con cierta altura, ya que esto repercutiría en la cantidad de material, e incluso podría ser necesaria una remodelación o la construcción de soportes especiales o incluso alguna obra civil, sin embargo el punto más importante a considerar es el punto de reflexión.

### **V.4 DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE REFLEXIÓN.**

En el capítulo II, se mencionaron las características de la propagación de las ondas electromagnéticas, en este se clasificaron los diferentes tipos de ondas que existen, dentro de esta clasificación se encuentran las ondas espaciales, cabe recordar que estas ondas se dividen en dos, la onda directa y la onda reflejada en tierra, ambas llegan al punto de recepción, sin embargo la onda reflejada sufre un retardo, por lo que puede causar el efecto de multitrayectoria, lo cual altera la señal transmitida; aunque también se mencionó en el capítulo III que una de las características de los sistemas de espectro disperso es la de proteger a la señal de la trayectoria múltiple, es importante saber cómo se calcula el área donde incide la señal, ya que al realizar el proyecto, el ingeniero tiene la posibilidad de minimizar estos efectos o incluso para estos sistemas utilizarlo como una ventaja para poder detectar la señal o aumentar la potencia.

El objetivo de conocer el punto o la región en la cual se va a reflejar la señal, es la de evitar que la señal incida sobre un área de terreno liso o en el agua, lo cual favorecería la reflexión de la señal con una mayor potencia, así que, lo que se pretende es que el haz se refleje sobre un área en donde la señal se disperse, por ejemplo áreas arboladas, etc.

A continuación se presenta una tabla en la que se citan algunos tipos de terreno, así como su coeficiente de reflectividad (aproximado) y se da el valor aproximado de desvanecimiento aún en la zona de Fresnel en decibeles.

<b>Tipo de Terreno</b>	<b>R<sup>1</sup></b>	<b>Intensidad aproximada de Desvanecimiento aún en la Zona de Fresnel (dB)</b>
Bosque, totalmente bosque.	0 a -0.1	0-2
Parcialmente boscosa (árboles a lo largo del camino, perpendicular a la trayectoria, etc.)	-0.1 a -0.4	2-5
Áreas verdes altas en su follaje.	-0.5 a -0.7	5-10
Algodón con follaje, pequeñas zonas con agua de mar, áreas verdes bajas en follaje.	-0.7 a -0.8	10-20
Agua de mar uniforme, piso salado, tierra lisa.	-0.9 +	20-40 +

<sup>1</sup>Los valores dados de R en esta tabla son aproximados, pero dan una indicación de la degradación de la señal esperada sobre varios tipos de terreno.

Radio System Design for Telecommunications (1-100 GHz). Freeman, Roger, L. Ed. John Wiley and Sons.

Uno de los métodos utilizados para calcular el punto de reflexión, es el método gráfico, el cual se basa en la figura 5.4. El término "punto" de reflexión es confuso, ya que nos hace pensar en un punto específico, sin embargo esto no es así, ya que como se mencionó, el valor de  $K$  no es homogéneo durante los 365 días del año, sino que varía de acuerdo con los cambios atmosféricos, la temperatura, la presión, la humedad a través de la ruta del enlace; por esta razón, el punto de reflexión cubre un sitio sobre el trayecto del enlace cuyos extremos son determinados por los valores extremos del factor  $K$ , variando desde  $K=0$  hasta  $K=\infty$ , así, basta con determinar la relación que existe entre las antenas y buscar sobre la gráfica y aplicar estos valores para determinar el lugar en donde se tendrá la reflexión.

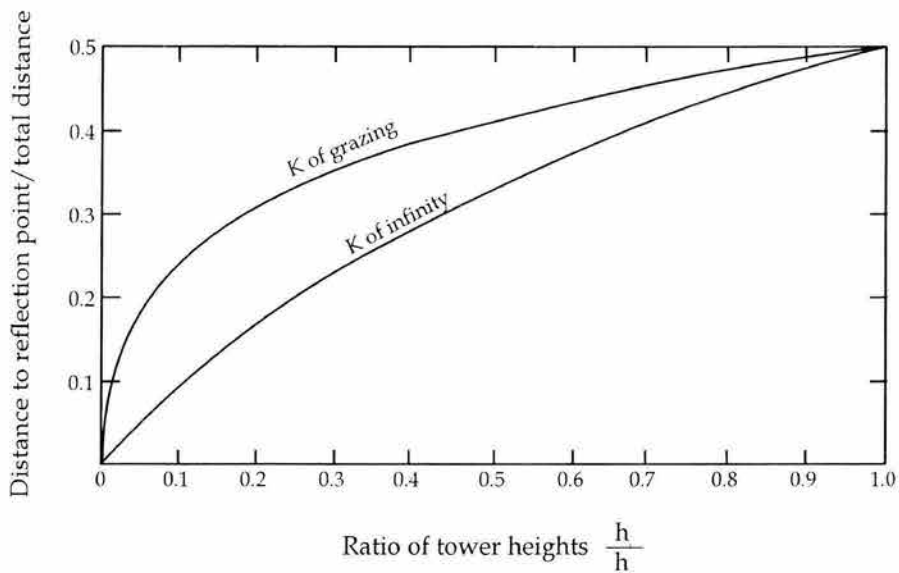


Fig. 5.4 Nomograma del Punto de Reflexión.

Para apreciar esto, veamos el siguiente ejemplo. Asuma que la altura de la antena más alta es  $h_1=30.48$  m,  $h_2=45.72$  m y la longitud del enlace es de 32.18 km, así la relación entre antenas será:

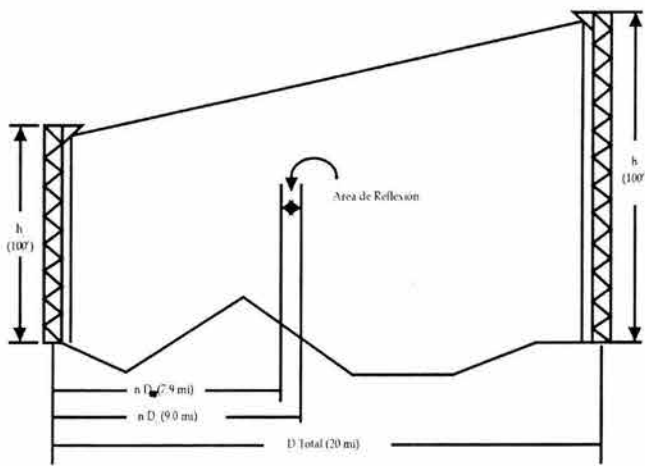
$h_1/h_2$ , en donde  $h_1$  siempre será la antena más corta, del ejemplo, esta relación da un factor de 0.66.

El siguiente paso consiste en ubicar en la figura 5.4 esta relación y obtener los dos factores que arroja la figura ( $K=0$  o razeante y  $K=\infty$ ), estos valores tendrán que ser multiplicados por la longitud del enlace y así ubicar la distancia a partir de la antena más corta " $h_1$ ", de esta manera tenemos que:

$$D_\infty = 0.39 \times 20 = 12.71 \text{ km (valor de } K=\infty)$$

$$D_0 = 0.45 \times 20 = 14.48 \text{ km (valor de } K=0)$$

De esta manera se tiene que el "área" de reflexión es el "área" a lo largo de la línea entre los 12.71 y los 14.48 kms desde la torre más corta. Ver la siguiente figura.



Ejemplo:

$$h = 100' \quad h = 150'$$

$$D = 20 \text{ mi.}$$

Relación entre las torres:

$$h/h = 100/150 = 0.66$$

Buscar el valor de 0.66 en la gráfica y obtener la distancia desde la torre más corta hacia el punto de reflexión.

Para  $K = \infty$

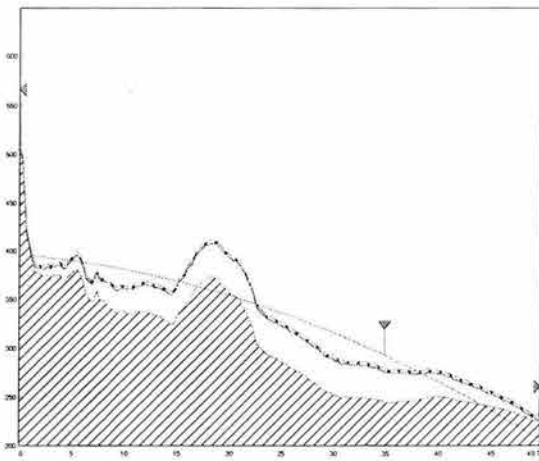
$$D = 0.395 \times 20 = 7.9 \text{ mi.}$$

Para  $K = 0$

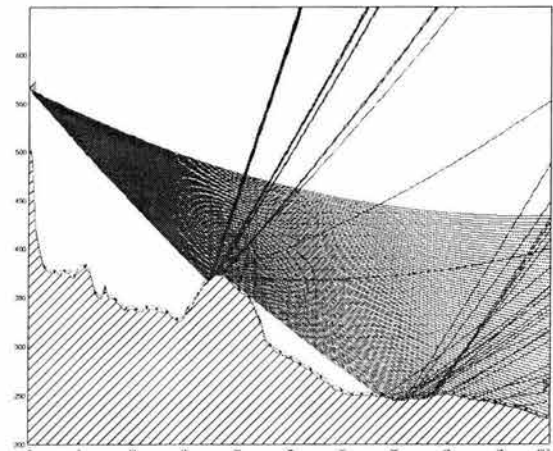
$$D_r = 0.45 \times 20 = 9.0 \text{ mi.}$$

Fig. 5.5 Ejemplo del cálculo del punto de reflexión.

Actualmente existen programas de cómputo especializado, que ahorran el tiempo de procesamiento y dan la información de manera gráfica, incluso se puede ver en ellos el efecto de multitrayectoria que se mencionó. Observe las siguientes gráficas.



(a)



(b)

Fig. 5.6 Gráficas del punto de Reflexión (a) Y la multitrayectoria (b).



## V.5 CÁLCULOS DEL ENLACE.

A continuación se presentan las características que se requieren conocer para poder empezar a realizar el cálculo del enlace.

### V.5.1 NIVEL DE UMBRAL DE RECEPCIÓN DE LOS EQUIPOS.

Este es el valor que debe tener la señal para que el equipo a la recepción pueda captar la señal que esté transmitiendo el otro radio, este valor varía de acuerdo al fabricante, a continuación se presentan unas tablas con estos valores para los equipos que se han analizado:

NIVEL DE UMBRAL DE RECEPCIÓN dBm a $10^{-6}$ BER (BANDA "L")			
MARCA	MODELO		
	19MP y19 MP-E (multipunto)	64 MP y 64 MP-E (multipunto)	128
CYLINK (AIRLINK)	-101	-95	-92

NIVEL DE UMBRAL DE RECEPCIÓN dBm $1 \times 10^{-6}$ (BANDA "S")					
MARCA	MODELO				
	64 SMP (Multipunto)	128S	256S	384S	512S
CYLINK (AIRLINK)	-95	-92	-89	-87	-86
CYLINK	AIRPRO 64S				
	-95 @ -98 tipico				
DTS (SKYPLEX I)	64 S	128S	256S	384S	512S
	-98	-95	-92	-90	-89
DTS	SKYPLEX II				
	-91 $1 \times 10^{-8}$				
P-COM	100-2	200		400	
	-91	-84		-81	
HARRIS	AURORA 2400				
	-89 @ -90 tipico				
WIRELESS	ACCESS LINK				
	-90 E1, -87 2xE1, -84 4xE1				

<b>NIVEL DE UMBRAL DE RECEPCIÓN dBm <math>1 \times 10^{-6}</math> (BANDA "C")</b>			
<b>MARCA</b>	<b>MODELO</b>		
	<b>AIRPRO E1</b>		
<b>CYLINK</b>	-78..-80		
	<b>SKYPLEX II</b>		
<b>DTS</b>	-89		
	<b>AURORA 5800</b>		
<b>HARRIS</b>	E1:-88 2E1:-86		
	<b>RED-II</b>		
<b>MIXBAAL</b>	-85		
	<b>100-5</b>	<b>200</b>	<b>400</b>
<b>P-COM</b>	-89	-82	-79
	<b>ACCESS LINK</b>		
<b>WIRELESS</b>	E1: -90 2E1: -87 4E1: -84		

## V.5.2 TIPOS DE ANTENAS A UTILIZARSE.

En esta sección se muestran los tipos más comunes de antenas que se utilizan en los enlaces con tecnología de espectro disperso:

Grid

Semiparabólica

La información que se obtiene de los fabricantes es muy importante ya que permitirá conocer si las antenas que se utilizaron son las adecuadas para la elaboración de un proyecto. Esta información deberá contener datos como: ganancia, relación frente-espalda (front to back ratio), ancho de haz, rango de frecuencias de operación, peso y resistencia al aire entre otros.

Este valor permitirá escoger la antena adecuada de acuerdo con el diseño del enlace así como el diseño de la estructura que soportará a las antenas. Existen diversos fabricantes de antenas sin embargo entre los más importantes y comerciales son: Andrew, Gabriel y RFS. Es importante que las antenas se encuentren respaldadas por su fabricante a través de una garantía para asegurar su correcto funcionamiento y proveer al cliente la reposición en caso de alguna falla imputable a la fabricación.

En la siguiente tabla se muestran los valores típicos de algunas antenas en las diferentes bandas de transmisión.

**ANTENAS PARA LA BANDA "L"**

MODELO	DIÁMETRO	GAIN, dBi			BEAMWIDTH		CROSS. POL.	F/B RATIO	VSWR, MAX.
	(m)	BAJA	MEDIA	ALTA	HOR.	VERT.	DISC., dB	dB	dB
KP4F-820	1.2	17.5	18.2	18.8	17.2	15.9	28	24	15.5
KP6F-820	2.0	21.8	22.6	23.2	10.8	9.5	30	28	15.5
KP8F-820	2.4	23.4	24.1	24.7	9	8	34	25	16.5
KP10F-820	3.0	25.2	25.9	26.5	8	6.7	30	25	16.5
KP13F-820	4.0	27.3	28	28.6	5.8	4.9	36	30	16.5

Antenas Marca Andrew, Tipo Grid

MODELO	DIÁMETRO	GAIN, dBi			BEAMWIDTH		CROSS. POL.	F/B RATIO	VSWR, MAX.
	(m)	BAJA	MEDIA	ALTA	HOR.	VERT.	DISC., dB	dB	dB
P4F-9	1.2	18.1	18.4	18.7	19.5	19.5	8	21	17.7
P6F-9	1.8	21.5	21.9	22.2	13	13	12	24	17.7
P8F-9	2.4	24	24.3	24.7	9.2	9.2	15	27	17.7
P10F-9	3.0	26	26.3	26.6	7.8	7.8	15	29	17.7
P12F-9	3.7	27.7	28	28.3	6.7	6.7	15	30	17.7
P15F-9	4.6	29.6	29.9	30.2	5.3	5.3	16	32	17.7

Antenas Marca Andrew, Tipo Estándar

**ANTENAS PARA LA BANDA "S"**

MODEL O	DIÁMETR O	GAIN, dBi			BEAMW IDTH	CROSS. POL.	F/B RATIO	VSWR, MAX.
	(m)	BAJ A	MEDI A	ALT A			DISC., dB	Db
KP3F-23	0.9	24.7	25.1	25.3	8.1	38	30	20.8
KP4F-23	1.2	27.2	27.5	27.8	6.9	30	30	20.8
KP6F-23	2.0	31	31.3	31.6	4.5	30	36	26.4
KP8F-23	2.4	32.6	32.9	33.1	3.4	30	35	28.3
KPF10-23	3.0	34.5	34.8	35.1	3.0	30	38	28.3
KPF13-23	4.0	37	37.2	37.5	2.4	30	38	28.3

Antenas Marca Andrew, Tipo Grid

MODELO	DIÁMETRO	GAIN, dBi			BEAMWIDTH	CROSS. POL.	F/B RATIO	VS WR, MAX.
	(m)	BAJA	MEDIA	ALTA			DISC., dB	dB
P2F-23	0.6	20.8	21.6	22.0	12.0	21	24	14.0
P4F-23	1.2	26.9	27.3	27.6	6.9	32	36	20.8
PL6F-23	1.8	30.4	30.8	31.2	4.7	32	36	26.4
PL8F-23	2.4	33.0	33.4	33.8	3.5	30	39	28.3
PL10F-23	3.0	34.9	35.3	35.6	3.0	30	44	28.3
PL12F-23	3.7	36.5	36.9	37.2	2.5	32	47	28.3
P6F-24	1.8	30.9	31.0	31.1	4.3	28	36	17.7
P8F-24	2.4	33.4	33.5	33.6	3.2	28	39	17.7

Antenas Marca Andrew, Tipo Estándar

**ANTENAS PARA LA BANDA "C"**

MODELO	LADO DE LA ANTENA	GAIN, dBi	BEAMWIDTH	F/B RATIO	VSWR, MAX.
	(mm)	MEDIA		DISC., dB	Db
FPA5250 D06-N	150	18	19.3	35	14
FPA5250 D12-N	300	23.6	9.6	40	14
FPA5250 D24-N	600	28.2	4.8	45	14

Antenas Marca Andrew, Tipo Planas

MODELO	DIÁMETRO	GAIN, dBi			BEAMWIDTH	CROSS. POL.	F/B RATIO	VSWR, MAX.
	(m)	BAJA	MEDIA	ALTA			DISC., dB	Db
P2F-52	0.6	29	29	30.1	5.4	30	41	14
PX2F-52	0.6	29	29	30.1	5.4	30	41	14
P3F-52	0.9	33.4	33.4	33.5	3.8	30	42	14
PX3F-52	0.9	33.4	33.4	33.5	3.8	30	42	14

Antenas Marca Andrew, Tipo Estándar

### V.5.3 POTENCIA DISPONIBLE EN LOS EQUIPOS DE TRANSMISIÓN.

POTENCIA EN dBm (BANDA "L")	
MARCA	MODELO
	AIRLINK
CYLINK	29 (800 mW)

POTENCIA EN dBm (BANDA "S")	
MARCA	MODELO
	AIRLINK
CYLINK	28 (650 mW)
	AIRPRO 64S
CYLINK	28 máx. (650 mW) ajustable.
	SKYPLEX I
DTS	28 máx. (650 mW) ajustable.
	SKYPLEX II
DTS	28, 62 EIRP con antena de 2.4 m.
	AURORA 2400
HARRIS	Ajustable a través de software: Potencia Alta: +26 máx., (+16, mín.) Potencia Estándar: +15 máx., (-10, mín.)
	100-2                                  200                                  400
P-COM	+8 mín. +27 máx.                                  +20                                  +20
	ACCESS LINK
WIRELESS	+21

POTENCIA EN dBm (BANDA "C")	
MARCA	MODELO
	AIRPRO E1
CYLINK	-4 a +20 (ajustable en pasos de 1 dBm)
	SKYPLEX II
DTS	+8 con opción de alta potencia a +28
	AURORA 5800
HARRIS	+18.5 máxima ajustable por software en pasos de 1 dBm
	RED-II
MIXBAAL	+14
	100-5                                  200                                  400
P-COM	+18                                  +18                                  +18
	ACCESS LINK
WIRELESS	+12 máxima ajustable por software en pasos de 1 dBm

## V.5.4 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y CONECTORES.

A continuación se presenta una serie específica de Líneas de Transmisión y Conectores necesarios para la interconexión de los equipos de Radio con las Antenas.

### LÍNEA PARA LAS BANDAS "L, S y C"

MODELO	DÍAMETRO	Rango de Operación	Radio de Curvatura Mínimo	Impedancia	Pérdidas dB/100m		
		(MHz)	(mm)	(Ohms)	L	S	C
LDF1-50	1/4 "	0.5 - 15800	76	50 ± 1	12.8	21.6	37.0
LDF2-50	3/8 "	0.5 - 13500	95	50 ± 1	10.9	18.4	31.5
LDF4-50	1/2 "	0.5 - 8800	125	50 ± 1	6.85	11.5	19.5
LDF4.5-50	5/8 "	0.5 - 6100	200	50 ± 1	5.05	8.70	15.0

Línea Marca Andrew

### CONECTORES PARA LÍNEA

Por recomendación de los fabricantes, es importante que los conectores y todos los accesorios que se requieren para la instalación de la línea de transmisión, sean de la misma Marca, con esto, el fabricante asegura y garantiza el correcto funcionamiento de sus productos.

En este caso consideraremos los Conectores necesarios para las líneas arriba mencionadas; los conectores sirven de igual manera para las bandas "L", "S" y "C".

#### LDF1-50

MODELO	INTERFACE	DESCRIPCION	CONTACTO INTERNO
L1PNM-H	N Macho	Cabeza Hexagonal	Soldable
L1PNM-HC	N Macho	Cabeza Hexagonal	Aprisionado (Captivated)
L1PNR-HC	N Macho	Angulo 90°	Captivated
L1PNF	N Hembra	-	Soldable
L1PNF-C	N Hembra	-	Captivated
L1PNF-BH	N Hembra	-	Soldable

**LDF2-50**

MODELO	INTERFACE	DESCRIPCION	CONTACTO INTERNO
L2PNM-H	N Macho	Cabeza Hexagonal	Soldable
L2PNM-HC	N Macho	Cabeza Hexagonal	Captivated
L2PNF	N Hembra	-	Soldable
L2PNF-PH	N Hembra	Cabeza Ancha	Soldable

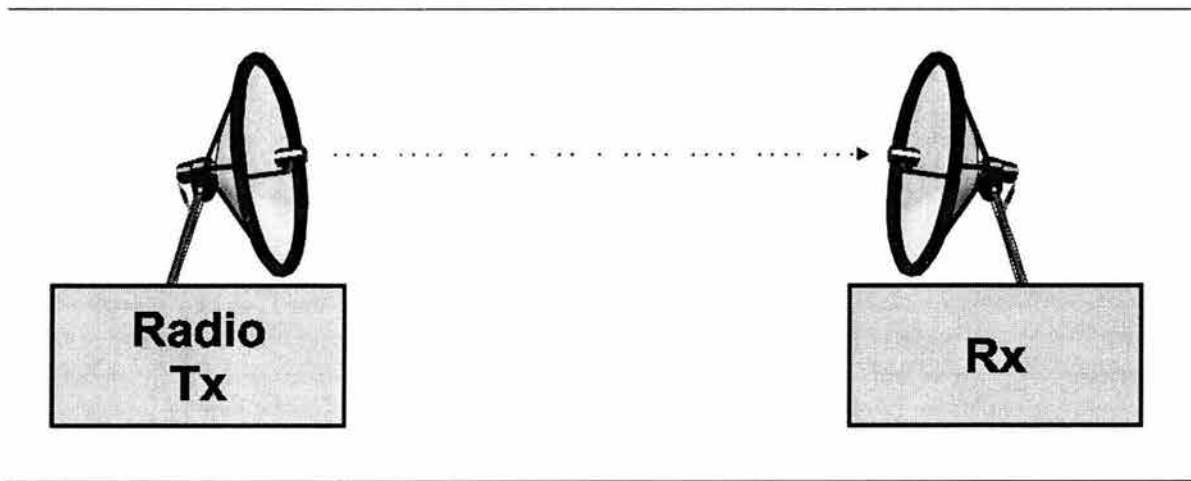
**LDF4-50**

MODELO	INTERFACE	DESCRIPCION	CONTACTO INTERNO
L4PNM-H	N Macho	Cabeza Hexagonal	Soldable
L4PNM-RC	N Macho	Campana	Captivated
L4PNF	N Hembra	-	Soldable
L4PNF-BH	N Hembra	Cabeza Ancha	Soldable

**LDF4.5-50**

MODELO	INTERFACE	DESCRIPCION	INNER CONTACT ATTACHMENT
L4.5PNM-RC	N Macho	Campana	Captivated
L4.5PNF-RC	N Hembra	Campana	Captivated

### V.5.5 ECUACIÓN PARA EL CÁLCULO DEL ENLACE.



$$R_x = P_{Tx} - L_{cable} + G_{antena} - L_{FSL} + G_{antena} - L_{cable} - L_{misc}$$

En donde:

$R_x$  = Nivel de recepción esperado

$P_{Tx}$  = Potencia de transmisión del equipo

$L_{cable}$  = Pérdidas en la línea de transmisión

$G_{antena}$  = Ganancia en la antena de transmisión

$L_{FSL}$  = Pérdidas en el espacio libre

$G_{antena}$  = Ganancia en la antena de recepción

$L_{cable}$  = Pérdidas en la línea de recepción

$L_{misc}$  = Pérdidas misceláneas (conectores, diplexores, etc.)

El nivel de recepción esperado deberá encontrarse dentro del umbral especificado ni tampoco deberá de exceder los niveles de saturación; los valores máximos de saturación y de umbral dependerán del fabricante del equipo.

### V.5.6 FORMATO PROPUESTO PARA EL DISEÑO DE ENLACES.

A continuación se presenta el proceso y los formatos propuestos para llevar a cabo la metodología propuesta en el presente trabajo de tesis.

El desarrollo del proceso para el diseño de enlaces que se está proponiendo, consiste básicamente en los siguientes puntos:

- a) Determinar junto con el ingeniero responsable o cualquier persona que tome las decisiones (en representación del cliente); cuáles son las necesidades específicas del

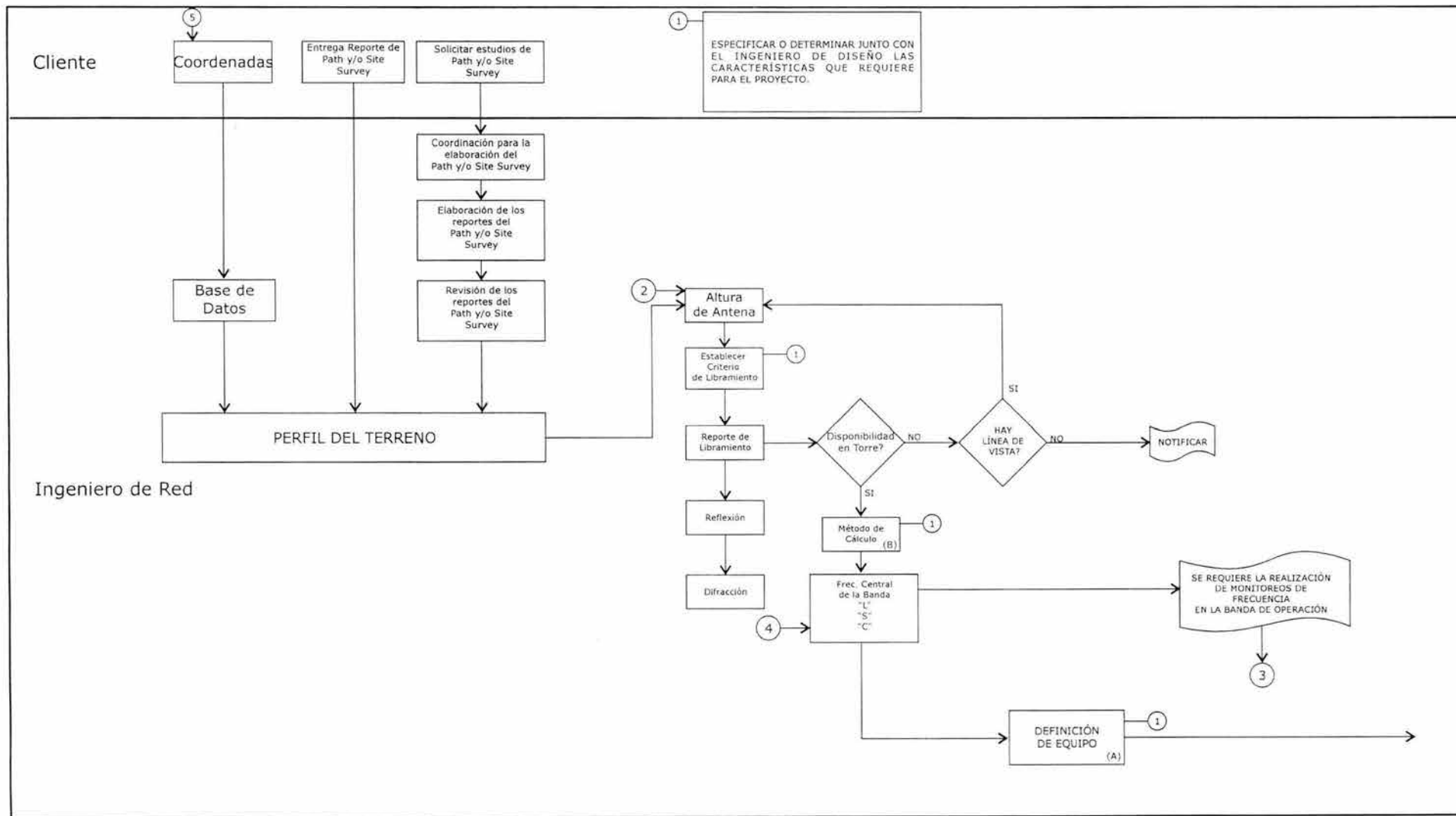


proyecto de comunicaciones a desarrollar y analizando dicha información, dar una respuesta al cliente a través de un sistema de comunicación utilizando la tecnología de Spread Spectrum o en su caso referir a una solución alterna.

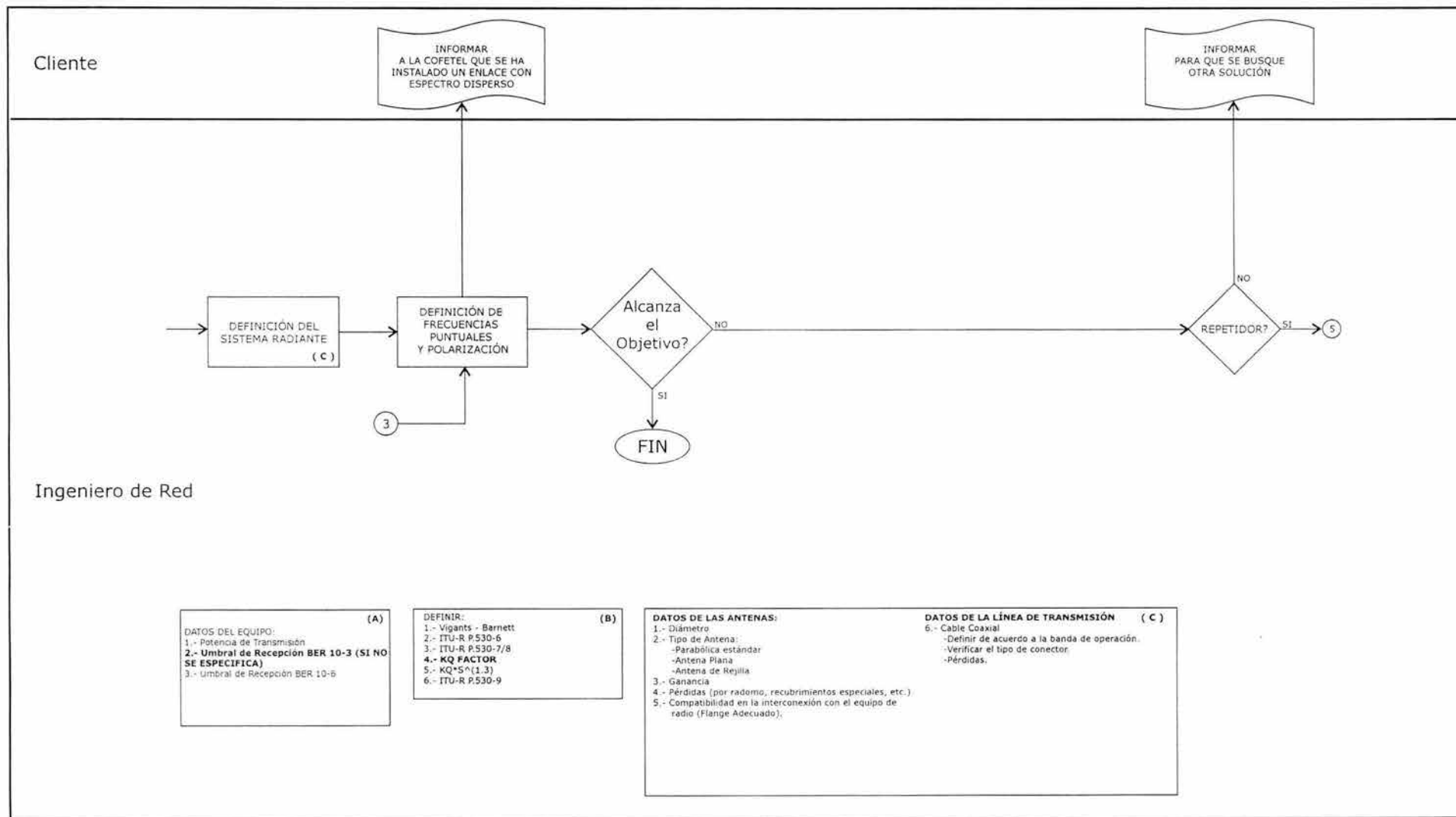
- b) Si el enlace se puede realizar a través de equipos de tecnología de Spread Spectrum, entonces se procederá a recolectar toda la información para llevar a cabo todo el análisis de ingeniería de diseño que se necesita. Cabe mencionar que la punto principal de análisis para la realización del enlace, es que exista una línea de vista; en caso contrario no se podrá realizar el enlace mediante esta tecnología y por ello no tendría caso seguir con el desarrollo del proyecto.
- c) Una vez recolectada toda la información del campo, se procede a ingresar todos los datos necesarios y con la ayuda de sistemas de cómputo y software especializado (basados en las fórmulas de propagación previamente analizadas), se lleva a cabo el diseño del enlace, incluyendo todo el equipo necesario para llevar a cabo el proyecto de comunicaciones.

# PROCESO PARA EL DISEÑO DEL ENLACE

## 1 / 2



## PROCESO PARA EL DISEÑO DEL ENLACE 2 / 2



PORTADA DEL PROYECTO

DE DISEÑO:

INCLUYENDO:

NOMBRE DEL CLIENTE

LUGAR DONDE SE REALIZARA

NOMBRE DEL PROYECTO

FECHA

ENCABEZADOS, P.E. NOMBRE DEL PROYECTO, LOGOTIPOS, ETC.

**SITIO A**

En este espacio se deberá de anotar la información del sitio:

Nombre  
Dirección  
Coordenadas  
Azimuth  
etc...

**SITIO B**

En este espacio se deberá de anotar la información del sitio:

Nombre  
Dirección  
Coordenadas  
Azimuth  
etc...

**INDICE**

En este punto se recomienda el siguiente índice para la elaboración del trabajo:

- I. Objetivo
- II. Generalidades
- III. Poligonal
- IV. Dibujos
- V. Fotografías
- VI. Conclusiones

**OBJETIVO****OBJETIVO**

Para desarrollar este punto deberemos responder a la pregunta: ¿por qué necesito un enlace de microondas y espectro ampliado?, ¿cuáles son los requerimientos de mi cliente?, etc..., esto con el fin de obtener el objetivo más preciso para el mejor diseño del enlace.

**GENERALIDADES*****PUNTO A***

Breve descripción del sitio A, en este punto deberemos de mencionar por ejemplo: el tipo de acceso, la infraestructura con la que cuenta (sin llegar a detalle) y en general todas las recomendaciones que sean de relevancia para el buen desarrollo del diseño.

***PUNTO B***

Breve descripción del sitio B, en este punto deberemos de mencionar por ejemplo: el tipo de acceso, la infraestructura con la que cuenta (sin llegar a detalle) y en general todas las recomendaciones que sean de relevancia para el buen desarrollo del diseño.

INFORMACION DE LOS SITIOS

**SITIO A**

En este punto recomendamos responder al siguiente formulario para proporcionar la información más relevante del sitio en cuestión.

Nombre del lugar:	_____
Tipo de nodo (terminal ó repetidor)	_____
Nombre del Cliente	_____
Domicilio exacto	_____
Latitud	_____
Longitud	_____
Azimuth	_____
Distancia del enlace	_____
Altura sobre el nivel del mar (ASNM)	_____
Altura del edificio (en caso de aplicar)	_____
Datos del contacto con el cliente	_____

***Este levantamiento tendrá que ser elaborado en duplicado, uno para el sitio A y otro para el B***



**INFRAESTRUCTURA**

**SALA DE RADIO**

Existente: \_\_\_\_\_ Dimensiones: \_\_\_\_\_ Escalerilla a bastidor: \_\_\_\_\_

Piso: \_\_\_\_\_ Pasamuros: \_\_\_\_\_ Barra de tierra: \_\_\_\_\_

Tipo: \_\_\_\_\_ Voltaje de C.A.: \_\_\_\_\_

Clima: \_\_\_\_\_

Observaciones:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**TORRE**

Existente: \_\_\_\_\_ Barra de tierra: \_\_\_\_\_ Escalerilla a caseta: \_\_\_\_\_

Piso: \_\_\_\_\_ Retenidas: \_\_\_\_\_ Cimentación: \_\_\_\_\_

Modelo: \_\_\_\_\_ Sistema de tierra: \_\_\_\_\_

Altura: \_\_\_\_\_

Observaciones:

Proponer nueva o adecuaciones para equipos nuevos

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**BASTIDOR DE RADIO**

Existe: \_\_\_\_\_ Barra de tierra: \_\_\_\_\_ Voltaje: \_\_\_\_\_

Bastidor: \_\_\_\_\_ Aterrizado a: \_\_\_\_\_ AC ó DC en bastidor \_\_\_\_\_

Panel de fusibles: \_\_\_\_\_

Observaciones:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

***Este levantamiento tendrá que ser elaborado en duplicado, uno para el sitio A y otro para el B***

**INFRAESTRUCTURA**

<b>RECTIFICADOR</b>		
Existente: _____	Lado A/capacidad _____	Carga actual: _____
Marca: _____	Lado B/capacidad _____	Carga total: _____
Modelo: _____	Voltaje _____	
Observaciones:		
_____ Si el cliente lo solicita, recomendar. _____ _____		

<b>LONGITUDES DE CABLE</b>	
Longitud de cable de barra de tierra a bastidor:	_____
Longitud de cable de rectificador a radio:	_____
Longitud de cable de alimentación:	_____
Longitud de cable de líneas de antena a equipo:	_____
Observaciones:	
_____ _____	

***Este levantamiento tendrá que ser elaborado en duplicado, uno para el sitio A y otro para el B***

**EQUIPO PROPUESTO**

**EQUIPO DE RADIO PROPUESTO "L", "S", "C"**

Marca: \_\_\_\_\_ Banda de Operación: \_\_\_\_\_ Umbral de Recepción \_\_\_\_\_  
 Modelo: \_\_\_\_\_ Potencia de Tx: \_\_\_\_\_ Umbral 10<sup>-6</sup>: \_\_\_\_\_  
 Umbral 10<sup>-3</sup>: \_\_\_\_\_  
 Configuración: \_\_\_\_\_  
 Observaciones: \_\_\_\_\_  
 Capacidad: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**SISTEMA RADIANTE PROPUESTO**

Marca: \_\_\_\_\_ Polaridad: \_\_\_\_\_ Altura de soporte: \_\_\_\_\_  
 Modelo: \_\_\_\_\_ Altura: \_\_\_\_\_ Diámetro de soporte: \_\_\_\_\_  
 Diámetro: \_\_\_\_\_ Tipo de soporte: \_\_\_\_\_  
 Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**EQUIPO AUXILIAR PARA LA INTERCONEXION CON EL CLIENTE**

Bastidor: \_\_\_\_\_ Impedancia: \_\_\_\_\_ Alimentación: \_\_\_\_\_  
 Marca: \_\_\_\_\_ Posiciones asignadas: \_\_\_\_\_  
 Modelo: \_\_\_\_\_ Distancia base de equipo: \_\_\_\_\_  
 Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Este levantamiento tendrá que ser elaborado en duplicado,  
uno para el sitio A y otro para el B**

DATOS DEL PERFIL DEL TERRENO

<b>DATOS DEL TERRENO SITIO A - SITIO B</b>		
	SITIO A	SITIO B
Latitud:	_____	_____
Longitud:	_____	_____
ASNM:	_____	_____
Azimuth:	_____	_____
Distancia del enlace:	_____	_____

<b>DATOS DEL TERRENO SITIO A - SITIO B</b>				
Distancia en Kms.	A.S.N.M.	Altura obstáculo	Tipo de obstáculo	$\Delta h$ (factor k)

**Con los datos obtenidos en la tabla anterior obtendremos el perfil del enlace (gráfica) Y también se deberán de incluir las gráficas de reflexión, difracción y el cálculo de disponibilidad del enlace.**

# **APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA EN UN ENLACE REAL**

En este capítulo se desarrolló el diseño de un enlace mediante la tecnología de Spread Spectrum llevado a cabo con la metodología que se propone en el presente trabajo de tesis.

El diseño se llevó a cabo siguiendo estrictamente el proceso de diseño propuesto y el cual se describe a continuación:

DISEÑO DE ENLACE

**Guadalajara, Jalisco**

Sitio A-Sitio B

Agosto, 2003.

**ENLACE SOPORTE FERROMEX-PATIO NORTE**

**SITIO A**

Av. Washington y Calz. del Aguila  
Col. Tepotote  
Guadalajara, Jal.

20°39'25.00" N  
103°21'10.00" W  
1564.33 msnm

**SITIO B**

Av. Washington y M. Otero  
Col. Del Fresno  
Guadalajara, Jal.

20°39'50.50" N  
103°22'10.30" W  
1589.00 msnm

**INDICE**

- I. Objetivo
- II. Generalidades
- III. Cálculo
- IV. Dibujos
- V. Fotografías

**OBJETIVO****OBJETIVO**

EL CLIENTE solicitó el análisis por parte del departamento de ingeniería para llevar a cabo el diseño del enlace para la interconexión entre sus dos estaciones denominadas Sitio A y Sitio B.

Dicha interconexión tiene la finalidad de transportar servicios de voz y datos; debido a la ubicación de las estaciones y por encontrarse en ellas distintos medios que dificultan la instalación de cableado resulta eficiente y a la vez un menor costo la instalación de equipos con tecnología de espectro disperso.



**GENERALIDADES****SITIO A**

La estación se ubica en la Av. Washington y Calz. del Aguila (Depto. de Telecomunicaciones), Col. Tepopote, Guadalajara, Jal. El sitio cuenta con una caseta, una Torre Autosoportada cuadrangular de 60m de altura desplantada sobre el nivel del suelo.

La antena instalada con dirección hacia Sitio B es de 1.2m de diámetro y se encuentra a una altura de 43.4 m sobre la torre.

**SITIO B**

La estación se ubica en la Av. Washington y Mariano Otero (Depto. de Carros y Coches), en la Col. Fresno, Guadalajara, Jal.

El sitio cuenta con una caseta y torre arriestrada de 12m de altura, la cual se encuentra desplantada a un nivel de 5.20m en la azotea de las oficinas del taller de bagones.

En la torre se instaló una antena con dirección a Sitio A, la cual quedó a una altura de 16.30m desde el nivel del suelo.

INFORMACION DE LOS SITIOS

**SITIO A**

Nombre del lugar:	<u>SITIO A</u>
Tipo de nodo (terminal ó repetidor)	<u>Repetidor</u>
Nombre del Cliente	<u>CLIENTE</u>
Domicilio exacto	<u>Av. Washington y Calz. del Aguila</u>
Latitud	<u>20° 39' 25.00" N</u>
Longitud	<u>103° 21' 10.00" W</u>
Azimuth	<u>342.59°</u>
Distancia del enlace	<u>1.91 Km</u>
Altura sobre el nivel del mar (ASNM)	<u>1564.33 msnm</u>
Altura del edificio (en caso de aplicar)	<u>N/A m</u>
Datos del contacto con el cliente	<u></u>

INFORMACION DE LOS SITIOS

**PATIO NORTE**

Nombre del lugar:	<u>SITIO B</u>
Tipo de nodo (terminal ó repetidor)	<u>Terminal</u>
Nombre del Cliente	<u>CLIENTE</u>
Domicilio exacto	<u>Av. Washington y M. Otero</u>
Latitud	<u>20° 39' 50.50" N</u>
Longitud	<u>103° 23' 10.30" W</u>
Azimuth	<u>162.59°</u>
Distancia del enlace	<u>1.91 Km</u>
Altura sobre el nivel del mar (ASNM)	<u>1589.00 msnm</u>
Altura del edificio (en caso de aplicar)	<u>5.20 m</u>
Datos del contacto con el cliente	<u></u>

INFRAESTRUCTURA SITIO B

<b>SALA DE RADIO</b>		
Existente: <u>Si</u>	Dimensiones: <u>5.35 x 11.25m</u>	Escalerilla a bastidor: <u>2.80 m</u>
Piso: <u>Unico P.B.</u>	Pasamuros: <u>Existente</u>	Barra de tierra: <u>Existente</u>
Tipo: <u>Construcción</u>	Voltaje de C.A.: <u>127v</u>	
Clima: <u>Integral</u>		
Observaciones:		
_____		
_____		

<b>TORRE</b>		
Existente: <u>Si</u>	Barra de tierra: <u>Inexistente</u>	Escalerilla a caseta: <u>3.10m</u>
Piso: <u>Concreto</u>	Retenidas: <u>n/a</u>	Cimentación: <u>0.0m</u>
Modelo: <u>Atosoportada</u>	Sistema de tierra: <u>Existente</u>	
Altura: <u>60m</u>		
Observaciones:		
_____		
_____		

<b>BASTIDOR DE RADIO</b>		
Existe: <u>Si</u>	Barra de tierra: <u>Existente</u>	Voltaje: <u>-54 V</u>
Bastidor: <u>Existente</u>	Aterrizado a: <u>Barra de Tierra</u>	AC ó DC en bastidor
Panel de fusibles: <u>Existente</u>		
Observaciones:		
_____		
_____		

**INFRAESTRUCTURA SITIO A**

<b>SALA DE RADIO</b>		
Existente:	<u>Si</u>	Dimensiones: <u>2.35x2.40m</u> Escalerilla a bastidor: <u>n/a</u>
Piso:	<u>Unico P.B.</u>	Pasamuros: <u>Existente</u> Barra de tierra: <u>Existente</u>
Tipo:	<u>Construcción</u>	Voltaje de C.A.: <u>127.1v</u>
Clima:	<u>Integral</u>	
Observaciones:	<hr/> <hr/>	

<b>TORRE</b>		
Existente:	<u>Si</u>	Barra de tierra: <u>Inexistente</u> Escalerilla a caseta: <u>5.15m</u>
Piso:	<u>Azotea</u>	Retenidas: <u>5.15, 10.3m</u> Cimentación: <u>n/a</u>
Modelo:	<u>Arriostrada</u>	Sistema de tierra: <u>Inexistente</u>
Altura:	<u>12m</u>	
Observaciones:	<hr/> <p style="text-align: center;">La torre se encuentra desplantada a un nivel de 5.2m en azotea</p> <hr/>	

<b>BASTIDOR DE RADIO</b>		
Existe:	<u>Si</u>	Barra de tierra: <u>Existente</u> Voltaje: <u>-53.9 V</u>
Bastidor:	<u>Existente</u>	Aterrizado a: <u>Barra de Tierra</u> AC ó DC en bastidor
Panel de fusibles:	<u>Existente</u>	
Observaciones:	<hr/> <hr/>	

INFRAESTRUCTURA SITIO A

<b>RECTIFICADOR</b>			
Existente:	Si	Lado A/capacidad	1/50 A
			Carga actual: <u>No indica</u>
Marca:	<u>No indica</u>	Lado B/capacidad	<u>N/A</u>
			Carga total: <u>No indica</u>
Modelo:	<u>No indica</u>	Voltaje	<u>-54.1V</u>
Observaciones:			
<hr/>			
<hr/>			

<b>LONGITUDES DE CABLE</b>	
Longitud de cable de barra de tierra a bastidor:	<u>2.70m cal. 6</u>
Longitud de cable de rectificador a radio:	<u>2x4.5m cal. 8</u>
Longitud de cable de alimentación:	<u>N/A</u>
Longitud de cable de líneas de antena a equipo:	<u>48.90m</u>
Observaciones:	
<hr/>	
<hr/>	

INFRAESTRUCTURA SITIO B

<b>RECTIFICADOR</b>			
Existente:	Si	Lado A/capacidad	1/50 A
Marca:	No indica	Lado B/capacidad	N/A
Modelo:	No indica	Voltaje	-54.6V
		Carga actual:	No indica
		Carga total:	No indica
Observaciones:			

<b>LONGITUDES DE CABLE</b>	
Longitud de cable de barra de tierra a bastidor:	2.20m cal. 6
Longitud de cable de rectificador a radio:	2x4 m cal. 8
Longitud de cable de alimentación:	N/A
Longitud de cable de líneas de antena a equipo:	26m
Observaciones:	

EQUIPO PROPUESTO SITIO A

<b>EQUIPO DE RADIO PROPUESTO "L", "S", "C"</b>	
Marca:	<u>Harris</u> Banda de Operación: <u>5Ghz.</u> Umbral de Recepción
Modelo:	<u>Aurora 5800</u> Potencia de Tx: <u>14.5dBm</u> Umbral 10 <sup>-6</sup> : <u>-86dBm</u>
	Umbral 10 <sup>-3</sup> : <u>-88dBm</u>
	Configuración: <u>No protegido</u>
Observaciones:	Capacidad: <u>2E1's</u>
<u>El equipo propuesto es el que más se adecua a las necesidades del cliente.</u>	
<u>Se deberá solicitar con las interfaces para voz y datos</u>	

<b>SISTEMA RADIANTE PROPUESTO</b>	
Marca:	<u>Andrew</u> Polaridad: <u>Vertical</u> Altura de soporte: <u>43m</u>
Modelo:	<u>P2-57</u> Altura: <u>43.5m</u> Diámetro de soporte: <u>3 1/2"</u>
Diámetro:	<u>0.6m</u> Tipo de soporte: <u>Soporte de Torre</u>
Observaciones:	<u>Este sistema radiante no requiere de una unidad externa; la señal viaja a través de un cable coaxial desde la antena hasta el equipo</u>

<b>EQUIPO AUXILIAR PARA LA INTERCONEXION CON EL CLIENTE</b>	
Bastidor:	<u>N/A</u> Impedancia: <u>N/A</u> Alimentación: <u>N/A</u>
Marca:	<u>N/A</u> Posiciones asignadas: <u>N/A</u>
Modelo:	<u>N/A</u> Distancia base de equipo: <u>N/A</u>
Observaciones:	<u>No se requiere de ningún equipo auxiliar ya que el cliente cuenta con equipos compatibles con el radio de microondas</u>



EQUIPO PROPUESTO SITIO B

<b>EQUIPO DE RADIO PROPUESTO "L", "S", "C"</b>	
Marca:	<u>Harris</u> Banda de Operación: <u>5Ghz.</u> Umbral de Recepción
Modelo:	<u>Aurora 5800</u> Potencia de Tx: <u>14.5dBm</u> Umbral 10 <sup>6</sup> : <u>-86dBm</u>
	Umbral 10 <sup>3</sup> : <u>-88dBm</u>
	Configuración: <u>No protegido</u>
Observaciones:	Capacidad: <u>2E1's</u>
<u>El equipo propuesto es el que más se adecua a las necesidades del cliente.</u>	
<u>Se deberá solicitar con las interfaces para voz y datos</u>	

<b>SISTEMA RADIANTE PROPUESTO</b>	
Marca:	<u>Andrew</u> Polaridad: <u>Vertical</u> Altura de soporte: <u>10.6m</u>
Modelo:	<u>P2-57</u> Altura: <u>16.3m</u> Diámetro de soporte: <u>3 1/2"</u>
Diámetro:	<u>0.6m</u> Tipo de soporte: <u>Soporte de Torre</u>
Observaciones:	<u>Este sistema radiante no requiere de una unidad externa; la señal viaja a través de un cable coaxial desde la antena hasta el equipo. La altura de la antena ya se encuentra referida con respecto a nivel de piso</u>

<b>EQUIPO AUXILIAR PARA LA INTERCONEXION CON EL CLIENTE</b>	
Bastidor:	<u>N/A</u> Impedancia: <u>N/A</u> Alimentación: <u>N/A</u>
Marca:	<u>N/A</u> Posiciones asignadas: <u>N/A</u>
Modelo:	<u>N/A</u> Distancia base de equipo: <u>N/A</u>
Observaciones:	<u>No se requiere de ningún equipo auxiliar ya que el cliente cuenta con equipos compatibles con el radio de microondas</u>

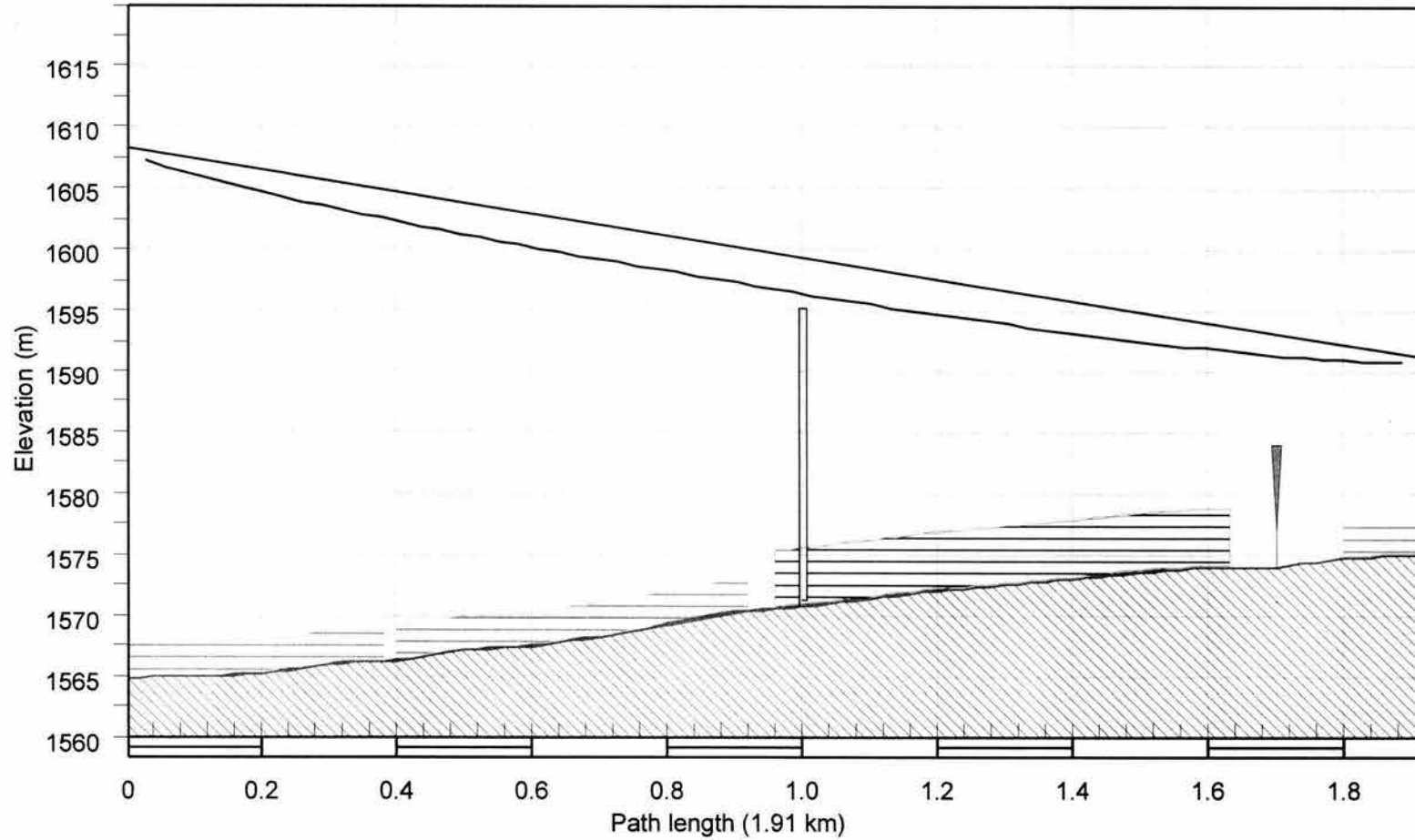
**DATOS DEL PERFIL DEL TERRENO**

<b>DATOS DEL TERRENO SITIO A - SITIO B</b>		
	SITIO A	SITIO B
Latitud:	<u>20°39'25.00" N</u>	<u>20°39'50.50" N</u>
Longitud:	<u>103°21'10.00 W</u>	<u>103°22'10.30 W</u>
ASNM:	<u>1564.78m</u>	<u>1575.0m</u>
Azimuth:	<u>294.20°</u>	<u>114.19°</u>
Distancia del enlace:	<u>1.91Km</u>	<u>1.91Km</u>

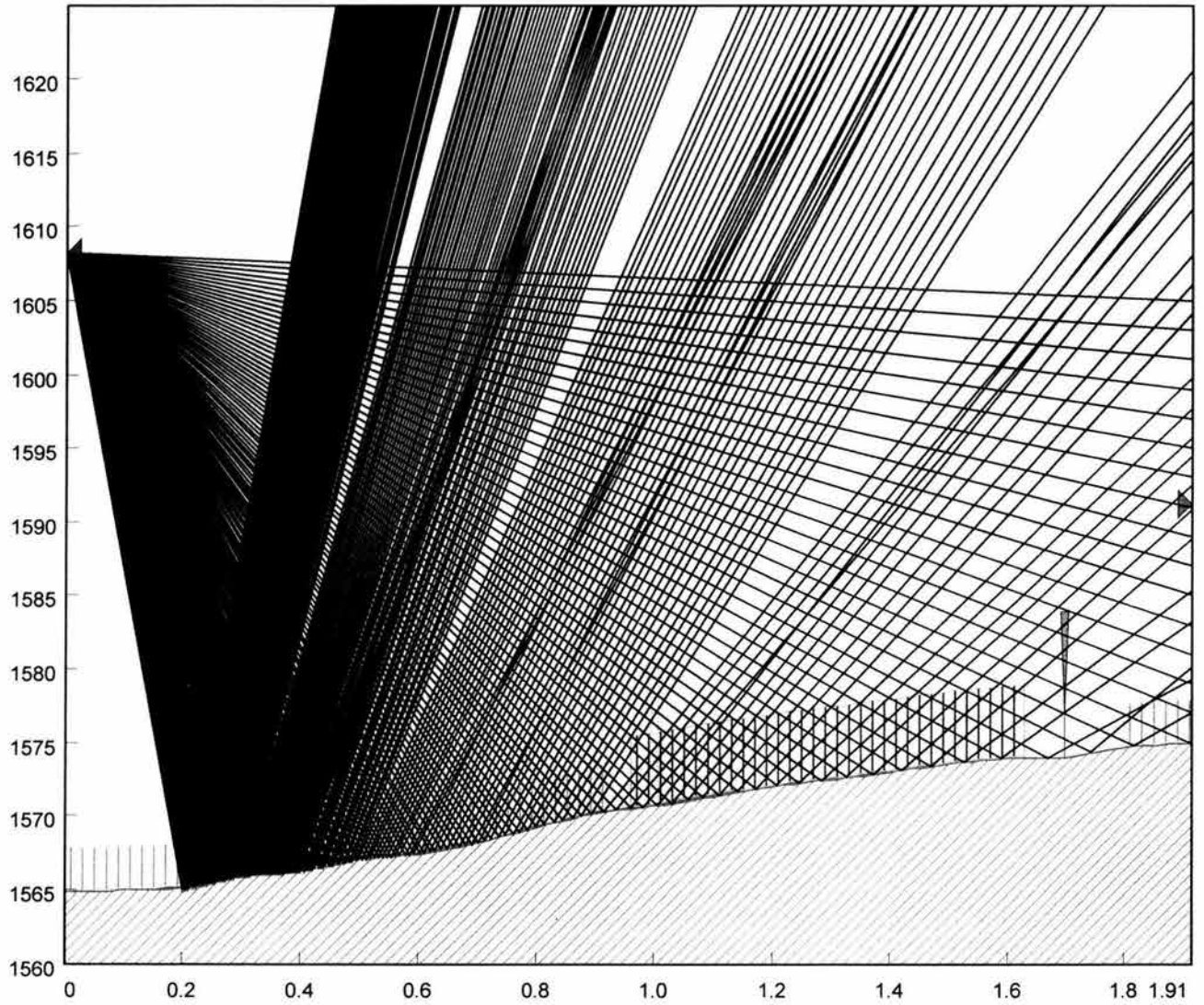
<b>DATOS DEL TERRENO PUNTO A - PUNTO B</b>				
Distancia en Kms.	A.S.N.M.	Altura obstáculo	Tipo de obstáculo	$\Delta h$ (factor k)
0.00	1564.78	0.00	N/A	0.00
0.10	1564.93	3.00	Construcción	0.01
0.20	1565.07	3.00	Construcción	0.02
0.30	1565.96	3.00	Construcción	0.03
0.38	1566.15	3.00	Construcción	0.03
0.40	1566.20	3.00	Construcción	0.04
0.50	1567.05	3.00	Construcción	0.04
0.60	1567.42	3.00	Construcción	0.05
0.70	1568.17	3.00	Construcción	0.05
0.80	1569.22	3.00	Construcción	0.05
0.90	1570.23	3.00	Construcción	0.05
0.92	1570.32	3.00	Construcción	0.05
0.96	1570.50	5.00	Árbol	0.05
1.00	1570.67	5.00	Árbol	0.05
1.10	1571.37	5.00	Árbol	0.05
1.20	1572.00	5.00	Árbol	0.05
1.30	1572.47	5.00	Árbol	0.05
1.40	1573.00	5.00	Árbol	0.04
1.50	1573.57	5.00	Construcción	0.04
1.60	1573.95	5.00	Construcción	0.03
1.63	1573.96	5.00	Construcción	0.03
1.70	1574.00	3.00	Construcción	0.02
1.80	1574.72	3.00	Construcción	0.01
1.91	1575.00	0.00	Construcción	0.00

**Con los datos obtenidos en la tabla anterior obtendremos el perfil del enlace (gráfica)**

# PERFIL



<p><b>SITIO A</b></p> <p>Latitude 20 39 25.00 N          Longitude 103 21 10.00 W          Azimuth 294.20°          Elevation 1565 m ASL          Antenna CL 43.5 m AGL</p>	<p>Frequency (MHz) = 5787.5          K = 1.33          %F1 = 60.00</p>	<p><b>SITIO B</b></p> <p>Latitude 20 39 50.50 N          Longitude 103 22 10.30 W          Azimuth 114.19°          Elevation 1575 m ASL          Antenna CL 16.3 m AGL</p>
<p>FACULTAD DE INGENIERÍA</p>		
<p>PERFIL TOPOGRÁFICO</p>	<p>Nov 10 03</p>	<p>LG &amp; OA</p>
<p>2) MÉTODO GRÁFICO K CONSTANTE</p>	<p>PT-MET2</p>	

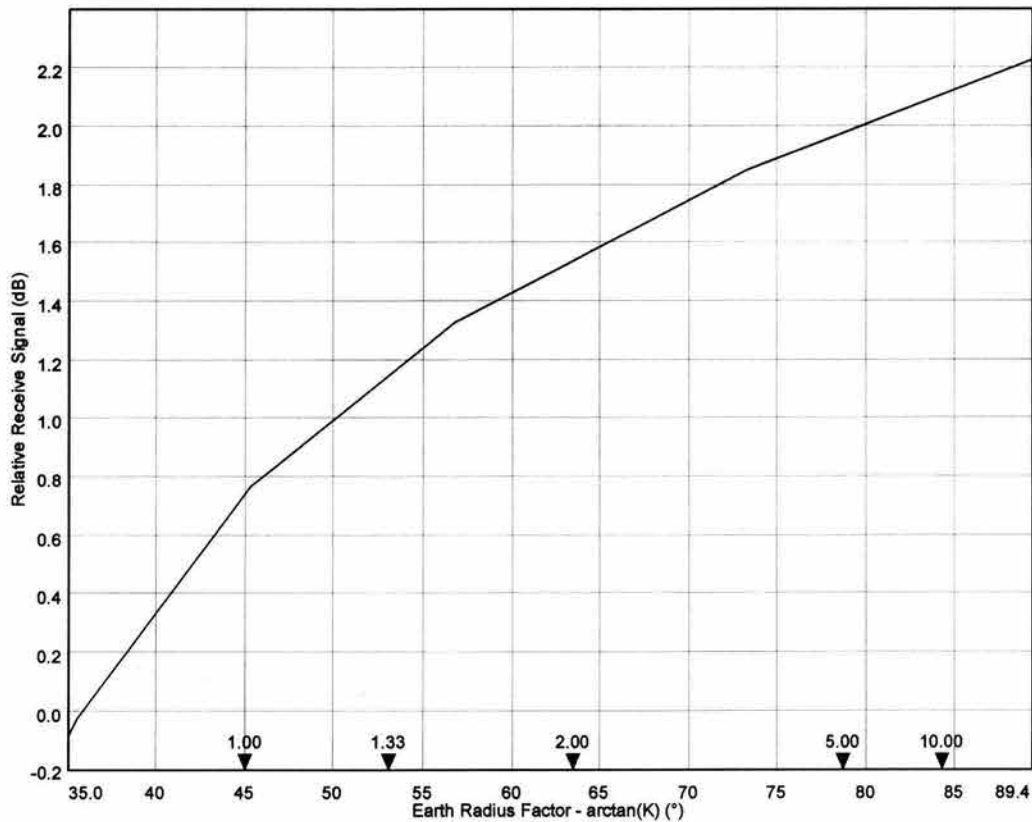
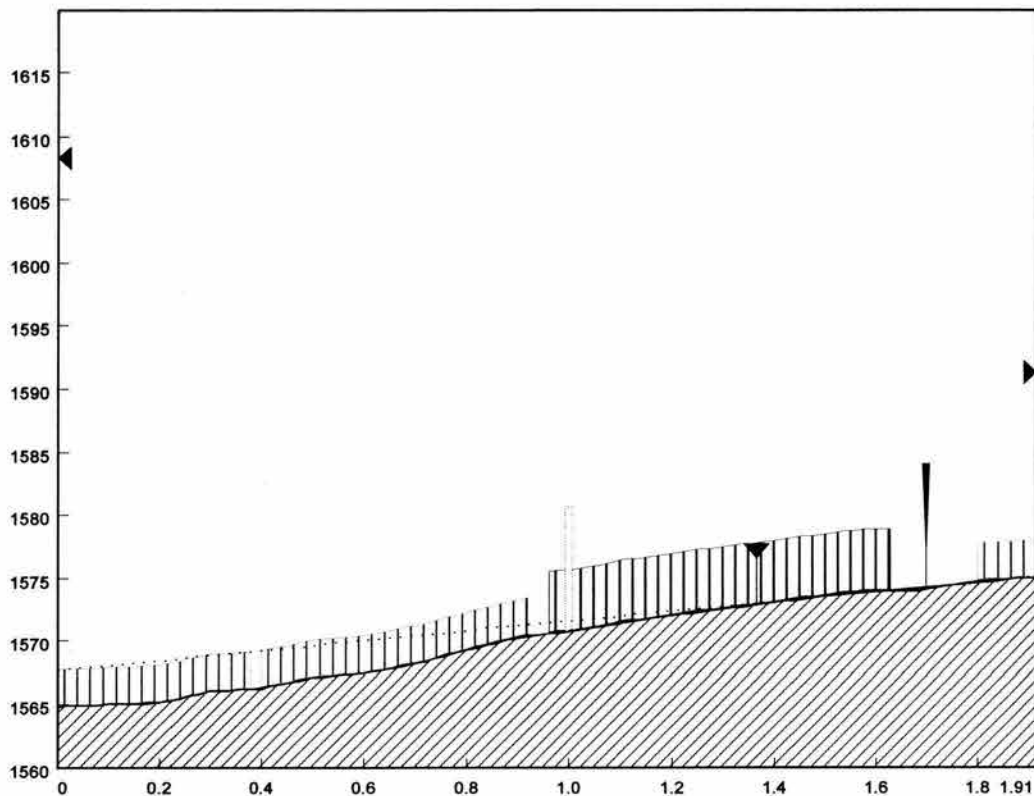


# MULTITRAYECTORIA

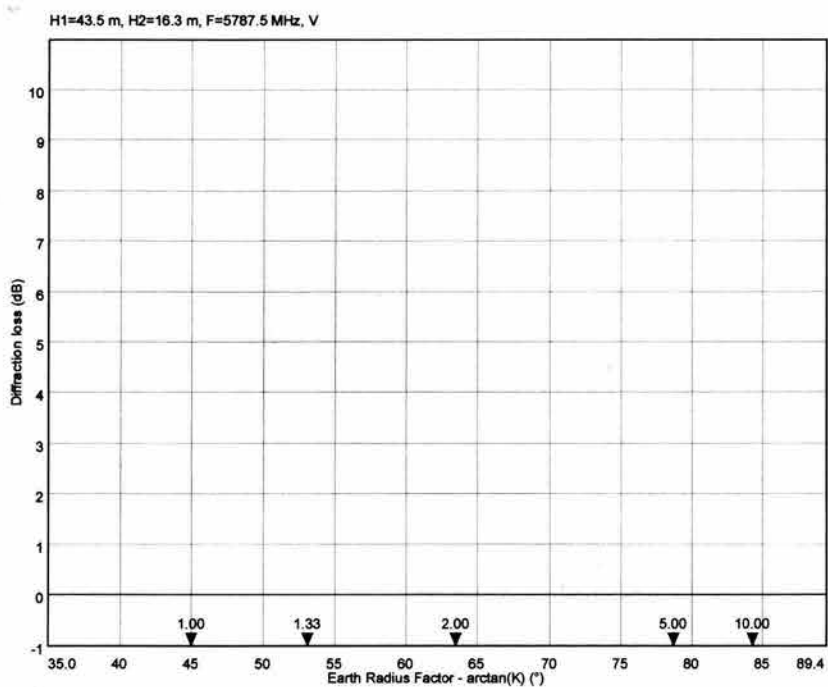
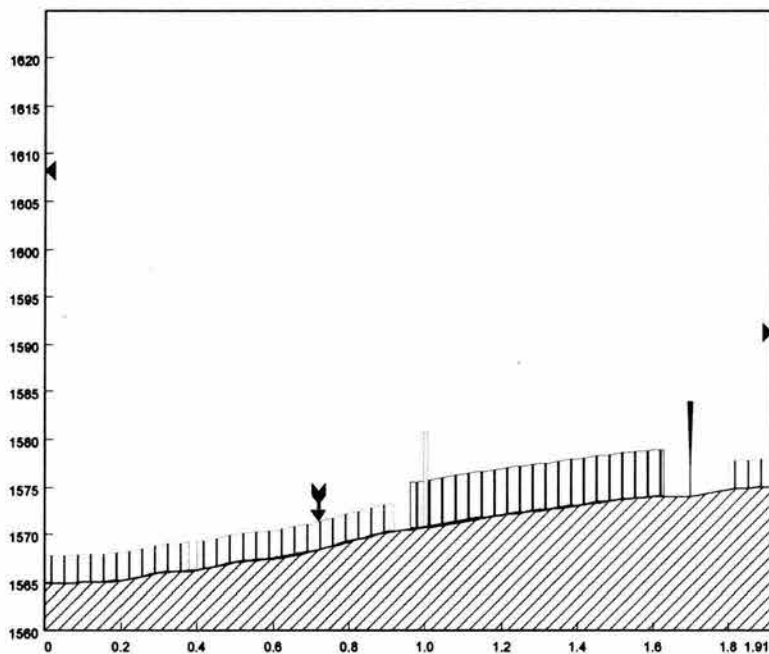
	SITIO A	SITIO B
Elevation (m)	1564.78	1575.00
Latitude	20 39 25.00 N	20 39 50.50 N
Longitude	103 21 10.00 W	103 22 10.30 W
True azimuth (°)	294.20	114.19
Vertical angle (°)	-0.52	0.50
Antenna model	P2-57	P2-57
Antenna height (m)	43.50	16.30
Antenna gain (dBi)	29.30	29.30
TX line type	LDF4-50A	LDF4-50A
TX line length (m)	52.00	36.00
TX line unit loss (dB /100 m)	48.90	26.00
TX line loss (dB)	25.43	9.36
Frequency (MHz)	5787.50	
Polarization	Vertical	
Path length (km)	1.91	
Free space loss (dB)	113.35	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.02	
Net path loss (dB)	89.56	89.56
Radio model	AURORA 5800	AURORA 5800
TX power (watts)	0.03	0.03
TX power (dBm)	14.50	14.50
EIRP (dBm)	18.37	34.44
RX threshold criteria	BER 10-6	BER 10-6
RX threshold level (dBm)	-85.00	-85.00
RX signal (dBm)	-75.06	-75.06
Thermal fade margin (dB)	9.94	9.94
Dispersive fade margin (dB)	60.00	60.00
Dispersive fade occurrence factor	3.00	
Effective fade margin (dB)	9.94	9.94
Climatic factor	1.30	
Terrain roughness (m)	6.10	
C factor	4.28	
Average annual temperature (°C)	22.00	
Worst month - multipath (%)	99.99895	99.99895
(sec)	27.71	27.71
Annual - multipath (%)	99.99962	99.99962
(sec)	119.05	119.05
(% - sec)	99.99925 - 238.09	

Lun, Nov 10 2003  
 Punto A- PuntoB  
 Reliability Method - Vigants - Barnett

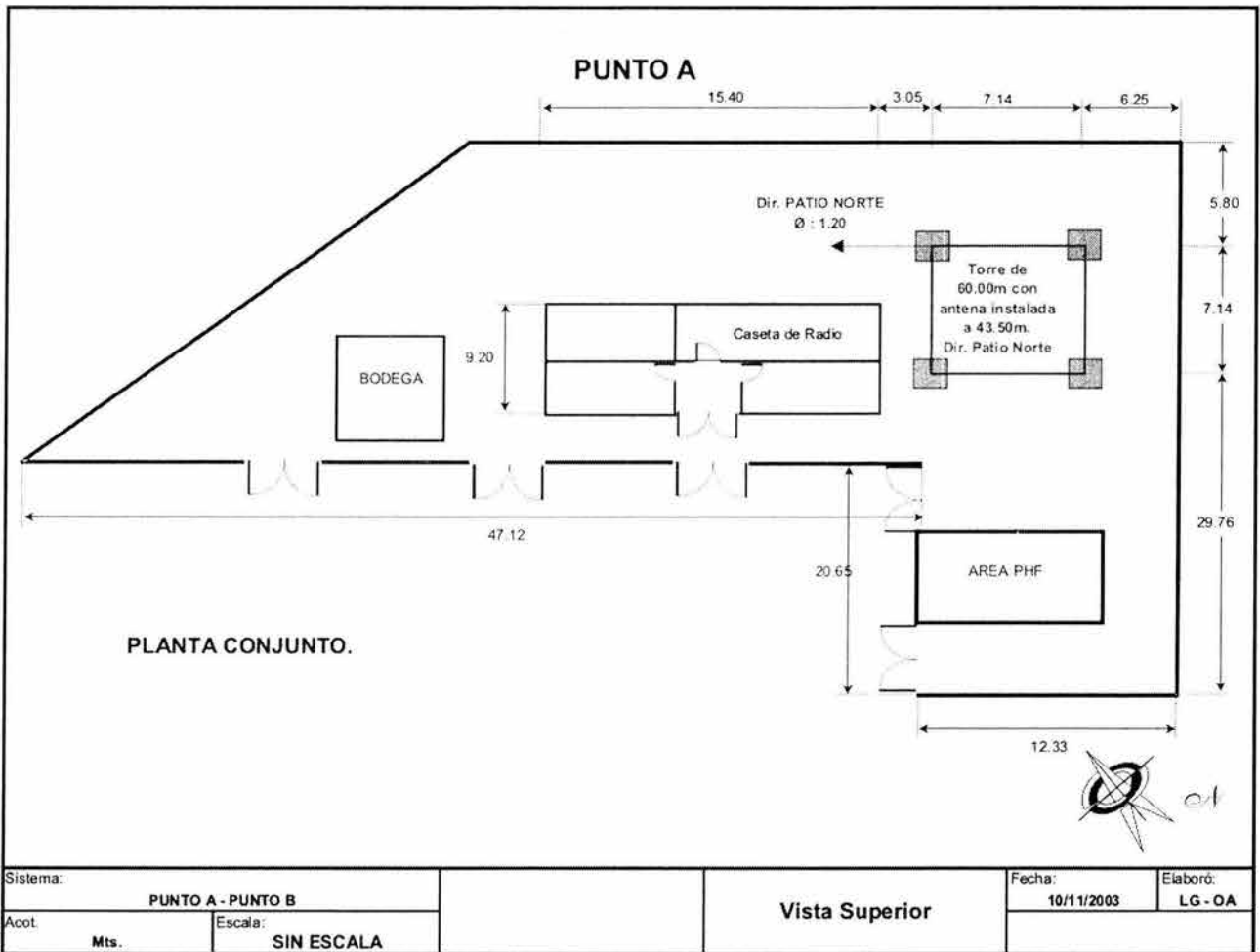
# CÁLCULO



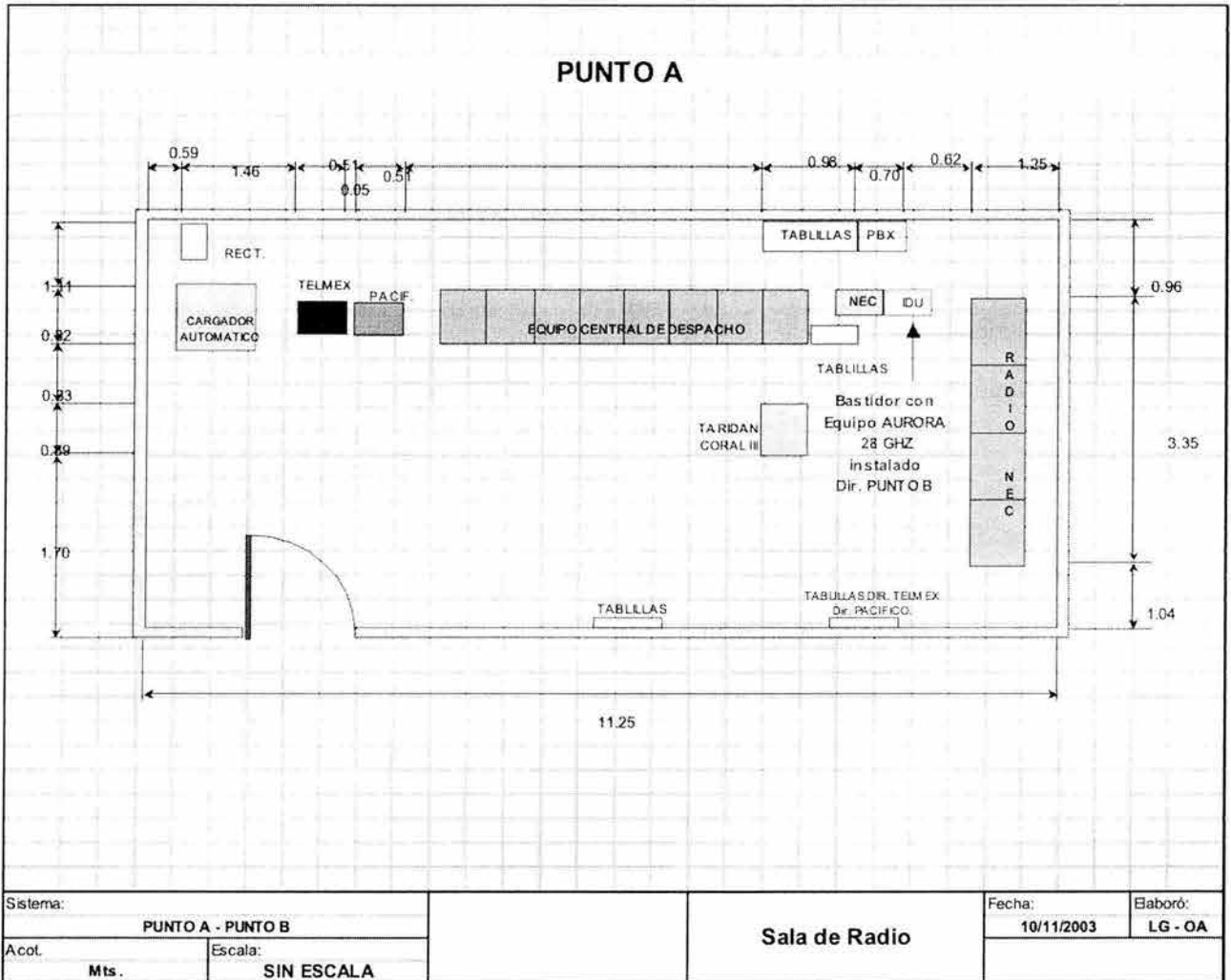
# GRÁFICAS DE PUNTO DE REFLEXIÓN

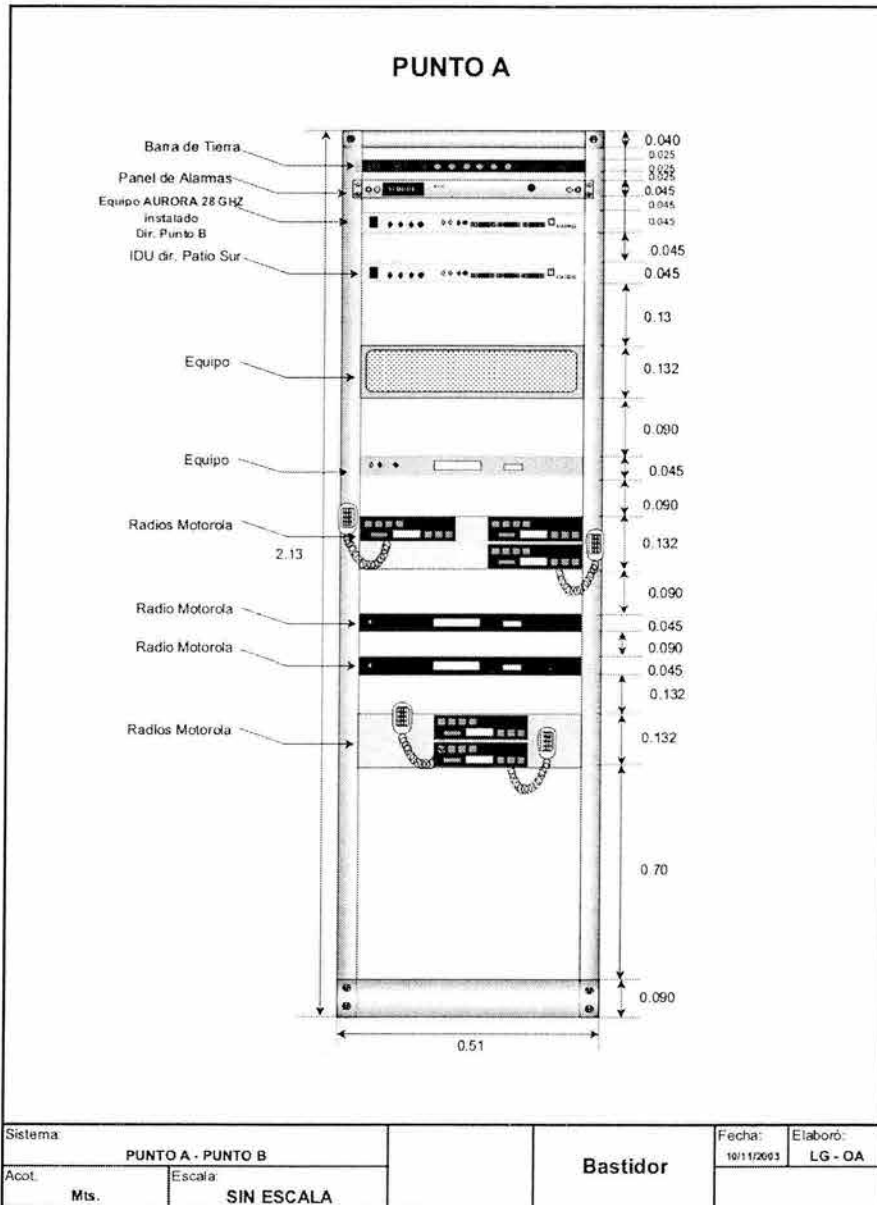


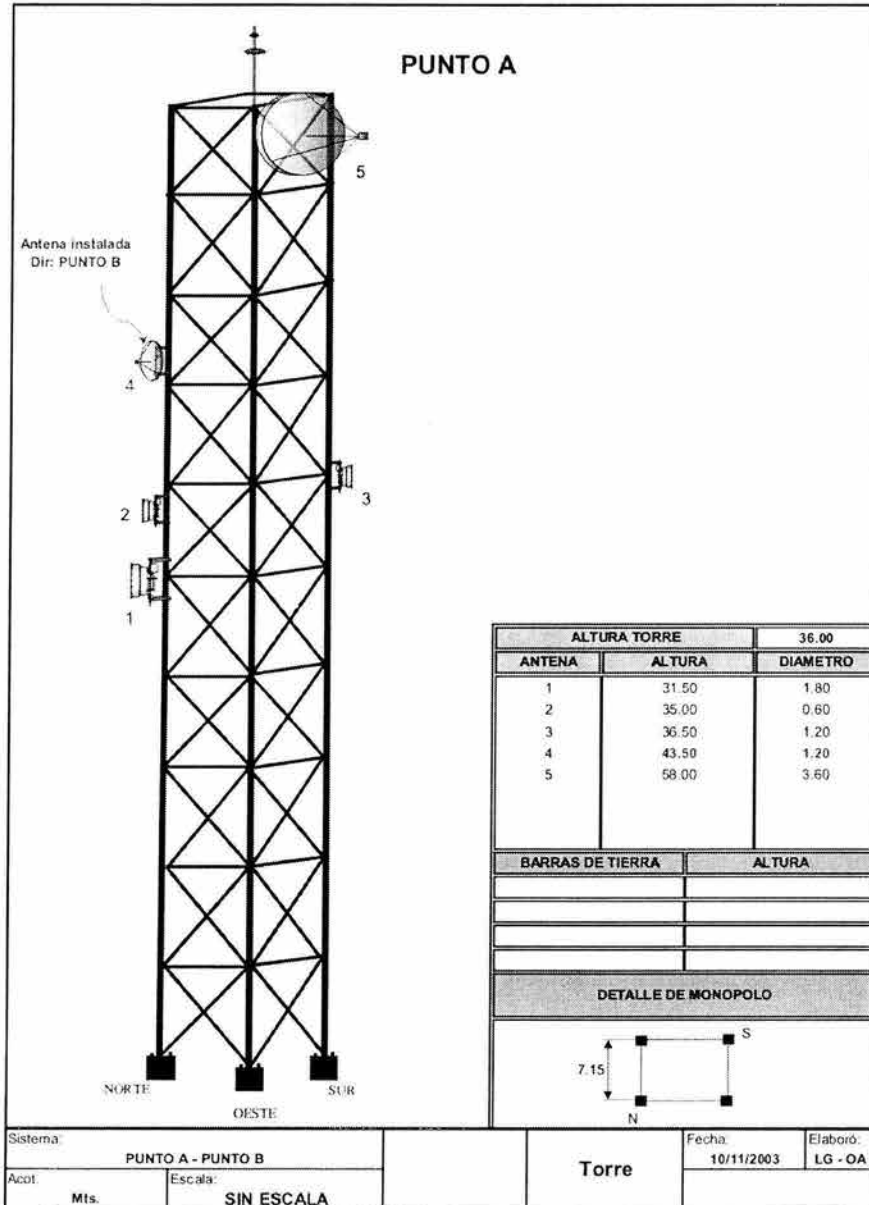
# GRÁFICAS DE DIFRACCIÓN

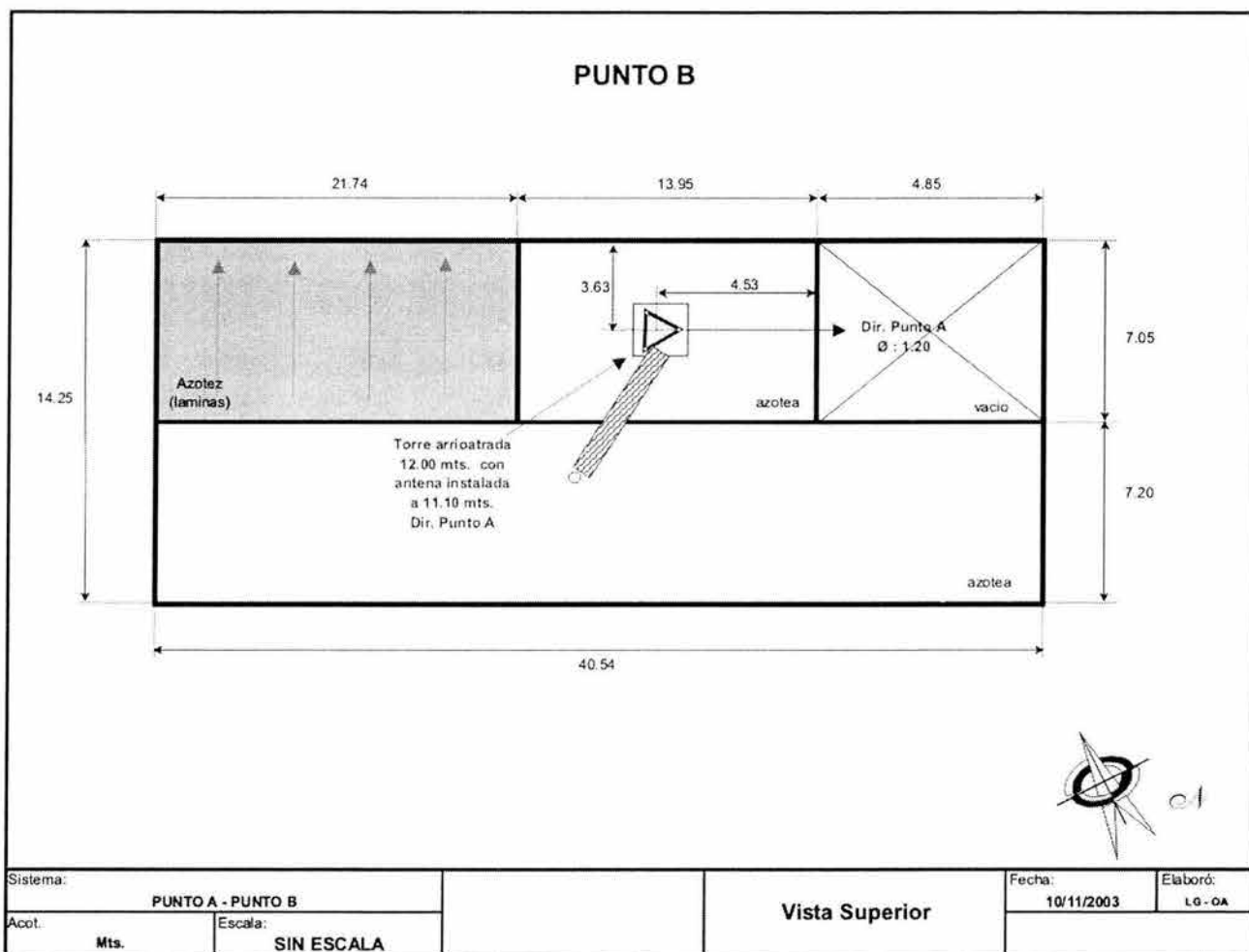


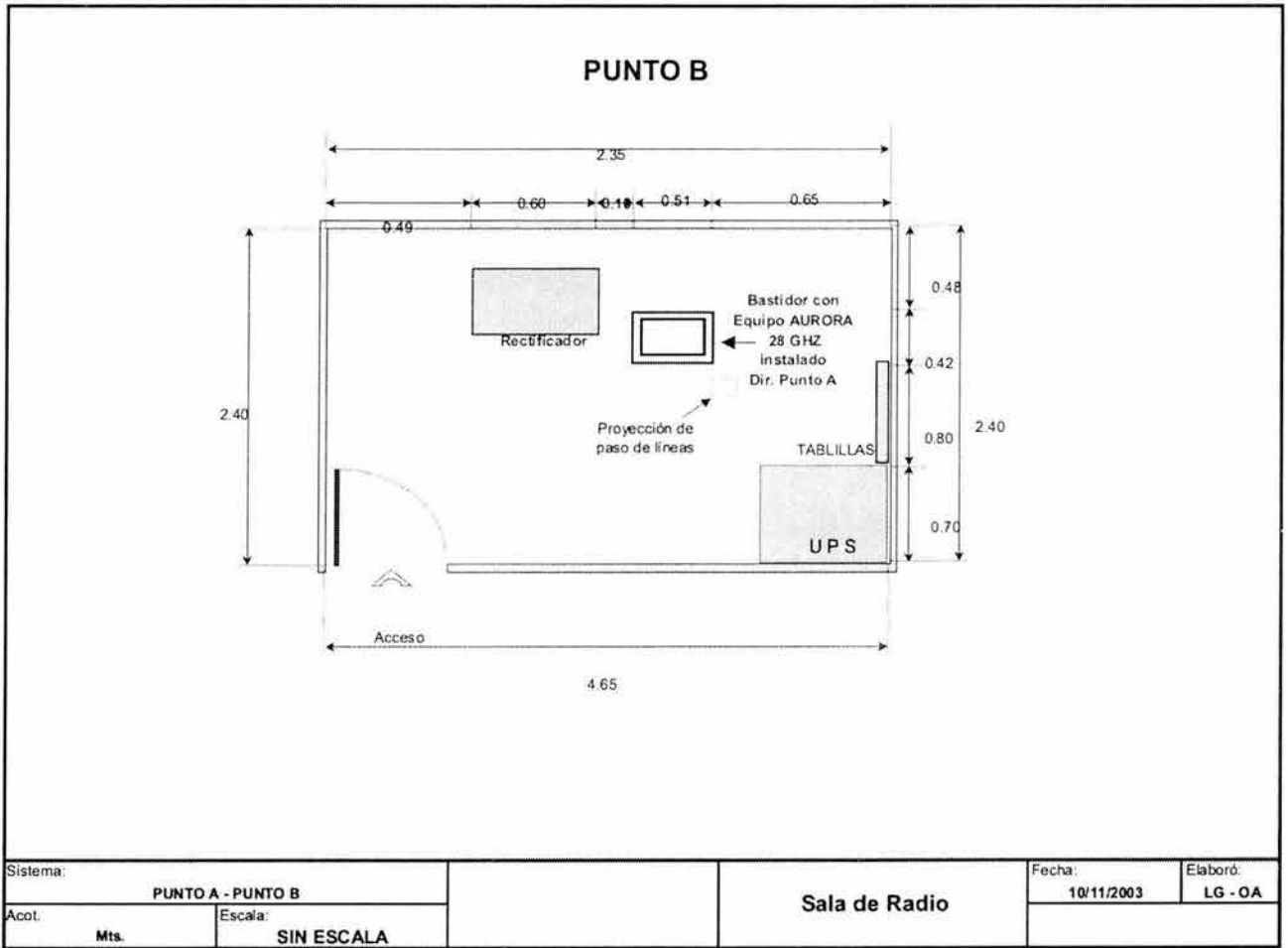


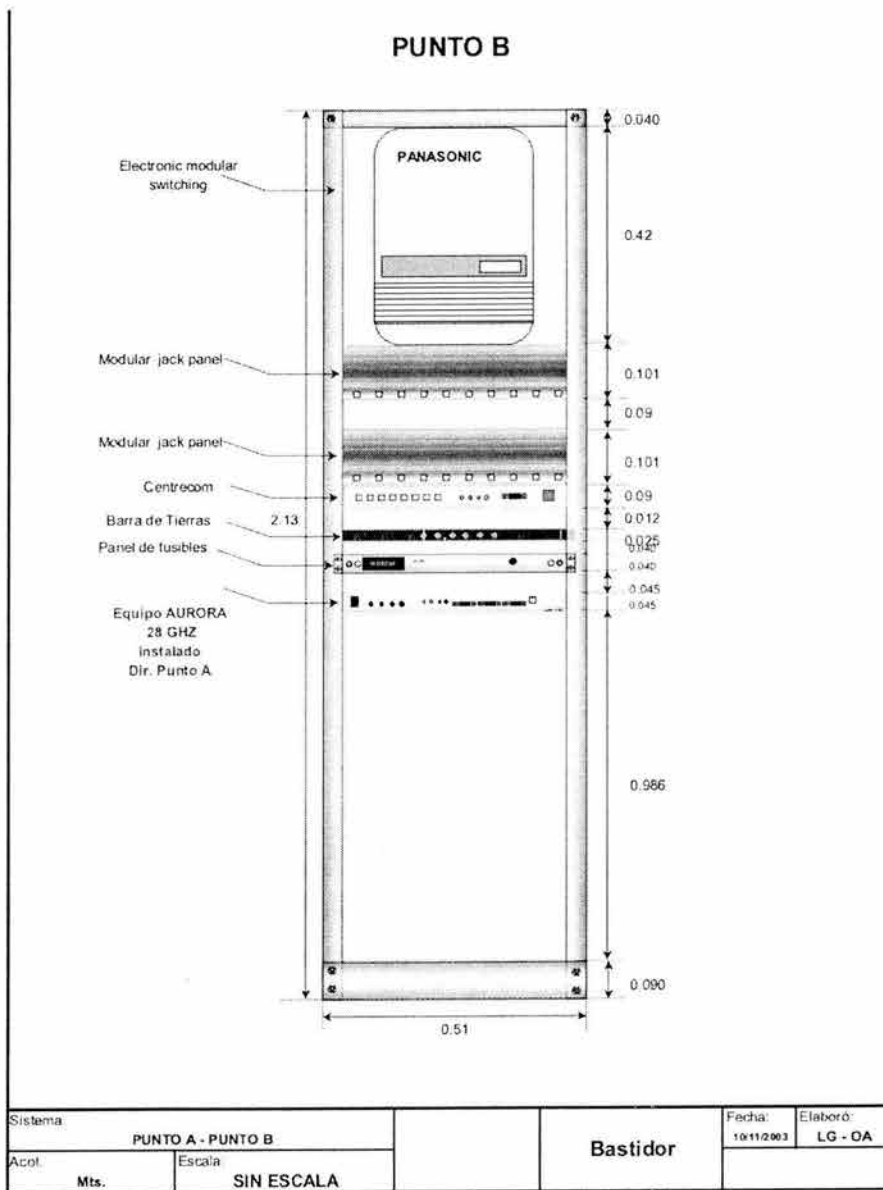


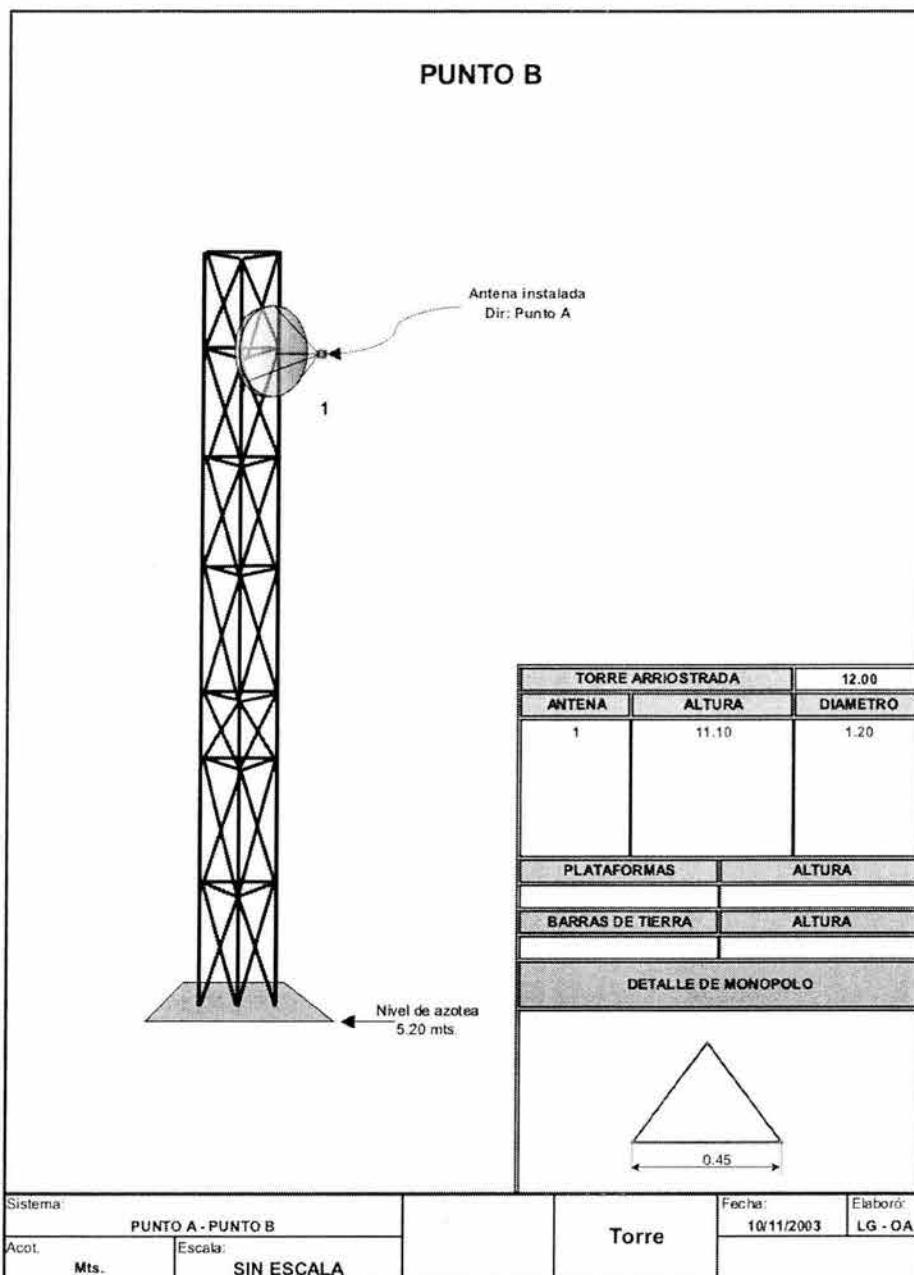






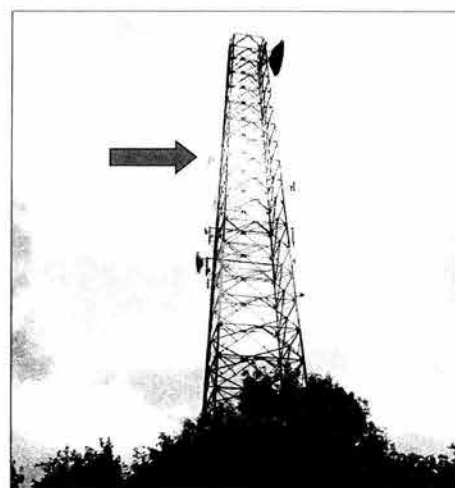




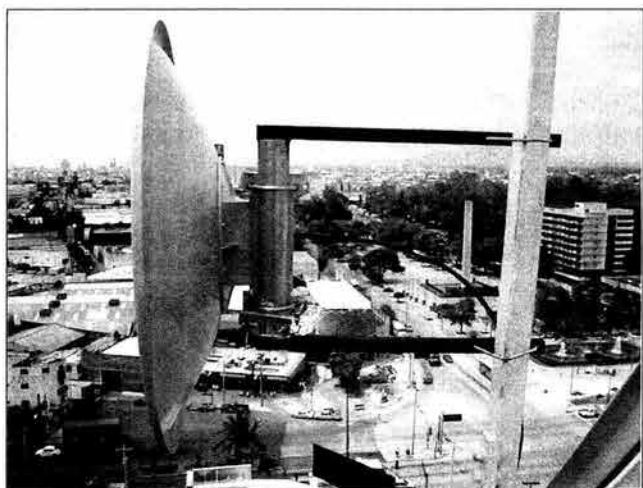




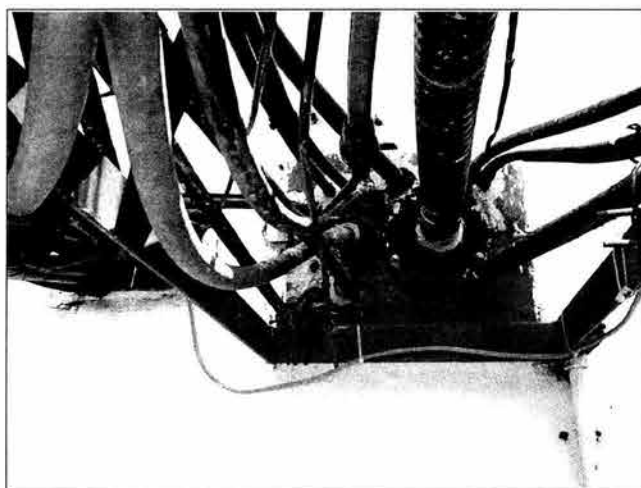
Linea de Vista hacia Punto B



Torre en la que se encuentra instalada antena con dirección al punto B



Antena montada sobre mastil en la Torre



Vista externa del pasamuros utilizado



Vista interna del pasamuros utilizado

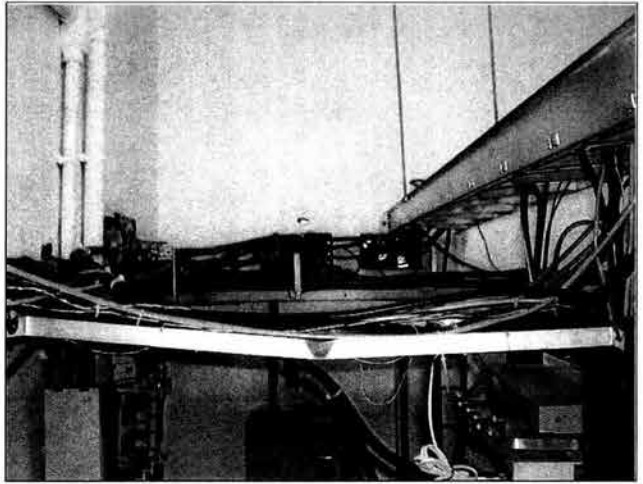


Recorrido de la escalerilla del Pie de Torre a pasamuros externo

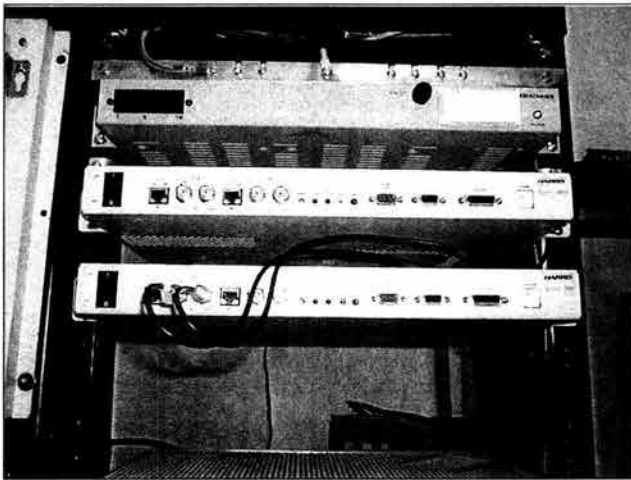




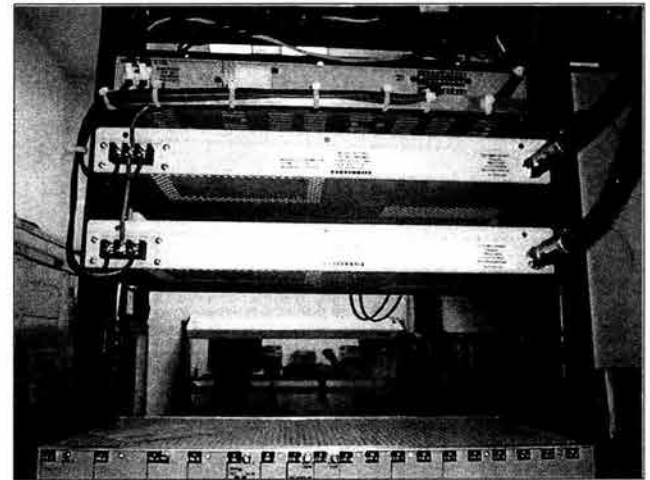
Recorrido de las líneas de transmisión en la Torre



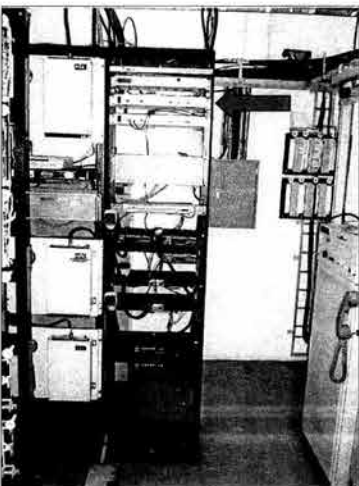
Recorrido de las líneas de transmisión en las escalerillas internas



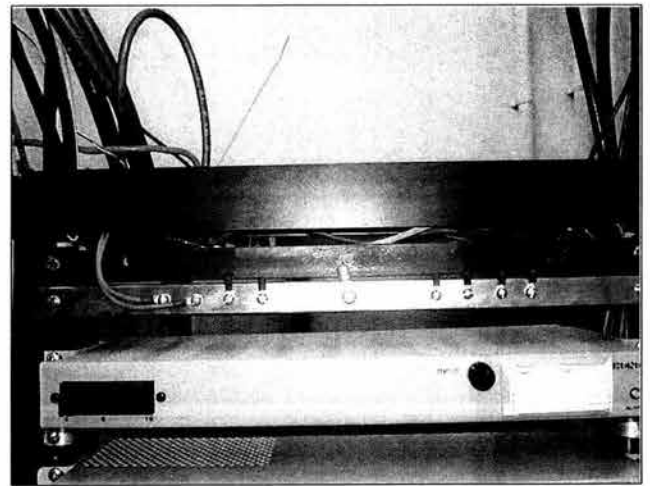
Acercamiento del equipo instalado de la sala de Radio (vista frontal)



Acercamiento del equipo instalado en la sala de Radio (vista posterior)



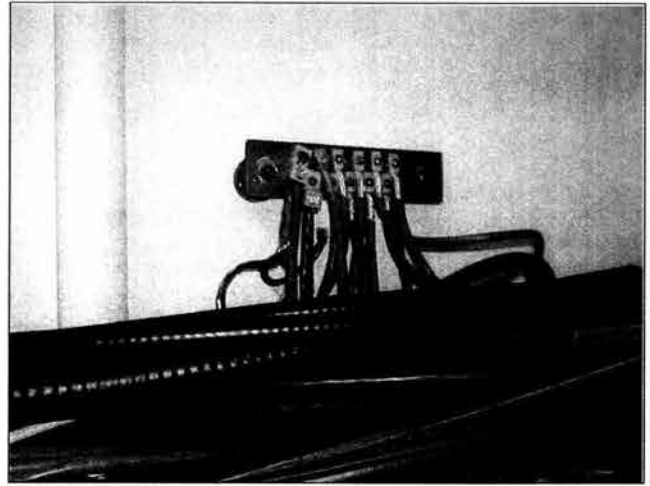
Vista completa del Bastidor con el equipo instalado



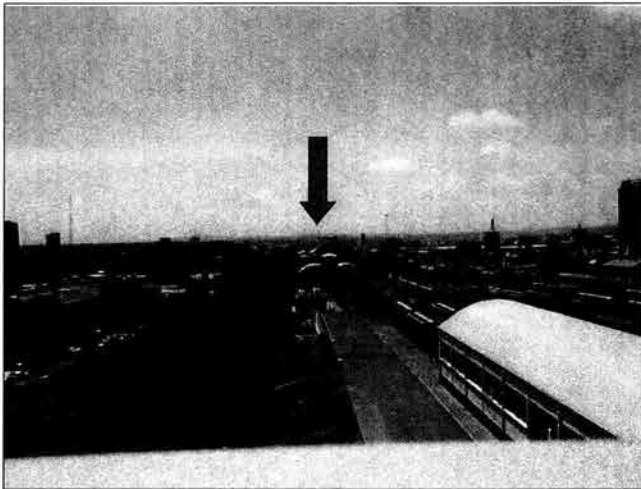
Panel de Fusibles existente



Barra de Tierra donde se aterriza el radio en el Bastidor



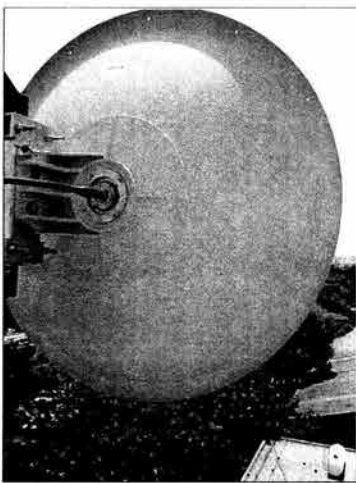
Barra de Tierra existente en la sala de Radio



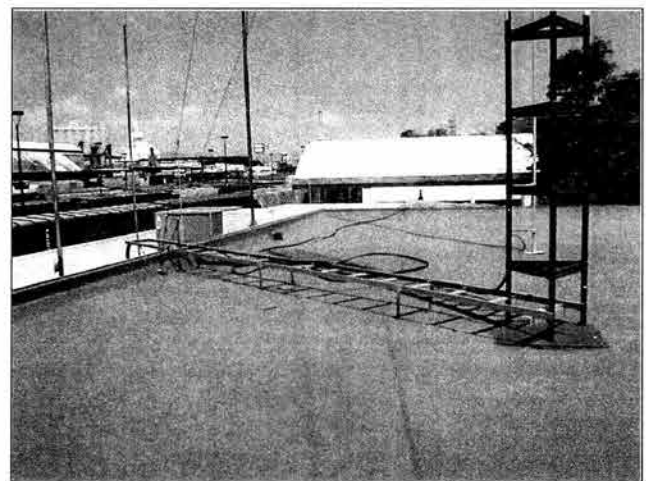
Línea de Vista hacia Punto A



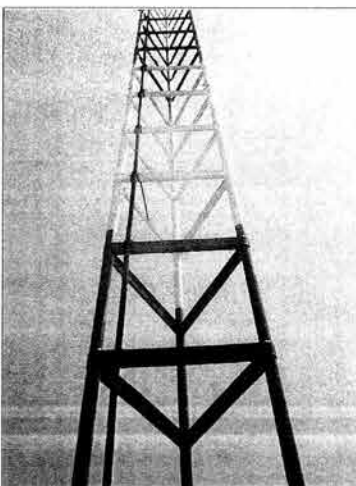
Torre en la que se encuentra instalada antena con dirección al punto A



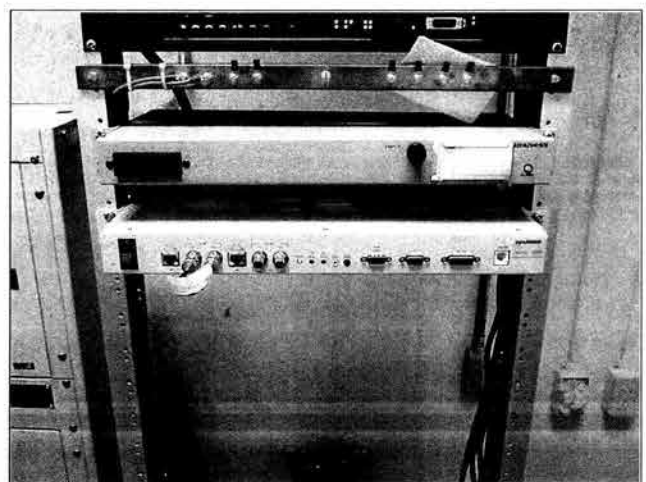
Antena montada sobre mastil en la Torre



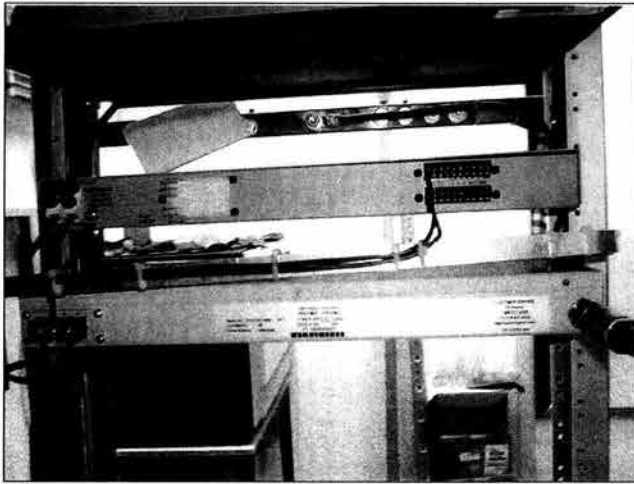
Recorrido de la escalera de Pie de Torre a Pasamuros externo



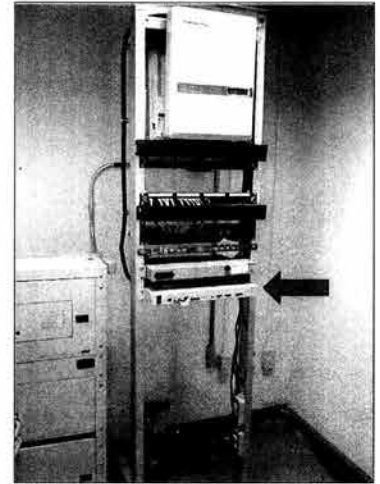
Recorrido de las líneas de Transmisión en la Torre



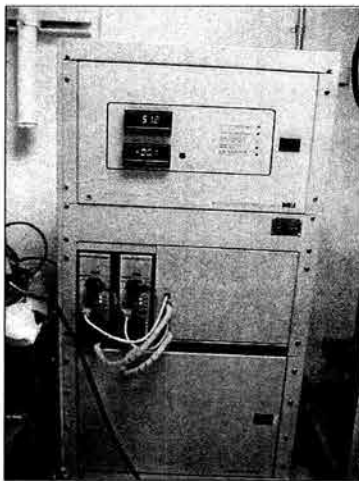
Acercamiento del equipo instalado en la sala de Radio (vista frontal)



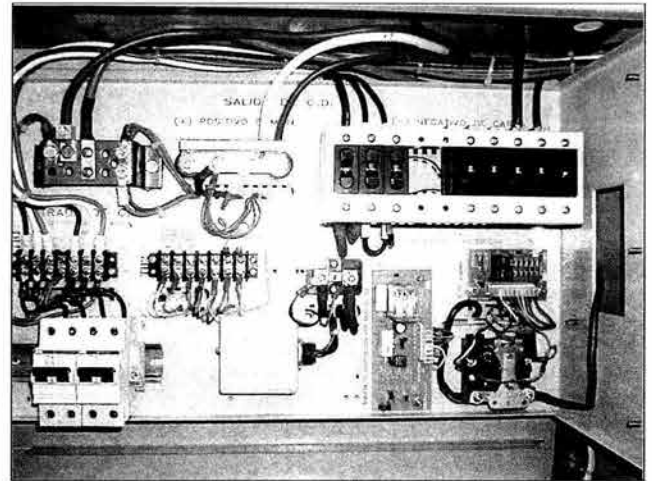
Acercamiento del equipo instalado en la sala de Radio (vista posterior)



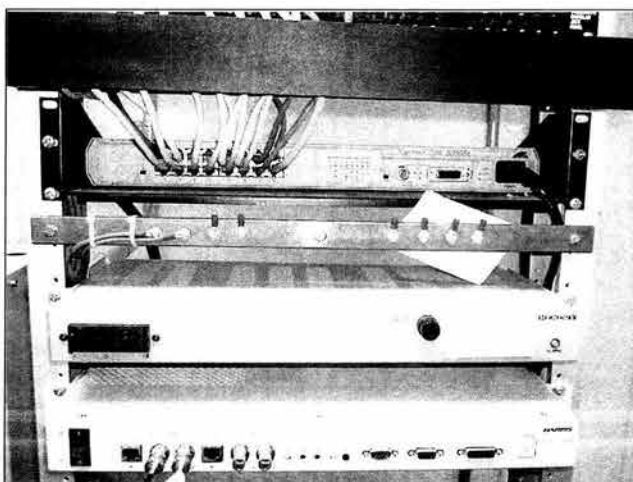
Vista completa del bastidor con el equipo instalado



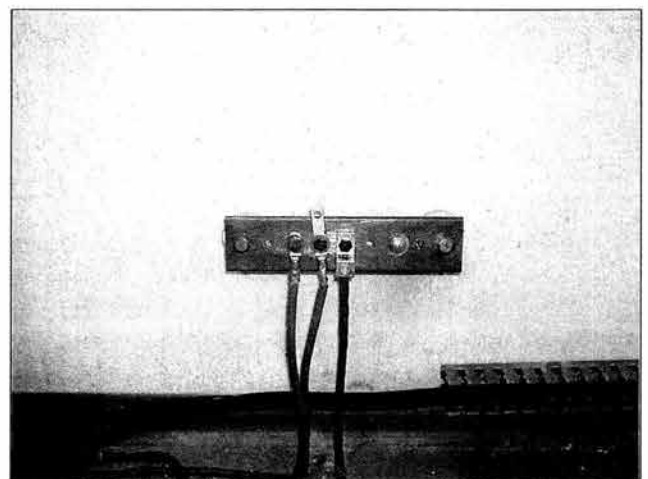
Rectificador existente



Posición asignada en el rectificador para aumentar el radio



Barra de tierra donde se aterriza el Radio en el Bastidor



Barra de tierra existente en la sala de Radio

## CONCLUSIONES

Debido a la globalización es necesario que los seres humanos hoy en día se encuentren perfectamente comunicados y que los flujos de información se realicen de manera rápida y confiable; es por ello que la innovación tecnológica en equipos para el intercambio de información, así como las técnicas necesarias para realizar dicha tarea se encuentran en constante cambio con el fin de mejorar la calidad, rapidez y confiabilidad de la información que se transmite o se recibe. Todo ese intercambio de información tiene como fundamento los principios básicos de las telecomunicaciones apoyándose con las nuevas técnicas y tecnologías que permiten un desarrollo cada vez más eficiente, es por esto que es importante conocer los principios y teorías que permiten el estudio y desarrollo de estos esquemas de comunicación.

La Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional Autónoma de México, ofrece la oportunidad de realizar los estudios profesionales de Ingeniería en Comunicaciones, teniendo como objetivo principal el formar profesionistas con las bases necesarias para integrarse a la sociedad productiva del país y brindar con sus conocimientos alguna aportación para el desarrollo de su comunidad, es importante mencionar que la formación de los futuros ingenieros que ofrece la Facultad de Ingeniería, permite al estudiante que concluye sus estudios tener una perspectiva plural de la sociedad en que vivimos, así mismo ofrece a sus estudiantes una visión ética profesional a través de sus profesores ya que la mayoría de éstos son expertos en su campo ofreciendo a sus alumnos experiencias y conocimientos en sus distintas áreas de desarrollo. El estudio de las asignaturas impartidas dentro de la Facultad nos brinda el conocimiento necesario para comprender las nuevas técnicas de comunicación ya que éstas se basan en los principios básicos de la ciencia como son la física, química y las matemáticas, basta recordar que algunos de los teoremas o leyes más importantes dentro de las comunicaciones, como las Leyes de Maxwell o el Teorema de Nyquist basados en las leyes de la física y apoyados por las matemáticas como el álgebra booleana y las ecuaciones diferenciales, son incluidos en el programa de estudio de las asignaturas de comunicaciones.

A partir de la segunda mitad del siglo XX, las comunicaciones han tenido un desarrollo muy acelerado basta con mencionar que durante esta mitad del siglo, el hombre llegó a la luna, a partir de ese momento el uso de las computadoras se convierte en un elemento indispensable en las comunicaciones. La Facultad de Ingeniería nos ofrece la oportunidad de contar con equipos cómputo y software especializado para realizar las prácticas que nos permiten aproximarnos a la resolución de problemas reales y tener una mejor administración de la información; también es importante mencionar que las prácticas elaboradas durante la carrera en los laboratorios, nos ha permitido familiarizarnos con equipo de medición de última generación ya que el principio y funcionamiento son los

mismos, con la diferencia de que en la actualidad se incorporan microprocesadores y dispositivos que brindan una mayor precisión al momento de realizar las mediciones así como la facilidad de manejo al integrar plataformas de sistemas de cómputo que brindan una mayor facilidad en el manejo de los equipos al basarse en software y hardware de uso común.

Las Comunicaciones Inalámbricas se llevan a cabo mediante ondas electromagnéticas, esto significa que utilizan el Espectro Electromagnético. Cabe mencionar que un problema mundial es la creciente demanda de dicho Espectro, es por esto que se realizan periódicamente sesiones internacionales para discutir entre otras cosas las recomendaciones necesarias para el mejor aprovechamiento del Espectro ya que en caso de no existir ninguna limitante, y conociendo que el Espectro es finito, tendríamos en un futuro no muy lejano una saturación del mismo.

La regulación del Espectro hoy en día en el caso específico de nuestro país, ocasiona conflictos (en algunas bandas) con los diferentes usuarios ya que antiguamente la distribución del Espectro era controlada por el Gobierno sin un consenso de la iniciativa privada, con la apertura de las comunicaciones y la privatización de las empresas nacionales, se acentuaron los conflictos de administración y regulación del Espectro; actualmente la COFETEL es la encargada de administrar el uso del Espectro y de conciliar cualquier conflicto que se presente por el empleo del mismo, sin embargo, ha sido una tarea difícil de llevar a cabo, ésto debido a que la demanda por el uso del Espectro ha crecido de manera acelerada, ocasionada principalmente por la globalización y apertura comercial. Otro factor importante para considerar es la actualización de las recomendaciones empleadas por los usuarios, ya que en México algunas empresas paraestatales emplean recomendaciones antiguas ocasionando conflictos con los nuevos usuarios al utilizar éstos las últimas recomendaciones emitidas por ITU y avaladas por la COFETEL. Estos conflictos ocasionan retrasos en la puesta en servicio de los nuevos operadores ya que se necesita llegar a un consenso antes de poner en marcha cualquier proyecto de comunicaciones.

Una de las tareas más importantes de la COFETEL es concientizar a los usuarios en el uso de nuevas tecnologías, tratar de cumplir con las recomendaciones internacionales para administrar mejor nuestros recursos, es por esto que es importante la creación de formatos que provean la información necesaria y suficiente para mantener una base de datos veráz que permitan manejar óptimamente el uso del Espectro Radioeléctrico.

Una de las estrategias que ha seguido la COFETEL para tener una mejor administración del Espectro, esto debido al poco tiempo que tuvo al iniciar sus operaciones como administrador del Espectro, fue el concesionar a las grandes corporaciones parte del Espectro en diferentes bandas, ocasionando que dichas empresas administren el segmento que les fue concesionado. Esta administración les permite rentar a particulares subsegmentos del rango concesionado.

Como podemos ver, la renta del Espectro por las grandes corporaciones trae consigo problemas para las medianas empresas que desean hacer uso del Espectro e integrarse a la globalización por medio de un sistema de comunicaciones actual, ya que ninguna de estas medianas empresas cuenta con el capital para poder pagar grandes cantidades de dinero por el uso del Espectro; como una alternativa existen bandas de frecuencia de uso libre disponibles que ofrecen al usuario la posibilidad de llevar a cabo un enlace sin necesidad de pagar una renta por el uso de dicho rango de frecuencias.

Nuestro trabajo de tesis está enfocado hacia esas medianas empresas deseosas de integrarse al mundo de las comunicaciones indispensable en estos tiempos de globalización y apertura comercial ofreciéndoles una opción que les permita intercambiar información de manera rápida y confiable entre sus empleados aún cuando se encuentren en edificios diferentes como pueden ser oficinas y planta productiva, siempre y cuando se cumplan los requisitos que se establecieron a lo largo del trabajo de tesis, sin la necesidad de realizar grandes inversiones ni gastos que provocarían un fuerte golpe en las finanzas de dichas empresas.

Para la realización de un enlace, existen diversas formas de transmisión de la información, nuestro trabajo de tesis se basa en el empleo de la tecnología de Spread Spectrum, la cual se basa en técnicas seguras para el intercambio de información bajo un esquema barato y sin pago de rentas, enfocado a usuarios que no requieren altas capacidades de transmisión cada vez mas demandadas; así mismo, se requieren de estudios de ingeniería que contemplen cada aspecto teórico y práctico para proporcionar una solución adecuada y específica a cada problema en particular, sin perder la premisa COSTO-BENEFICIO.

En el presente trabajo estamos ofreciendo una opción viable y clara para llevar a cabo un enlace mediante la tecnología de Spread Spectrum, ya que estamos proporcionando toda la información necesaria desde formularios que necesitan ser proporcionados a la COFETEL (dicho formulario solo es una notificación del uso de esta banda), presentamos con gran detalle todo lo referente a la tecnología de Spread Spectrum desde su teoría básica hasta la aplicación en el enlace a través de microondas, ventajas y desventajas concluyendo que es una muy buena opción para llevar a cabo un enlace de este tipo teniendo siempre presente que es susceptible a interferencias ya que el ancho de banda sobre el cual se trabaja con esta tecnología es muy estrecho además de que no existe un administrador de dicho espectro , desarrollamos también algunos de los cuestionarios necesarios para realizar un levantamiento adecuado para conocer con exactitud si el enlace mediante esta tecnología es adecuado y posible, determinar de manera generalizada los requerimientos de infraestructura concientizando al usuario final que en este caso, es el contratante de los servicios para llevar a cabo el enlace, sobre la necesidad de asesorarse de los especialistas necesarios en cada area para la realización de las obras civil y eléctrica necesarias para contar con el mínimo de infraestructura propuesto; así mismo en el presente trabajo se proporcionan algunas formas para poder determinar mediante los cálculos adecuados el equipo que se adapte lo mejor posible a las necesidades requeridas por el usuario final.

## CONCLUSIONES

---

Como lo hemos podido observar, el mundo esta en cambio constante y la tecnología no nos permite cruzar los brazos y olvidarnos de ella por un instante, por tal motivo es importante estar a la vanguardia mediante la actualización continua en lo relacionado a las nuevas técnicas y tecnologías, para poder ser competitivos y atraer la inversión, incorporar los avances tecnológicos a las necesidades específicas de nuestro país y lograr con ello el objetivo principal de la obtención de un título profesional otorgado por la Universidad Nacional Autónoma de México, que consiste en devolver de alguna manera los conocimientos recibidos en ella, a través de brindar un servicio al país.



## ANEXOS

### RECOMENDACIONES

La S.C.T., dividió en tres ambientes de operación a los equipos de espectro ampliado para la transmisión, estos son:

- ✓ Transmisión aplicable a ambientes de operación en áreas locales.
- ✓ Transmisión aplicable a ambientes de operación en áreas restringidas.
- ✓ Transmisión aplicable a enlaces de cobertura amplia.

Es importante citar la definición que tiene la Secretaría de Comunicaciones sobre estos términos.

#### **Area Local**

Es un área de cobertura local, aquella en la que se pueden operar los equipos de espectro disperso usando una antena omnidireccional con una potencia radiada aparente (pra) máxima de 30 mWatts y/o un alcance máximo de 500 metros dentro de un mismo edificio.

#### **Area Restringida**

Es un área de cobertura restringida, aquella donde se utiliza una antena omnidireccional con una potencia radiada aparente (pra) de hasta un valor de 30 dBm, siempre y cuando las emisiones del usuario autorizado no se utilicen para enlazar equipos que impliquen el cruce de calles ni propiedades de terceros, por ejemplo: plantas industriales, centros comerciales, universidades, patios de carga y maniobras. Normalmente son enlaces no mayores de 500 metros que utilizan antenas omnidireccionales. Ocasionalmente se presentan casos que requieren enlazar equipos separados más de 500 metros utilizando para ello antenas direccionales.

#### **Enlaces de Cobertura Amplia**

Son aquellos enlaces punto a punto con una distancia entre extremos mayor a 500 metros, en donde se utilizan antenas direccionales, el alcance se determina con una potencia radiada aparente (pra) máxima de 36 dBm.

✓ **ESPECIFICACIONES DE TRANSMISIÓN APLICABLES A AMBIENTES DE OPERACIÓN EN ÁREAS LOCALES (BANDAS "L", "S" Y "C").**

**PARA LA TÉCNICA DE MODULACIÓN POR SALTO DE FRECUENCIA:**

<i>Separación de frecuencias portadoras:</i>	25 kHz mínimo	500 kHz
máximo		
<i>Ancho de banda de la señal transmitida:</i>	500 kHz máximo	
<i>Patrón de Radiación:</i>	Direccional	

*Se deberán usar antenas direccionales con las siguientes características:*

- Ancho del patrón horizontal a un medio de la potencia máxima menor o igual a 22.
- Ancho del patrón vertical a un medio de la potencia máxima menor o igual a 45.
- Relación frente-espalda mayor o igual a 20 dB.

*Potencia pico de transmisión:* 250 mWatts (máximo).  
La potencia de la señal, en cualquier segmento de 100 kHz, fuera del ancho de banda de operación, deberá ser 20 dB menor que la potencia en cualquier segmento de 100 kHz dentro del ancho de banda de operación.

<i>Potencia radiada aparente (pra):</i>	menor o igual a 36 dBm
<i>Salto de frecuencia:</i>	50 mínimo (para la banda 902-907.2/922.8-928 MHz)
2450-2483.5	75 mínimo (para las bandas MHz y 5725-5850 MHz)

*Armónicas:* menor a 500 uV medidos a 3 metros. Las emisiones no esenciales no deben exceder este límite si son medidas en las terminales de la antena. La potencia de las emisiones no deberá exceder 2 nanoWatts.

*Tiempo máximo de ocupación sobre cualquier frecuencia:* menor a 0.4 seg.

*Tolerancia en frecuencia:* + 100 kHz del ancho de banda total.

*Velocidad de transmisión:* 64 kb/s  
(para las bandas de 902-907.2 MHz y 922.8-928 MHz) hasta 512 kb/s  
(para la banda de 2450-2483.5 MHz) hasta 2.048 Mb/s  
(para la banda de 5725-5850 MHz)

## ANEXOS

---

<i>Tipos de modulación preferente:</i>	BPSK, QPSK, MFSK
<i>Tipo de servicio:</i>	Fijo y móvil
<i>Tipo de información:</i>	Digital
<i>Horario de operación:</i>	La SCT lo fijará

### PARA LA TÉCNICA DE MODULACIÓN DE SECUENCIA DIRECTA:

<i>Ancho de banda de la señal transmitida:</i>	500 kHz mínimo
<i>Densidad de potencia en un segundo:</i>	< 8 dBm/3 kHz
<i>Ganancia de procesamiento:</i>	10 dB mínimo
<i>Ganancia de antena:</i>	0 dBd
<i>Patrón de radiación:</i>	Omnidireccional

*Potencia pico de transmisión:* 30 mWatts (máximo).  
La potencia de la señal, en cualquier segmento de 100 kHz, fuera del ancho de banda de operación, deberá ser 20 dB menor que la potencia en cualquier segmento de 100 kHz dentro del ancho de banda de operación.

*Potencia radiada aparente (pra):* 14.7 dBm

*Armónicas:* menor a 500 uV medidos a 3 metros.

Las emisiones no esenciales no deben exceder esta antena. La potencia límite si son medidas en las terminales de la de las emisiones no deberá exceder 2 nanoWatts

<i>Velocidad de transmisión:</i>	hasta 512 kb/s
<i>Tipos de modulación preferente:</i>	BPSK, QPSK, MFSK
<i>Tipo de servicio:</i>	Fijo y móvil
<i>Tipo de información:</i>	Digital
<i>Horario de operación:</i>	La SCT lo fijará

### ✓ ESPECIFICACIONES DE TRANSMISIÓN APLICABLES A AMBIENTES DE OPERACIÓN EN ÁREAS RESTRINGIDAS (BANDAS "L", "S" Y "C").

#### PARA LA TÉCNICA DE MODULACIÓN POR SALTO DE FRECUENCIA:

<i>Separación de frecuencias portadoras:</i>	25 kHz mínimo	500 kHz máximo
<i>Ancho de banda de la señal transmitida:</i>	500 kHz máximo	
<i>Patrón de Radiación:</i>	Omnidireccional (para enlaces de hasta	500 metros)

## ANEXOS

*Para enlaces mayores de 500 metros se deberán usar antenas direccionales con las siguientes características:*

-Ancho del patrón horizontal a un medio de la potencia máxima menor o igual a 22.

-Ancho del patrón vertical a un medio de la potencia máxima menor o igual a 45 .

-Relación frente-espalda mayor o igual a 20 dB.

*Potencia radiada aparente (pra):*

menor o igual a 30 dBm

*Salto de frecuencia:*

50 mínimo (para la banda  
902-907.2/922.8-928 MHz)

75 mínimo (para las bandas  
2450-2483.5 MHz y 5725-5850  
MHz)

*Armónicas:*

menor a 500 uV medidos a 3

metros. Las emisiones no esenciales no deben exceder este límite si son medidas en las terminales de la antena. La potencia de las emisiones no deberá exceder 2 nanoWatts.

*Tiempo máximo de ocupación sobre  
cualquier frecuencia:*

menor a 0.4 seg.

*Tolerancia en frecuencia:*

+ 100 kHz del ancho de banda  
total

*Velocidad de transmisión:*

64 kb/s

(para las bandas de 902-907.2 MHz y 922.8-928 MHz)

hasta 512 kb/s

(para la banda de 2450-2483.5 MHz)

hasta 2.048 Mb/s

(para la banda de 5725-5850 MHz)

*Tipos de modulación preferente:*

BPSK, QPSK, MFSK

*Tipo de servicio:*

Fijo y móvil

*Tipo de información:*

Digital

*Horario de operación:*

La SCT lo fijará

### **PARA LA TÉCNICA DE MODULACIÓN DE SECUENCIA DIRECTA:**

*Ancho de banda de la señal transmitida:*

500 kHz mínimo

*Densidad de potencia en un segundo:*

< 8 dBm/3 kHz

*Ganancia de procesamiento:*

10 dB mínimo

*Patrón de Radiación:*

Omnidireccional (para enlaces

de

hasta 500 metros)

*Para enlaces mayores de 500 m, se deberán usar antenas direccionales con las siguientes características:*

- Ancho del patrón horizontal a un medio de la potencia máxima menor o igual a 22.
- Ancho del patrón vertical a un medio de la potencia máxima menor o igual a 45.
- Relación frente- espalda mayor o igual a 20 dB.

*Armónicas:* menor a 500 uV/m medidos a 3 metros. Las emisiones no esenciales no deben exceder este límite si son medidas en las terminales de la antena. La potencia de las emisiones no deberá exceder 2 nanoWatts.

Velocidad de transmisión:	64 kb/s
(para las bandas de 902-907.2 MHz y 922.8-928 MHz)	hasta 512 kb/s
(para la banda de 2450-2483.5 MHz)	hasta 2.048 Mb/s
(para la banda de 5725-5850 MHz)	
<i>Tipos de modulación preferente:</i>	BPSK, QPSK, MFSK
<i>Tipo de servicio:</i>	Fijo y móvil
<i>Tipo de información:</i>	Digital
<i>Horario de operación:</i>	La SCT lo fijará

#### ✓ ESPECIFICACIONES DE TRANSMISIÓN APLICABLES A ENLACES DE COBERTURA AMPLIA (BANDAS "L", "S" Y "C").

##### PARA LA TÉCNICA DE MODULACIÓN POR SALTO DE FRECUENCIA:

<i>Separación de frecuencias portadoras:</i>	25 kHz mínimo	500 kHz
máximo		
<i>Ancho de banda de la señal transmitida:</i>	500 kHz máximo	
<i>Patrón de Radiación:</i>	Direccional	

*Se deberán usar antenas direccionales con las siguientes características:*

- Ancho del patrón horizontal a un medio de la potencia máxima menor o igual a 22.
- Ancho del patrón vertical a un medio de la potencia máxima menor o igual a 45.
- Relación frente-espalda mayor o igual a 20 dB.

<i>Potencia pico de transmisión:</i>	250 mWatts (máximo).
La potencia de la señal, en cualquier segmento de 100 kHz, fuera del ancho de banda de operación, deberá ser 20 dB menor que la potencia en cualquier segmento de 100 kHz dentro del ancho de banda de operación.	
<i>Potencia radiada aparente (pra):</i>	menor o igual a 36 dBm
<i>Saltos de frecuencia:</i>	50 mínimo (para la banda 902-907.2/922.8-928 MHz)

75 mínimo (para las bandas 2450-2483.5 MHz y 5725-5850 MHz).

*Armónicas:* menor a 500 uV medidos a 3 metros. Las emisiones no esenciales no deben exceder este límite si son medidas en las terminales de la antena. La potencia de las emisiones no deberá exceder 2 nanoWatts.

*Tiempo máximo de ocupación sobre cualquier frecuencia:* menor a 0.4 seg.

*Tolerancia en frecuencia:* + 100 kHz del ancho de banda total.

*Velocidad de transmisión:* 64 kb/s  
(para las bandas de 902-907.2 MHz y 922.8-928 MHz) hasta 512 kb/s  
(para la banda de 2450-2483.5 MHz) hasta 2.048 Mb/s  
(para la banda de 5725-5850 MHz)

*Tipos de modulación preferente:* BPSK, QPSK, MFSK

*Tipo de servicio:* Fijo y móvil

*Tipo de información:* Digital

*Horario de operación:* La SCT lo fijará

#### PARA LA TÉCNICA DE MODULACIÓN DE SECUENCIA DIRECTA:

*Ancho de banda de la señal transmitida:* 500 kHz mínimo

*Densidad de potencia en un segundo:* < 8 dBm/3 kHz

*Ganancia de procesamiento:* 10 dB mínimo

*Patrón de Radiación:* Direccional

*Se deberán usar antenas direccionales con las siguientes características:*

-Ancho del patrón horizontal a un medio de la potencia máxima menor o igual a 22.

-Ancho del patrón vertical a un medio de la potencia máxima menor o igual a 45.

-Relación frente-espalda mayor o igual a 20 dB.

*Polarización:* Horizontal, vertical, la SCT lo fijará

*Armónicas:* menor a 500 uV/m medidos a 3 metros. Las emisiones no esenciales no deben exceder este límite si son medidas en las terminales de la antena. La potencia de las emisiones no deberá exceder 2 nanoWatts.

*Velocidad de transmisión:* 64 kb/s  
(para las bandas de 902-907.2 MHz y 922.8-928 MHz) hasta 512 kb/s  
(para la banda de 2450-2483.5 MHz) hasta 2.048 Mb/s  
(para la banda de 5725-5850 MHz)

---

<i>Tipos de modulación preferente:</i>	BPSK, QPSK, MFSK
<i>Tipo de servicio:</i>	Fijo y móvil
<i>Tipo de información:</i>	Digital
<i>Horario de operación:</i>	La SCT lo fijará

## **DISPONIBILIDAD.**

Los sucesos que dan lugar a indisponibilidad del enlace son efectos graves a largo plazo (de más de 10s, según la definición de indisponibilidad) causados por fallas del equipo o por interrupciones debidas a una propagación anómala (desvanecimientos o precipitación).

### **Factores que afectan la disponibilidad:**

- La confiabilidad del equipo (Este puede reducirse si se considera alguna protección o redundancia, algunos equipos manjan estas configuraciones.)
- La confiabilidad de la planta que da la energía al equipo
- Las propagación anómala (puede ser por algún desvanecimiento por condiciones atmosféricas en el cielo despejado y precipitación pluvial)
- La eficacia de las disposiciones de mantenimiento
- Las interrupciones no planificadas debidas a la intervención humana
- La interferencia

### **Distribución de los equipos a disponibilidad:**

Para diseñar enlaces reales es necesario repartir de nuevo el objetivo ponderado de distancia entre las tres primeras causas de disponibilidad mencionadas anteriormente. Como la influencia de los tres factores dependerá, en cierta medida, de las condiciones reales imperantes en un país particular, será necesario que cada administración determine la atribución a cada uno de los factores, basándose en el examen de las estadísticas a largo plazo de las causas de indisponibilidad en los enlaces existentes en un país.

### **Contribución del equipo a la indisponibilidad.**

La confiabilidad del equipo radioeléctrico y de la planta correspondiente utilizada para alimentación de energía del equipo del enlace tendrán un efecto significativo en la disponibilidad de éste. La confiabilidad de los equipos modernos de microondas ha mejorado significativamente mediante la utilización de la tecnología de semiconductores y las prácticas modernas de fabricación. Normalmente, se supone que el equipo activo (alimentado) será la causa principal de la indisponibilidad del equipo, si bien otros equipos pasivos tales como las antenas y alimentadores pueden también fallar o resultar dañados, siendo causa de indisponibilidad.

La confiabilidad de la planta de energía dependerá de la planta utilizada y en particular, de la fuente primaria de energía (potencia de corriente alterna de la red, generador diesel, energía solar, etc.)

La confiabilidad del equipo se caracteriza generalmente especificando "el tiempo medio entre fallos (MTBF)". Las especificaciones del MTBF de un equipo particular pueden obtenerse del fabricante de dicho equipo al utilizarlas en los cálculos de disponibilidad del enlace.

### **Eficacia de las disposiciones de mantenimiento.**

Para un enlace no protegido, la eficacia de las disposiciones de mantenimiento tendrá una influencia significativa en la disponibilidad del enlace. La eficacia de las disposiciones de mantenimiento dependerá de si el emplazamiento cuenta con personal, del sistema de supervisión del enlace, de la competencia del diagnóstico, de la capacitación y experiencia del personal de mantenimiento, del nivel de repuestos en almacén y de las distancias y del tiempo que supone la asistencia a la avería.

La eficacia de la reparación de la avería suele especificarse en términos del "tiempo medio de reparación (MTTR)". Dependiendo del emplazamiento, el MTTR puede ser de 2 a 4 h en las ubicaciones urbanas o significativamente mayor en el caso de emplazamientos de microondas distantes. Otro factor que puede ser significativo es el de las interrupciones no planificadas debidas a la intervención humana. Es necesario contar con una capacitación eficaz y unos buenos procedimientos para minimizar este problema.

### **Cálculo de la indisponibilidad del equipo.**

La indisponibilidad de un sistema no protegido debida a la falta de fiabilidad del equipo puede calcularse a partir de MTBF y del MTTR, de la siguiente manera:

$$\text{Indisponibilidad del equipo} = \{100 - (\text{MTBF} \cdot 100 / (\text{MTBF} + \text{MTTR}))\} \%$$

Para un radioenlace que pueda componerse de varios saltos con equipos idénticos en serie, la indisponibilidad de todo el enlace debida al equipo será la suma de las indisponibilidades de los equipos de cada salto. Si se especifica el MTBF de los aparatos para cada parte del equipo radioeléctrico (transceptor, módem, fuente de alimentación, etc.), la indisponibilidad del equipo de cada salto será entonces la suma de la indisponibilidad de cada una de las partes en serie.

### **Contribución de la propagación en el espacio libre a la indisponibilidad.**

Las condiciones de la propagación en el espacio libre que pueden contribuir a la indisponibilidad del enlace son mecanismos de larga duración, tales como los desvanecimientos de obstrucción (factor k) y la propagación por ductos.

Desafortunadamente, en la actualidad no se dispone de ningún método preciso de predecir la aparición y duración de estas causas de indisponibilidad. No obstante, para los saltos de longitud típica y funcionamiento por debajo de 10 GHz



que no están sometidos a condiciones intensas de propagación por ductos, la experiencia operativa indica que si se satisfacen los objetivos de característica de error, también se satisfacen los objetivos en cuanto a disponibilidad.

La duración de las interrupciones individuales debidas a los desvanecimientos multitrayecto suelen ser inferiores a 10 s y no dan lugar a indisponibilidad del enlace, aunque las condiciones de desvanecimiento pueden perdurar durante largos periodos.

### **Indisponibilidad debida a la lluvia.**

La indisponibilidad debida a la atenuación por la lluvia es cada vez más importante en los enlaces más largos que funcionan en frecuencias por encima de 10 GHz, especialmente en los climas tropicales que están sometidos a elevados índices de precipitación.

El UIT-R ha elaborado un método de predicción de la atenuación debida a la lluvia que puede utilizarse en la predicción de la indisponibilidad inducida por la lluvia. El UIT-R se utiliza para predecir la atenuación específica debida a la lluvia con un índice de pluviosidad particular, para una polarización particular y con una longitud efectiva del trayecto, durante el 0.01% del tiempo. Hay que utilizar con cautelas las estadísticas de pluviosidad, pues el terreno local y los esquemas meteorológicos pueden tener un efecto significativo en dichos índices y en los tamaños de la célula de lluvia. Deben utilizarse las distribuciones a largo plazo de los índices de pluviosidad cuando, estén disponibles y hayan sido validados. Los índices de pluviosidad pueden también variar significativamente de un mes a otro y de un año a otro. También es preciso tener precaución con la expresión de la escala temporal de la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones. Ha de consultarse el Manual de Propagación de la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones que ofrece detalles del método de predicción de la atenuación debida a la lluvia y del método de escalas de tiempo y un método para convertir las predicciones anuales en predicciones del mes más desfavorable.

### **Cálculo de la indisponibilidad del enlace.**

Como las causas individuales de la indisponibilidad son indeependientes estadísticamente, se calcula la indisponibilidad de todo el enlace sumando las indisponibilidades debidas a las causas independientes. La indisponibilidad calculada del enlace puede entonces compararse con el objetivo de disponibilidad para determinar si la disponibilidad del enlace prevista es satisfactoria.

A menudo, una de las causas de indisponibilidad es significativamente superior a las otras y dicha causa predominará en la disponibilidad total del enlace. En este caso, lo más económico es tratar de reducir la causa mayor de indisponibilidad, más que mejorar las causas menores. Si la indisponibilidad del equipo no protegido es la causa predominante de la no satisfacción del objetivo de disponibilidad del enlace, habrá que preveer la redundancia del equipo (duplicación y/o conmutación de protección N+1)

## PRUEBAS DE PUESTA EN SERVICIO Y DE ACEPTACIÓN.

Las pruebas de puesta en servicio y de aceptación son las denominadas “pruebas de aceptación en fábrica” y “pruebas de aceptación en funcionamiento real”.

Las pruebas de aceptación en fábrica se efectúan en las instalaciones del proveedor, donde se dispone de todo el montaje de prueba y de medios para comprobar que el equipo que se ha encargado cumple con todas las especificaciones acordadas en el contrato. Esta comprobación será efectuada en mediciones ordinarias por la personas designadas por el comprador y el proveedor, respectivamente. Se asegura así que la producción del equipo concluyó con éxito y que su estado no es defectuosos antes de su transporte a los almacenes del comprador. Puede aplicarse una reducción efectiva de los costos y tiempo de duración de estas pruebas en fábrica cuando el suministrador introduzca “procedimientos de garantía de calidad” (como en ISO 9000) en su línea de desarrollo y producción, que haga válidos estos procedimientos.

Las pruebas de aceptación en funcionamiento real (FAT - Field Acceptance Tests) son llevadas a cabo por el proveedor (fabricante o distribuidor) a fin de verificar las condiciones de funcionamiento adecuadas de las entidades que proporciona. Estas FAT son consecuencia del contrato entre el comprador (por ejemplo, el operador de la red) y el proveedor, por lo que no están normalizadas por la UIT.

Diversas medidas administrativas y técnicas son aplicables a las operaciones de puesta en servicio (BIS - Bringing Into Service) y de mantenimiento, medidas que se tratan a continuación y que son distintas de las FAT.

Pueden surgir a veces dificultades en relación con las pruebas de aceptación, ya que las recomendaciones de la UIT definen objetivos de característica de error para redes y enlaces solamente, pero no dan ninguna orientación relativa a los objetivos de diseño de equipos. El objetivo de calidad de funcionamiento de la red (NPO - Network Performance Objective) no representa la cifra que ha de verificarse en las pruebas de aceptación, porque en las mediciones en configuraciones de prueba en condiciones simuladas, faltan todas las interferencias que aparecerían en condiciones ambientales reales y que causan degradaciones inevitables. Las principales interferencias proceden de otros equipos de radioenlaces que funcionan a las mismas frecuencias y, por ejemplo, del servicio fijo por satélite (SFS) que comparte bandas de frecuencia del servicio fijo terrenal con igual prioridad. En un informe UIT-R pueden verse detalles sobre los límites de calidad de funcionamiento para la BIS y el mantenimiento (UIT-R, 1996 a).

Otra dificultad en las pruebas de aceptación deriva del hecho de que los objetivos de característica de error definidos en las Recomendaciones UIT-R son “valores medios a corto plazo” que han de cumplirse en cualquier mes, pero dichos periodos de observación no están disponibles en las pruebas de aceptación.

Considerando las limitaciones de tiempo e interferencia antes citadas que afectan a los sistemas de radioenlaces a través de sus antenas receptoras, podría incluirse que el objetivo de diseño del equipo (EDO - Equipment Design Objective) debe ser más riguroso que el NPO, aunque el UIT-R aún no ha recomendado ningún margen de seguridad. El margen debe ser acordado entre el comprador y el proveedor en su contrato.

## BIBLIOGRAFIA

"RADIO SYSTEM DESIGN FOR TELECOMMUNICATIONS (1-100 GHz)"  
FREEMAN ROGER L.  
ED. JOHN WILEY & SONS

"MICROWAVE COMMUNICATIONS SYSTEMS"  
GTE LENKURT INCORPORATED  
1105 COUNTY ROAD  
SAN CARLOS, CALIFORNIA

"SPREAD SPECTRUM SYSTEMS WITH COMMERCIAL APPLICATIONS"  
DIXON ROBERT C.  
ED. JOHN WILEY & SONS, INC.  
THIRD EDITION

"SISTEMAS DE COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS"  
TOMASI WAYNE  
ED. PRENTICE HALL HISPANOAMERICANA  
SEGUNDA EDICIÓN

MANUAL  
"SISTEMAS DE RELEVADORES RADIOELÉCTRICOS DIGITALES"  
OFICINA DE RADIOCOMUNICACIONES  
GINEBRA, 1996

"DE LA BRÚJULA AL ESPÍN: EL MAGNETISMO"  
TAGÜEÑA, JULIA Y ESTEBAN, MARTINA  
FONDO DE CULTURA ECONÓMICA

"ELECTROMAGNETISMO: DE LA CIENCIA A LA TECNOLOGIA"  
ELIEZER, BRAUN  
FONDO DE CULTURA ECONÓMICA

REVISTA RED  
AÑO VII MARZO 1997  
NÚMERO 78