



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**TROPO-DIFUSIÓN: VIABILIDAD DE SU USO Y CONSIDERACIONES DE
FUNCIONAMIENTO**

Josué Joel Arriola Rojas

Asesorado por el Ing. Julio César Solares Peñate

Guatemala, noviembre de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**TROPO-DIFUSIÓN: VIABILIDAD DE SU USO Y
CONSIDERACIONES DE FUNCIONAMIENTO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JOSUÉ JOEL ARRIOLA ROJAS

ASESORADO POR EL ING. JULIO CÉSAR SOLARES PEÑATE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino González
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi Trabajo de Graduación titulado:

TROPO-DIFUSIÓN: VIABILIDAD DE SU USO Y CONSIDERACIONES DE FUNCIONAMIENTO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con fecha 27 de octubre de 2010.

Josué Joel Arriola Rojas



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica y Regional de Post-grado de Ingeniería Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 9 de agosto de 2011

Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Ingeniero Guzmán:

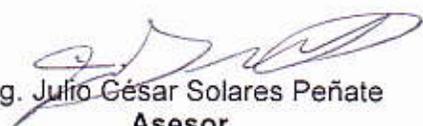
Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: "TROPO-DIFUSIÓN: VIABILIDAD DE SU USO Y CONSIDERACIONES DE FUNCIONAMIENTO", desarrollado por el estudiante **Josué Joel Arriola Rojas**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Por lo tanto, el autor de este trabajo y yo como asesor, nos hacemos responsables del contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Solares Peñate
Asesor





Ref. EIME 36, 2011.
Guatemala, 24 de AGOSTO 2011.

FACULTAD DE INGENIERIA

Señor Director,
Ing. Guillermo Antonio Fuente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
"TROPÓ-DIFUSIÓN: VIABILIDAD DE SU USO Y
CONSIDERACIONES DE FUNCIONAMIENTO", del estudiante
JOSUÉ JOEL ARRIOLA ROJAS, que cumple con los requisitos
establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
DIRECCIÓN Y ENSEÑANZA A TODOS

Ing. Carlos Andrés de Guzmán Salazar
Coordinador de Electrónica

CEGS/aro





REF. EIME 57. 2011.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante: JOSUÉ JOEL ARRIOLA ROJAS titulado: "TROPO-DIFUSIÓN: VIABILIDAD DE SU USO Y CONSIDERACIONES DE FUNCIONAMIENTO", procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Romero



GUATEMALA, 30 DE AGOSTO 2011.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **TROPO-DIFUSIÓN: VIABILIDAD DE SU USO Y CONSIDERACIONES DE FUNCIONAMIENTO**, presentado por el estudiante universitario **Josué Joel Arriola Rojas**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

A large, handwritten signature in blue ink, consisting of a large oval loop and several vertical strokes.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, noviembre de 2011

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Todo poderoso.
Mis padres	José Alfonso Arriola (q.e.p.d.) y María Hortencia Rojas. Este es el resultado de sus esfuerzos.
Mi esposa	Tatiana Violeta. Su cariño y apoyo me ayudaron a alcanzar mis metas.
Mi hija	Jennifer Alejandra, porque deseo que se sienta orgullosa y que un día se realice profesionalmente también.
Mis hermanos y sobrinos	Silvia, Alfonso, David, Raquel, Evelyn, Cristian, Marjorie y Anthony, por su comprensión y cariño.
Mis amigos	Cristian García, por su incondicional apoyo en mis estudios y su constante motivación; Fredy Álvarez, por haber alcanzado logros importantes conmigo; Julia Reyna, Debbie Maldonado, Franklin Lemus, Carolina Moino, Rocío Morales y Lucky Cruz por su motivación y consejos. Los quiero mucho.

Mis catedráticos

En especial a: Ing. Julio Solares, Ing. Enrique Ruíz, Ing. Guillermo Puente, Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota e Ing. Renato Escobedo, por su especial contribución a mi crecimiento académico.

Facultad de Ingeniería

Por formarme como profesional de la Ingeniería.

Universidad de San Carlos

Máxima casa de estudios.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la fuerza de seguir adelante para llegar a la culminación de esta etapa tan importante de mi vida.
Mis padres	Por darme todo su apoyo material y espiritual.
Mis hermanos y hermanas	Por haber contribuido significativamente a mi formación académica y personal.
Mi esposa, Tatiana Violeta	Por su amor, su comprensión y por permanecer a mi lado para apoyarme durante estos años.
Mi hija, Jennifer Alejandra	Por convertirse en mi principal motivación para seguir superándome.
Mi suegro, mi suegra y mis cuñadas	Por compartir su sabiduría conmigo y abrirme los brazos para ser un miembro más de su linda familia.
Mis catedráticos	Por sus enseñanzas y la confianza que depositaron en mí durante mi paso por las aulas de la Facultad de Ingeniería.

Mi asesor, Ing. Julio Solares Por motivarme y seguir de cerca mi trabajo de graduación, por su amistad y su confianza.

1.5.2.1.	Uso comercial de la difusión meteórica	12
1.5.2.2.	Elementos requeridos en la operación.....	13
1.5.2.3.	Aspectos favorables.....	14
1.5.2.4.	Inconvenientes.....	14
1.5.3.	Comunicación satelital.....	15
1.5.3.1.	Satélites geoestacionarios	16
1.5.3.1.1.	Parámetros típicos de la órbita geoestacionaria.....	16
1.5.3.2.	Modelos de enlace del sistema satelital	17
1.5.3.2.1.	Modelo de subida.....	17
1.5.3.2.2.	<i>Transponder</i>	18
1.5.3.2.3.	Modelo de bajada	19
1.5.3.3.	Técnicas de acceso múltiple (FDMA, TDMA, CDMA, ALOHA)	20
1.5.3.4.	Tipos de comunicación satelital	21
1.5.3.5.	Uso comercial de la comunicación satelital	22
1.5.3.6.	Elementos requeridos en la operación.....	22
1.5.3.6.1.	Estación receptora.....	23
1.5.3.6.2.	Estación emisora	23
1.5.3.7.	Aspectos favorables.....	25
1.5.3.8.	Inconvenientes.....	25
1.5.4.	Difusión troposférica	26
1.5.4.1.	Difusión tropo-pesada	28

	1.5.4.2.	Difusión tropo-liviana	28
	1.5.4.3.	Elementos requeridos en la operación.....	28
	1.5.4.4.	Aspectos favorables	29
	1.5.4.5.	Inconvenientes.....	29
2.	DIFUSIÓN IONOSFÉRICA Y TROPOSFÉRICA.....		31
2.1.	Conceptos involucrados		31
2.1.1.	Pérdida en ruta o atenuación en ruta (<i>path loss</i>).....		31
2.1.2.	Comunicación más-allá-del-horizonte		32
2.1.3.	Refracción atmosférica		33
2.1.4.	Recepción en diversidad		35
2.1.5.	Banda Ku y sus características		37
	2.1.5.1.	Dificultades	38
	2.1.5.2.	Compatibilidad e importancia de la antena de plato	39
2.2.	Difusión ionosférica		40
	2.2.1.	Condiciones atmosféricas	41
	2.2.2.	Requerimientos del terreno	41
	2.2.3.	Requerimientos del equipo	42
	2.2.4.	Descripción del proceso	43
2.3.	Tropo difusión.....		44
	2.3.1.	Condiciones atmosféricas	46
	2.3.2.	Requerimientos del terreno	46
	2.3.3.	Requerimientos del equipo	47
	2.3.3.1.	Multiplexor	47
	2.3.3.2.	Modulador	47
	2.3.3.3.	Amplificador de RF	47
	2.3.3.4.	Cable coaxial.....	48

2.3.3.5.	Antena transmisora	50
2.3.3.6.	Antena receptora	51
2.3.3.7.	Guía de onda o cable	52
2.3.3.8.	Red de filtrado.....	52
2.3.3.9.	Convertidor de bajada	52
2.3.3.10.	Amplificador de FI.....	53
2.3.3.11.	Demodulador	53
2.3.3.12.	Demultiplexor	53
2.3.4.	Descripción del proceso	54
2.3.5.	Tropo-liviana	56
2.3.6.	Tropo-pesada	57
3.	APLICACIONES.....	59
3.1.	Transferencia de datos	59
3.1.1.	Puertos de interfase	68
3.1.1.1.	RJ-11	68
3.1.1.2.	<i>Ethernet</i> RJ-45.....	68
3.1.1.3.	DB-9.....	68
3.2.	Transmisión de video.....	69
3.3.	Telegrafía y telefonía	73
3.4.	Telemetría	77
3.5.	Restauración de comunicaciones de emergencia	79
3.6.	Enlaces entre estaciones terrenas y en alta mar	80
3.7.	Radio transmisión.....	82
4.	CONSIDERACIONES LOCALES	87
4.1.	Condiciones atmosféricas	87
4.1.1.	Clima en el país	88
4.1.2.	Efectos del clima en el equipo.....	90

4.2.	Evaluación del costo de implementación	93
4.2.1.	Capacitación del personal que operará y dará mantenimiento al enlace	93
4.2.2.	Antena transmisora	94
4.2.3.	Antena receptora	94
4.2.4.	Amplificador de potencia	95
4.2.5.	Cable coaxial.....	95
4.2.6.	Estaciones tropo	96
4.2.7.	Módem.....	96
4.2.8.	Radio transmisor.....	96
4.3.	Costo de operación	96
4.3.1.	Mantenimiento preventivo del equipo	97
4.3.2.	Reparación de partes dañadas o desgastadas.....	97
4.3.3.	Salario del operador	97
4.3.4.	Energía Eléctrica	98
4.4.	Regulaciones.....	98
4.4.1.	Atribuciones de la Superintendencia de Telecomunicaciones	98
4.4.2.	Concesión para la explotación del espectro electromagnético	100
4.4.3.	Información requerida en la SIT	102
4.4.4.	Servicios radioeléctricos.....	103
	CONCLUSIONES.....	105
	RECOMENDACIONES.....	107
	BIBLIOGRAFÍA	109

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Variaciones de temperatura a medida que la altura aumenta	7
2.	Relación altura-temperatura	8
3.	Sistema de comunicaciones vía satélite	15
4.	Convertidor ascendente	18
5.	Diagrama de bloques del <i>transponder</i>	19
6.	Diagrama de bloques del modelo de bajada	19
7.	Antena parabólica de malla metálica.....	24
8.	Antena de plato	24
9.	Comparación entre tropo-dispersión y enlace con repetidoras.....	26
10.	Sistema de tropo-difusión TRC-170	27
11.	Efecto de la refracción al pasar de un medio a otro	34
12.	Diagrama en bloques de un receptor en diversidad cuádruple	36
13.	Antena de plato sólido.....	39
14.	Geometría de la dispersión frontal en la región D	40
15.	Antena de tipo cilindro parabólico	43
16.	Cable coaxial con cubierta exterior sólida	43
17.	Comparación de alcances entre difusión ionosférica y troposférica	45
18.	Amplificador para interperie de 400 Watts	48
19.	cable coaxial AL5-50 de 7/8" con exterior de aluminio	49
20.	Antena parabólica para difusión troposférica.....	50
21.	Antena Yagi de cinco elementos	51
22.	Recepción en diversidad Dual.....	51

23.	Guía de onda elíptica	52
24.	Equipo TRC – 170 instalado con antena en mástil	57
25.	Equipo de tropo-difusión DART-T usado por el ejército de Estados Unidos	58
26.	Antenas y cuarto de control del enlace Cuba-Florida.....	60
27.	(a) Enlace en línea de visión. (b) Enlace usando doble diversidad de espacio.....	62
28.	Enlace con dos antenas usando el equipo AN/TRC-170(V)	64
29.	Panel frontal y trasero del MÓDEM TM-20	66
30.	Panel frontal del Multiplexor CSM8100.....	67
31.	Posibles aplicaciones del multiplexor CSM8100	67
32.	(a) Conector RJ-11 (b) Conector RJ-45 (c) Conector DB-9.	69
33.	Envío de video a través de una red IP	71
34.	Sistema de telegrafía básico.....	74
35.	Terminal de tropo-dispersión digital.....	75
36.	Radiotransmisores portátil y base.....	82
37.	Puntos elevados estratégicos para repetición en Guatemala	83
38.	Antena y domo protector	90
39.	Cable coaxial contaminado	91
40.	Cinta Vulcanizable	91
41.	Antena “tropo” transportable	94

TABLAS

I.	Parámetros de la órbita geoestacionaria	17
II.	Pérdida y Potencia promedio para el cable coaxial AL5	49

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	centímetro
dB	decibeles
GHz	Giga hertzios (10^9 Hertz)
°C	Grados centígrados
Log	Logaritmo base 10
kbps	Kilobits por segundo (10^3 bits porsegundo)
kg	Kilogramo
kHz	Kilo hertzios (10^3 Hertz)
km	Kilómetros (10^3 metros)
km/h	Kilómetros por hora
kW	Kilovatios
Mbps	Megabits por segundo (10^6 bits por segundo)
MHz	Mega hertzios (10^6 Hertz)
ms	milisegundos (10^{-3} segundos)
UV	Ultravioleta
V	Voltios
VDC	Voltios en corriente directa

GLOSARIO

Amplificador TWT

Amplificador con tubo de onda progresiva TWT (*Traveling Wave Tube*). Es una variante de amplificador utilizado en estaciones para comunicaciones satelitales. Es un amplificador de gran ancho de banda y una ganancia de potencia de 25 a 50 dB.

Ángulo de radiación

Es el ángulo que forma el campo electromagnético radiado, medido entre el eje del lóbulo de radiación principal y el suelo (tierra).

Antena Yagi

Antena direccional que mediante una estructura simple de dipolo, combinado con elementos parásitos, conocidos como reflector y directores, provee muy alto rendimiento y eficiencia.

Antena colineal

Tienen más elementos radiantes apilados y funcionando juntos, concentrando así la radiación en el horizonte y logrando con esto una mayor ganancia.

Antena isotrónica

Se define como una antena puntual que irradia energía uniformemente en todas direcciones. El flujo de energía en la unidad de tiempo y por unidad de área es la densidad de potencia. La potencia aplicada a dicha antena se reparte por igual en el área de una esfera.

Antena omnidireccional

Utilizadas en general para la comunicación entre unidades móviles cuando el posicionamiento en relación a la antena de base es variable, ya que irradian en todas direcciones.

Anulación multi-ruta

Una pequeña área de espacio donde las señales de radio-frecuencia directas y reflejadas provenientes de un transmisor, se anulan unas a otras, resultando en una energía muy pequeña o no utilizable disponible para una antena receptora.

Azimuth

Ángulo medido en grados o longitud de arco medido sobre el horizonte celeste. Se forma desde el punto cardinal sur (Norte) hasta la proyección vertical del astro sobre el horizonte del observador situado en alguna latitud Norte (Sur).

Banda C	Es un rango del espectro electromagnético de las micro-ondas con un rango de frecuencias de entre 3,7 y 4,2 GHz y desde 5,9 hasta 6,4 GHz.
Banda Ku	Rango del espectro electromagnético que va de los 12 a los 18GHz. Se usa principalmente en comunicaciones satelitales y uno de sus principales usos es la televisión. Se divide en varios segmentos que difieren según la región geográfica.
BPF	Filtro pasa banda. Filtro electrónico capaz de dejar pasar únicamente un rango de frecuencias con un límite inferior y uno superior.
BPSK	Se refiere a la modulación por desplazamiento de fase binaria. Es una forma de modulación angular que utiliza la modulación de desplazamiento de fase de 2 símbolos con 1 bit de información cada uno.
Código Q	Código de señales de tres letras utilizado en comunicaciones de radioaficionados. Según la forma, los códigos son afirmativos o interrogativos. La primera letra es siempre la Q, que viene de <i>question</i> (pregunta).

Conexiones truncales	Son canales o conjuntos de canales a los que se conectan redes más pequeñas para formar una red más amplia.
DART-T	Es una terminal de transporte de comunicaciones re-ubicable de modo dual y para todas las bandas. Es fabricada por la compañía Raytheon.
Desvanecimiento	Pérdida de la calidad de la señal durante su trayectoria entre el transmisor y el receptor.
Directividad	Es la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia, y la densidad de potencia que radiaría a la misma distancia una antena isotrópica.
Distintivo de llamada	Identificación propia de un usuario del espectro radioeléctrico compuesta de un prefijo, un número que identifica la zona geográfica y un sufijo.
Encriptación	Proceso para volver ilegible información considerada delicada, y se usa cuando no se desea que sea accesible para terceros. La información se recupera aplicando un proceso de descryptación en el receptor.

Espectro radioelétrico	Es una porción del espectro electromagnético que proviene de las perturbaciones entre campos eléctricos y magnéticos.
<i>Ethernet</i>	Es un estándar para redes de computadoras de área local en donde todos los equipos de una red están conectados a la misma línea de transmisión y la comunicación se lleva a cabo por medio de un protocolo de acceso múltiple que monitorea la portadora.
<i>Feed horn</i>	Es una antena en forma de cono usada para transmitir ondas de radio entre el transmisor o receptor, y el reflector de la antena.
FM	Frecuencia Modulada o modulación en frecuencia.
GPS	Del inglés <i>Global Positioning System</i> . Es un sistema de posicionamiento Global, o sea que es un sistema satelital capaz de ubicar con precisión la posición geográfica de un objeto que posea un rastreador.
Helix	Marca registrada de la compañía Andrew. Es un cable coaxial con cubierta exterior sólida de material corrugado.

HPA	Del inglés <i>High Power Amplifier</i> , es un amplificador de alta potencia.
IF	Frecuencia intermedia. Es la frecuencia en la que se convierte una señal recibida de alta frecuencia luego de pasar por un proceso de bajada.
IP	Protocolo de Internet. Es un protocolo no orientado a conexión usado por el origen y por el destino para la comunicación de datos a través de una red de paquetes, que son datos enviados en bloques.
<i>Klystron</i>	Se usa como amplificador de potencia en algunas estaciones terrestres para comunicaciones satelitales. Dispone de un cañón electrónico que emite un haz de electrones que pasa a través del espacio intermedio entre las cavidades de cada uno de los resonadores.
Litoral	Zona costera.
LMR	Cable coaxial de baja pérdida con un desempeño similar al de los cables coaxiales tradicionales pero con mayor flexibilidad y maniobrabilidad.

LNA	Del inglés <i>Low Noise Amplifier</i> . Es un amplificador electrónico de bajo ruido ideal para amplificar señales débiles como las provenientes de una antena.
Microondas	Ondas electromagnéticas de alta frecuencia (en el orden de los Gigahertz, es decir, miles de millones de ciclos por segundo) y longitud de onda corta.
Multiplexor	Dispositivo capaz de recibir varias señales de entrada y transmitir las por un medio de transmisión único y compartido.
Modulador	Dispositivo electrónico usado para introducir mensajes en una onda electromagnética que sirve de portadora, haciendo variar alguna de sus propiedades, tal como la frecuencia, la amplitud o la fase, por ejemplo.
PSK	Del inglés <i>Phase Shift Keying</i> . Es un sistema de codificación que lleva mensajes mediante el desplazamiento de la fase de la señal portadora.

QAM

Se refiere a la modulación de amplitud en cuadratura (*Quadrature Amplitude Modulation*), es una forma de modulación digital en donde la información digital está contenida, tanto en la amplitud como en la fase de la portadora transmitida.

QPSK

Forma de modulación digital angular con amplitud constante. Es una codificación M-aria, con $M=4$. Con ella son posibles cuatro fases de salida, para una sola frecuencia de la portadora.

QSO

En el código Q para radioaficionados, significa Conversación.

Radome

Del inglés *Radar Dome*. Es una cubierta en forma de domo, a prueba de condiciones climáticas extremas usada para cubrir antenas parabólicas o de plato y que no interfiere significativamente con la transmisión de las señales.

Retroalimentación

Término usado para describir el proceso en donde una muestra de una señal de salida es tomada para llevarla de nuevo a la entrada y usarla como referencia.

RF	Abreviatura para radiofrecuencia o frecuencia de radio, es decir frecuencias de al menos varios cientos de ciclos por segundo y que se transmiten en forma de ondas electromagnéticas.
RG6	Del inglés <i>Radio Guide 6</i> . Es un tipo de cable coaxial con mayor diámetro que el utilizado para televisión por cable. Debido a esto causa menor pérdida.
Servidor	Equipo informático en donde se almacenan datos de cuentas de usuarios y archivos dentro de una red. De él pueden extraerse los datos que se necesiten siempre y cuando se cuente con permisos.
<i>Transponder</i>	Dispositivo utilizado en comunicaciones satelitales cuyo nombre viene del inglés <i>Transmitter</i> (Transmisor) y <i>Responder</i> (Contestador). Realiza la recepción, amplificación y reemisión en una banda distinta de una señal, es decir, adaptan la señal satelital entrante y saliente a la frecuencia de los equipos en tierra.
UHF	Del inglés <i>Ultra High Frequency</i> . Es una banda de frecuencias en el espectro radioeléctrico que va desde 300MHz hasta 3GHz.

VLf

Del inglés *Very Low Frequency*. Comprende el rango de frecuencias desde 3KHz hasta 30KHz.

VHF

Del inglés *Very High Frequency*. Es la banda de frecuencias que va desde 30MHz hasta 300MHz.

Volumen común

Área del firmamento donde se encuentran el haz de la señal transmitida por una antena y lo que sería el haz imaginario de la señal recibida por otra antena que no se encuentra en la línea de visión de la transmisora.

RESUMEN

La viabilidad de utilizar equipos de tropo-difusión en el territorio nacional es de particular interés para establecer enlaces de comunicaciones de diversa índole. También lo son la forma en que el método de comunicación funciona y las limitaciones o inconvenientes a las que podría enfrentarse un usuario.

En el primer capítulo se describen las generalidades atmosféricas del planeta para introducir los medios en los cuales se llevan a cabo los procesos de comunicación más-allá-del-horizonte, así como las diversas técnicas de comunicación existente, asociada con las capas de la atmósfera.

Los principales conceptos técnicos involucrados en las comunicaciones más-allá-del-horizonte, las generalidades de la difusión ionosférica y troposférica, así como la descripción de los fenómenos que permiten su ocurrencia, se detallan en el segundo capítulo.

El tercer capítulo describe las aplicaciones que pueden darse a los equipos de tropo-difusión, como se pueden llevar a cabo, que ventajas o utilidad tienen, así como que accesorios son más apropiados para su ejecución.

En el cuarto capítulo se describen las consideraciones locales, especialmente las relacionadas con el clima que, como se verá, no representa un inconveniente significativo y; las relacionadas con la legislación local que, aunque ha sido creada pensando en los sistemas de comunicaciones más comunes, puede ajustarse a técnicas nuevas.

OBJETIVOS

General

Describir el funcionamiento y la viabilidad del uso de las comunicaciones más-allá-del-horizonte usando la troposfera como medio de dispersión de las ondas electromagnéticas.

Específicos

1. Conocer la historia del desarrollo de la tropo-difusión.
2. Comprender el funcionamiento de las comunicaciones usando la dispersión troposférica.
3. Conocer las ventajas del uso de sistemas tropo.
4. Conocer las desventajas del uso de los sistemas en cuestión.
5. Analizar la posible aplicación de sistemas tropo en el país .
6. Evaluar la legislación vigente en el país para determinar si se ajusta a los requerimientos de los equipos.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de acortar distancias a través de la comunicación ha llevado a los investigadores a seguir una constante búsqueda de alternativas para evadir obstáculos tales como la distancia, la cantidad de información a transmitir o la calidad de los medios que se utilizan.

Las comunicaciones enviando correo físico entre lugares distantes, empezaron a mostrar inconvenientes, especialmente por el tiempo tomado para la entrega y la cantidad de información que se podía enviar.

Con el manejo de la electricidad aparecieron nuevas alternativas, entre ellas, las comunicaciones alámbricas, que hoy en día siguen siendo rápidas y útiles pero aún cuentan con la limitante de la distancia. Es posible cubrir grandes distancias usando comunicaciones alámbricas pero para ello es necesaria una gran inversión en la instalación de cableado.

Con el descubrimiento, comprensión y control de las ondas electromagnéticas se logró desarrollar la comunicación inalámbrica que desde sus inicios ha estado en constante perfeccionamiento. Su funcionamiento se basa en la conversión de impulsos eléctricos en ondas producidas en una antena. En el lado donde se produce la recepción, otra antena hace el proceso inverso. Con esto se logra la comunicación inalámbrica.

Se han desarrollado sistemas capaces de transmitir y otros capaces de recibir y ambos han sido diseñados específicamente para eso. Pero dada la constante investigación, se ha conseguido diseñar sistemas que puedan transmitir y recibir datos simultáneamente.

Alcanzado ya el dominio de las comunicaciones inalámbricas, se comenzó a buscar sistemas con mayor potencia, capaces de cubrir grandes distancias entre dos puntos que tuvieran una línea de visión entre sí.

Lo anterior se logró pero se descubrió que los equipos eran capaces de entregar más de lo que la línea de visión permitía y casi accidentalmente se descubrió que había ondas que sin entender en ese entonces el porqué, eran capaces de llegar más allá del horizonte. Descubierta lo anterior, se comenzó la investigación de los fenómenos que lo permitían y se comenzaron a descubrir y posteriormente a controlar las causas.

De los descubrimientos y desarrollos anteriores surge la comunicación más-allá-del-horizonte que comprende varias técnicas parecidas entre sí. De estas técnicas, este trabajo de graduación dedica principal atención a la relacionada con la troposfera.

1. CAPAS DE LA ATMÓSFERA Y TIPOS DE DIFUSIÓN QUE OCURREN EN ELLA

En la atmósfera, la densidad, la composición del aire y también la temperatura varían con la altura. A partir de la variación de temperatura, la atmósfera puede dividirse en las siguientes capas:

1.1. Ionosfera o Termosfera

Es la capa más alta, y se extiende desde una altura de casi 80 km sobre la superficie terrestre hasta 640 km o más, exhibiendo temperaturas que van en aumento hasta los 1000°C. Cuando las partículas de la atmósfera experimentan una ionización por radiación ultravioleta, tienden a permanecer ionizadas debido a las mínimas colisiones que se producen entre los iones. Aquí los gases tienen una densidad muy baja y se encuentran ionizados. La ionosfera tiene una gran influencia sobre la propagación de las señales de radio. Una parte de la energía radiada por un transmisor hacia la ionosfera es absorbida por el aire ionizado y otra, es refractada o desviada de nuevo hacia la superficie de la Tierra.

Este último efecto permite la recepción de señales de radio a distancia mucho mayor de lo que sería posible con ondas que viajan por la superficie terrestre. La ionosfera está dividida en varias capas que son descritas en el presente capítulo.

1.1.1. Capa D

Es la capa más interna. Se encuentra entre 60 km y 90 km sobre la superficie de la tierra. La ionización aquí es ayudada por la intensa actividad solar. La capa se reduce significativamente después de la puesta del sol.

Durante la noche, los rayos cósmicos producen un monto de ionización residual. La pérdida de energía de onda es grande debido a la frecuente colisión de electrones. Como resultado, las ondas de radio de alta frecuencia no son reflejadas por la capa D sino que sufren una pérdida de energía. Esta es la razón principal por la que dichas ondas son absorbidas, particularmente debajo de 10 MHz. La absorción es pequeña durante la noche y máxima al medio día. Un ejemplo común de la acción de la capa D es la desaparición de estaciones de radiodifusión de AM distantes durante el día.

1.1.2. Capa E

Esta capa se encuentra en el medio, entre 90 km y 120 km por encima de la superficie de la tierra. La ionización es debida a los rayos X suaves (con una longitud de onda entre 1 y 10 manómetros) y la radiación solar ultravioleta.

Normalmente, a una incidencia oblicua, esta capa solo puede reflejar ondas de radio con frecuencias debajo de más o menos 10 MHz y podría contribuir un poco a la absorción de frecuencias superiores.

Esta región es también conocida como la capa Kennelly-Heaviside en honor a quienes predijeron su existencia.

La capa Es (capa esporádica E) está caracterizada por nubes pequeñas y delgadas de intensa ionización, las cuales pueden soportar la reflexión de ondas de radio de hasta 225 MHz. Los eventos esporádicos E pueden durar desde tan solo unos minutos hasta varias horas.

La propagación esporádica E ocurre más frecuentemente durante los meses de verano y es cuando los niveles de señal alta pueden ser alcanzados. Las distancias alcanzadas son generalmente de alrededor de 1000 km.

Durante los eventos esporádicos E intensos, la capa Es puede reflejar frecuencias superiores a 50 MHz. La estructura vertical de la capa E está determinada primordialmente por los efectos de la ionización y recombinación. Durante la noche, la capa E desaparece rápidamente porque la fuente primaria de ionización (los rayos solares) ya no está presente. Después de la puesta del sol se da un aumento en la altura de la capa E lo que a su vez aumenta el rango al cual las ondas de radio pueden viajar debido a la reflexión.

1.1.3. Capa F

Esta región también es conocida como la capa Appleton y se extiende desde cerca de 200 km hasta más de 500 km sobre la superficie de la tierra. Es el punto de mayor densidad de la ionosfera, lo que implica que las señales penetrantes en esta capa escapan hacia el espacio. Más allá de esta capa está la ionosfera superior, que es el límite de la atmósfera.

Aquí, la radiación solar ultravioleta extrema (UV de 10 a 100 nanómetros) ioniza el oxígeno atómico.

La capa F consiste de una capa por la noche, pero durante el día, usualmente se presenta una región de ionización adicional más débil conocida como F1.

La capa F2 permanece durante el día y la noche, y es responsable de la propagación de la mayoría de ondas de radio, facilitándolas a través de grandes distancias.

Por la noche, la capa F es la única con ionización significativa presente, mientras la ionización en las capas D y E es extremadamente baja. Durante el día, las capas D y E se vuelven mas fuertemente ionizadas, al igual que la F.

1.2. Mesosfera

Se extiende desde los 50 hasta 80 km de altura, contiene sólo cerca del 0,1% de la masa total del aire. En esta capa, la temperatura vuelve a disminuir a medida que aumenta la altura hasta los 140 °C y al final de ella, se encuentra la mesopausa. La disminución de la temperatura combinada con la baja densidad del aire en la mesosfera determina la formación de turbulencias y ondas atmosféricas que actúan a escalas espaciales y temporales muy grandes.

La mesosfera es la región donde las naves espaciales que vuelven a la Tierra empiezan a notar la estructura de los vientos de fondo, y no sólo el freno aerodinámico.

1.3. Estratosfera

Comienza a partir de la tropopausa y llega hasta un límite superior (estratopausa), a 50 km de altitud.

En esta capa, la temperatura aumenta hasta llegar aproximadamente a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ en su región más alta. Casi no hay movimiento en dirección vertical del aire, pero los vientos horizontales llegan a alcanzar frecuentemente los 200 km/h, lo que facilita que cualquier sustancia que llega a la estratosfera se difunda por todo el globo con rapidez, esto es lo que ocurre con los CFC que destruyen el ozono. En esta capa, entre los 30 y los 50 kilómetros, se encuentra la mayor concentración de ozono, La capa de ozono es una capa de gas que al absorber parte de la radiación ultravioleta e infrarroja del Sol hace posible la existencia de condiciones adecuadas para la vida sobre la superficie de la Tierra. El tope de esta capa se denomina estratopausa.

1.4. Troposfera

Esta es la capa a la que se le dedicará mas atención. Es la capa más baja, y en ella se produce la vida y casi todos los fenómenos meteorológicos. Contiene el 75% de la masa total de la atmósfera (a pesar de su poco espesor). Comienza en el suelo y se extiende hasta una altura aproximada de 10 km en los polos y 18 km en el Ecuador.

En la troposfera la temperatura disminuye con la altura de forma lineal a razón de $6.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ cada kilómetro hasta alcanzar los -70° C . Su límite superior es conocido como tropopausa, y en ella se da una inversión de temperatura.

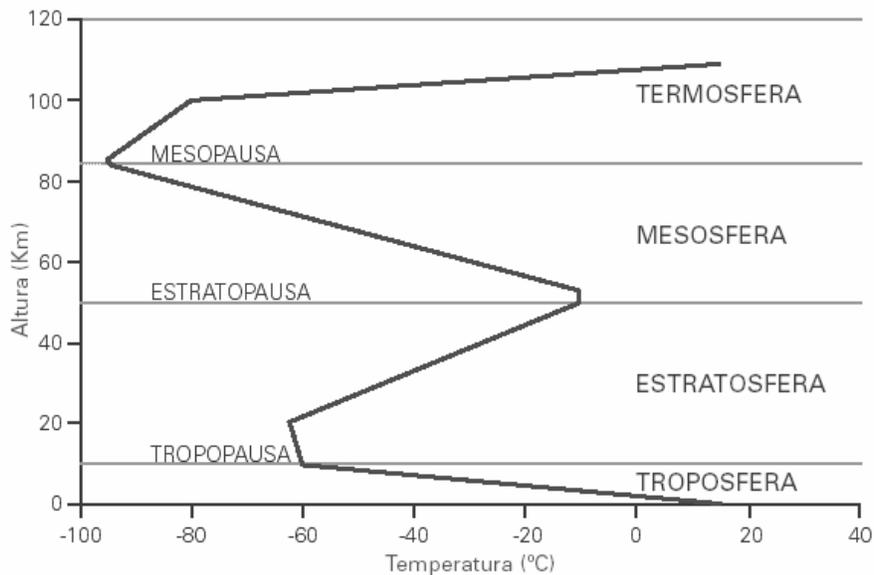
Está dividida en tres niveles o capas a distinta altura. La región que llega hasta 2-3 km de altura es llamada Troposfera baja. La que ocupa un nivel entre los 3 y 7 km, es la Troposfera media. La alta es la que ocupa el nivel superior y puede llegar hasta los 14 km de altura o más. Las alturas de los niveles anteriores hay que considerarlas con cierta flexibilidad. Sus valores dependen de la latitud.

La tropopausa es una inversión de temperatura que bloquea los movimientos verticales de aire, por esta razón, todo el vapor de agua, aerosoles, nubes y fenómenos meteorológicos se encuentran y desarrollan en la troposfera.

La altura a la que se sitúa la tropopausa es variable, desde los 16 Km en el ecuador a los 8 Km en los polos, además existen variaciones de altura ligadas a la temperatura y presión en superficie, la tropopausa está más alta cuanto más baja es la presión en superficie y/o cuanto más alta es la temperatura en superficie.

En el aire, particularmente en la troposfera, la cantidad de vapor de agua depende de su temperatura en primer lugar, de la presión en segundo lugar. El aire en las zonas cálidas tropicales y ecuatoriales puede contener mayor cantidad de vapor de agua que en las zonas polares, es decir, el aire cálido puede contener más vapor de agua que el frío. Los fenómenos de temperatura de acuerdo a la altura se ven en forma gráfica en la figura 1.

Figura 1. **Variaciones de temperatura a medida que la altura aumenta**

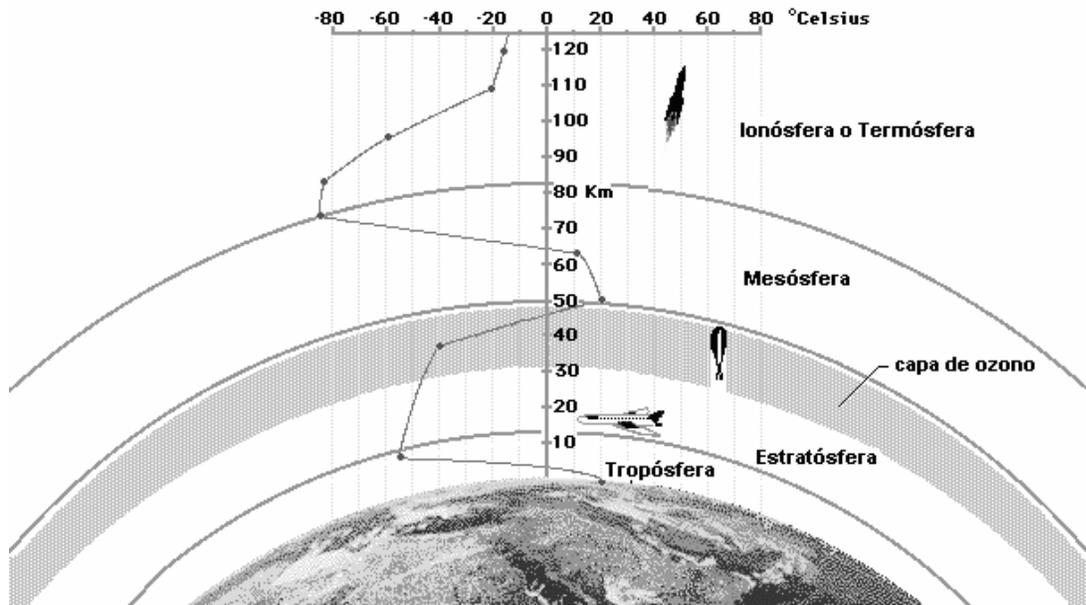


Fuente: <http://www.geociencias.unam.mx/>.28 de octubre de 2010.

Cuando la humedad o concentración de vapor de agua se encuentra en el máximo permitido, se dice que la atmósfera está saturada y no permite más vapor en ella. A partir de entonces, cualquier cantidad adicional de vapor de agua forma pequeñas gotas o cristales de hielo, ya que el aire no puede contener más vapor. Por otro lado, los núcleos de condensación favorecen la condensación del vapor de agua y generan pequeñas gotas y cristales de hielo. En las cercanías de la superficie terrestre no es muy común que la atmósfera esté saturada de vapor de agua.

En la figura 2 se muestran las variaciones de temperatura-altura y las diferentes actividades que ocurren sobre la superficie del planeta para dar una idea de a que altura se presentan.

Figura 2. Relación altura-temperatura



Fuente: <http://www.cma.gva.es/web/indice.aspx?nodo=4555&idioma=C>. 28 de octubre de 2010.

1.5. Algunos métodos de difusión de información existentes

El fenómeno de la dispersión de ondas electromagnéticas se presenta en varias regiones de la atmósfera. Dependiendo de la capa en la que se presente, tendrá un nombre asociado y características distintas de altura y alcance.

1.5.1. Difusión ionosférica

Es la dispersión de ondas de radio en la ionosfera, debido a irregularidades en la distribución de electrones, lo cual causa cambios en el índice de refracción. La dispersión es más pronunciada en la región "D" entre 70 y 90 km y es mejor desde 30-60 MHz.

La difusión ionosférica es un mecanismo de propagación disponible las 24 horas del día al igual que la difusión meteórica pero con la diferencia de que mantiene una señal débil constante y no experimenta explosiones de potencia de la señal como ocurre en la difusión meteórica.

1.5.1.1. Uso comercial de la difusión ionosférica

La difusión ionosférica fue investigada y puesta en funcionamiento después de la Segunda Guerra mundial por los militares. Las estaciones de difusión ionosférica de los cincuenta usaban antenas de 20 dB de ganancia, 40 Kw de potencia y frecuencias de 35 - 50 MHz. Esto es mucho más de lo que los aficionados pueden usar, así que la mayoría de aficionados han perdido la esperanza de usar este sistema. Sin embargo, se puede ver que el uso militar tiene una confiabilidad de 99,9%. Si los aficionados se fijan en tan solo el 50%, se puede establecer una QSO (conversación en el código Q para radioaficionados) con alrededor de 28 dB menos, es decir, 16 dB menos de potencia y 12 dB menos de ganancia en la antena. Esto es un ancho de banda SSB de 1 kW y 8 dB de ganancia en la antena, lo cual es bastante aceptable y muy común hoy en día en 50 MHz.

1.5.1.2. Elementos requeridos en la operación

Es posible lograr el enlace contando con dos antenas yagi (para transmisión y recepción) y un amplificador de RF de 5kw lográndose de este modo una confiabilidad de 99,9%, una tasa de error de 1/3000 caracteres.

El uso mas común de este sistema es el envío de voz pero la portadora del transmisor también puede modularse para enviar datos.

Es importante notar que la comunicación será en una sola vía. Si se desea hacerla bi-direccional, se requieren radios de dos vías, y debe entenderse que el enlace será del tipo *half-duplex*, es decir, una sola vía a la vez (no simultáneamente).

1.5.1.3. Aspectos favorables

- Está disponible las 24 horas del día, los 365 días del año con pequeñas variaciones de 10dB en la intensidad de la señal.
- La distancia alcanzada por un enlace de este tipo puede llegar hasta los 1500 km y en algunos casos, si existe un rebote en el suelo, puede alcanzar los 3500 km.
- Es un método ideal para que los radioaficionados se comuniquen con otros usuarios a varios cientos de kilómetros de distancia.
- Los elementos requeridos para establecer el enlace son de fácil adquisición.

1.5.1.4. Inconvenientes

- La capacidad de reflexión de las ondas no se mantiene durante todo el día ni durante todo el año, es decir que si se desea que un enlace se mantenga, las 24 horas, no debe ser muy lejano y se requieren ajustes de posición a lo largo del día.
- Existen épocas del año en que la altura de la ionosfera se incrementa o disminuye, alterando el ángulo de incidencia de las ondas.
- No puede usarse para mantener una transferencia de datos prolongada porque se corre el riesgo de que cambien las condiciones iniciales de la transmisión.

1.5.2. Difusión meteórica (*meteor scatter*)

Este modo aprovecha la breve ionización de la Ionosfera que se consigue debido a la entrada de meteoros en la misma. La señal transmitida se refleja aproximadamente a 100 Km. de altitud (en la capa E) haciendo posibles enlaces de entre 700 y 1700 Km. siendo mas difíciles a distancias arriba de los 2000 Km. El tipo de meteoros que entran en la tierra esta dividido en dos:

- Los esporádicos, que entran a cualquier hora del día y de forma desordenada, nos permitirán establecer QSO durante todo el año aunque no en todo momento con grandes posibilidades de éxito después de la medianoche y especialmente entre las 4:00-6:00 UTC (tiempo universal coordinado). En esas horas se aprovecha el giro gravitacional de la tierra (inverso a los meteoros) aumentando la velocidad de ingreso de los mismos a la ionosfera y por tanto la ionización de la capa E.

- Las lluvias de meteoros, que están muy bien catalogadas y se producen en determinadas temporadas a lo largo del año de las que se conocen las fechas de sus picos máximos, radiante de ingreso, etc. con lo cual y gracias a los actuales programas informáticos se pueden predecir las mejores horas y direcciones para efectuar QSO, con gran exactitud y mínimos fallos.

Un enlace es instalado y ajustado para buscar propagación de señal por medio de un camino de meteoritos, y cuando uno está disponible, éste es usado para enviar los datos. El enlace permanece inactivo hasta que el próximo camino es detectado. Estos enlaces usan los caminos sub-densos, es decir, aquellos en los que la energía de Radio Frecuencia (RF) penetra en el camino y hace que los electrones oscilen y re-emitan la energía.

1.5.2.1. Uso comercial de la difusión meteórica

Este tipo de difusión es usada en una variedad de aplicaciones en frecuencias que normalmente se encuentran entre 40 y 150 MHz, es decir, el extremo inferior de la banda de VHF. Estas frecuencias son ocasionalmente usadas en aplicaciones de transferencia de datos, particularmente cuando no se requieren enlaces en tiempo real y cuando se transfieren datos desde estaciones remotas donde no hay operario hacia una base usando enlaces de radio. En estos días, usando sistemas controlados por computadoras, esta forma de comunicaciones puede ofrecer una alternativa efectiva a otros medios, especialmente si el uso de satélites podría ser requerido (debido al costo).

En otras aplicaciones, los radioaficionados usan este medio de difusión como una forma de propagación de señales VHF de larga distancia.

Para aplicaciones de radio aficionados, la mayoría de la operación tiene lugar durante los períodos de lluvia de meteoritos. Cuando las señales pueden ser escuchadas, la telegrafía de alta velocidad es usada normalmente para transmitir la información requerida.

La función mas significativa del equipo a utilizar debe ser la precisión y estabilidad de frecuencia, si se va a utilizar telegrafía de alta velocidad, se debe ser cuidadoso de manipular correctamente el equipo, ya que en algunos casos, hay equipos que no admiten la posibilidad de desajustes.

1.5.2.2. Elementos requeridos en la operación

La potencia mínima aconsejable para este uso se encuentra alrededor de los 100W. que se pueden conseguir fácilmente con un amplificador de potencia transistorizado. Con esa potencia es necesario el empleo de ventiladores para evitar el sobrecalentamiento, ya que éste podría terminar inutilizando el equipo.

La antena utilizada y la longitud del cable de alimentación influyen notablemente en los resultados y cuanto mas ganancia se tenga, será mejor. De lo anterior, se puede pensar en una antena Yagi, o bien en un arreglo de Yagis o incluso Colineales con elevación.

1.5.2.3. Aspectos favorables

- Al darse la entrada de meteoros esperada, la calidad de la comunicación es alta.
- Si lo que se busca es simplemente establecer una transmisión de voz y no de datos, en la noche es cuando mejor se logra.
- El costo del uso de este sistema es significativamente bajo, si la aplicación no requiere la utilización de satélites.

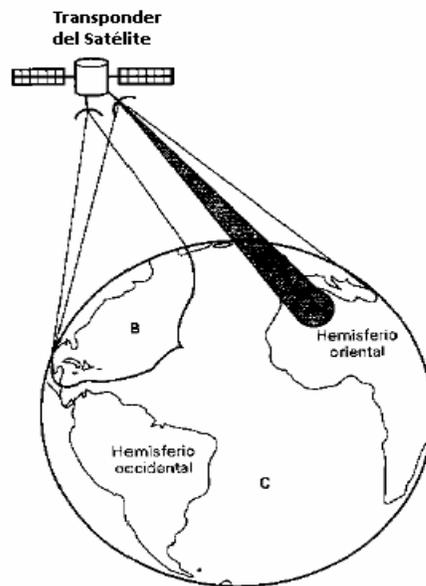
1.5.2.4. Inconvenientes

- El equipo a utilizar debe ser muy preciso y estable, pues no se admiten variaciones de frecuencia.
- Se requieren amplificadores de potencia adicionales para poder transmitir.
- Deben conocerse los momentos del año en que la concentración de meteoros entrantes en la atmósfera sea más alta.
- La transferencia de datos que se consigue no es en tiempo real. El sistema debe esperar a que haya un medio apto para el enlace y es ahí cuando lo logra.

1.5.3. Comunicación satelital

El sistema de comunicaciones vía satélite se conforma básicamente por las estaciones en tierra y el satélite, como se muestra en la figura 3. El sistema permite que las estaciones en tierra se comuniquen entre sí utilizando al satélite como una estación repetidora cuando la distancia que las separa es muy grande y no está en la línea de visión por lo que no permite la comunicación directa.

Figura 3. Sistema de comunicaciones vía satélite



Fuente: http://edutechne.com.ar/forumsur/comunica_sat.pdf. 29 de octubre de 2010.

1.5.3.1. Satélites geoestacionarios

Los satélites geoestacionarios o geosíncronos son satélites que giran en un patrón circular, con una velocidad angular igual a la de la Tierra. Por lo tanto permanecen en una posición fija con respecto a un punto específico en la Tierra. Una ventaja obvia es que están disponibles para todas las estaciones de la Tierra, dentro de su sombra, el 100% de las veces. La sombra de un satélite incluye a todas las estaciones de la Tierra que tienen un camino visible a él y están dentro del patrón de radiación de las antenas del satélite. Una desventaja muy clara es que a bordo, necesitan dispositivos de propulsión sofisticados y pesados para mantenerlos fijos en una órbita. El tiempo de órbita de un satélite geosíncrono es de 24 horas, igual que la Tierra.

1.5.3.1.1. Parámetros típicos de la órbita geoestacionaria

Es posible calcular algunos parámetros típicos de la órbita geoestacionaria, tales como la altura del satélite, o la velocidad del mismo, partiendo de las leyes básicas de la Física.

Un satélite geoestacionario tiene un periodo de rotación igual al de la Tierra, por lo tanto se debe saber con exactitud dicho periodo de rotación. Para ello se considera el día sidéreo, que es el tiempo de rotación de la Tierra medido con respecto a una estrella lejana y que difiere del día solar o medido con respecto al sol. La duración de este día sidéreo es de 23 horas 56 minutos 4,1 segundos.

En la tabla I, se ven los parámetros de la órbita estacionaria.

Tabla I. **Parámetros de la órbita geoestacionaria**

Parámetros de la órbita geoestacionaria	
Radio medio de la Tierra.	6370 Km.
Periodo de rotación (Tierra y satélite).	23h 56min 4,1seg
Radio de la órbita geoestacionaria.	42173 Km.
Altura del satélite sobre la Tierra.	35803 Km.
Velocidad del satélite.	3,075 Km/seg.

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos11/caracsat/caracsat.shtml>. 29 de octubre de 2010.

1.5.3.2. Modelos de enlace del sistema satelital

Los modelos de enlace del sistema satelital relacionados con la transmisión y recepción son el de subida y el de bajada.

1.5.3.2.1. Modelo de subida

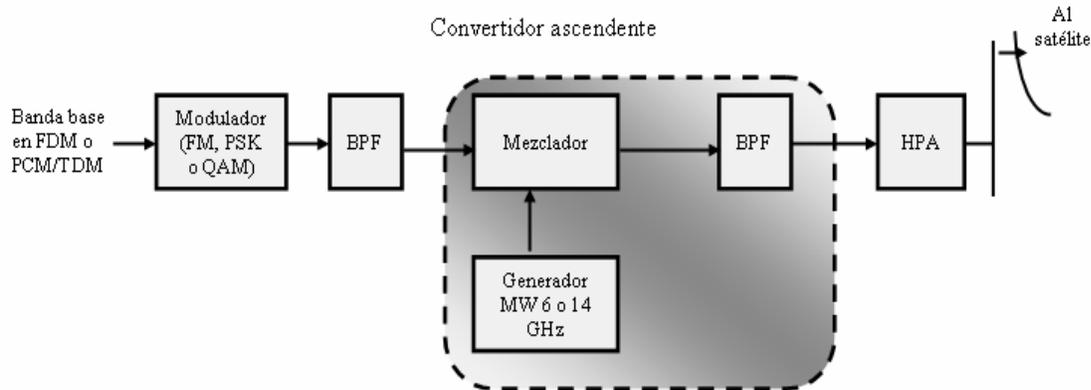
Un modulador de IF convierte las señales de banda base de entrada a una frecuencia intermedia modulada en FM, en PSK o en QAM.

El convertidor (mezclador y filtro pasa-banda) convierte la IF a una frecuencia de portadora de RF apropiada.

El HPA proporciona una sensibilidad de entrada adecuada y potencia de salida para propagar la señal al *transponder* del satélite.

El diagrama de bloques que ilustra este proceso se ve en la figura 4.

Figura 4. **Convertidor ascendente**



Fuente: <http://www.rxdatosxsatellite.unlugar.com>. 4 de noviembre de 2010.

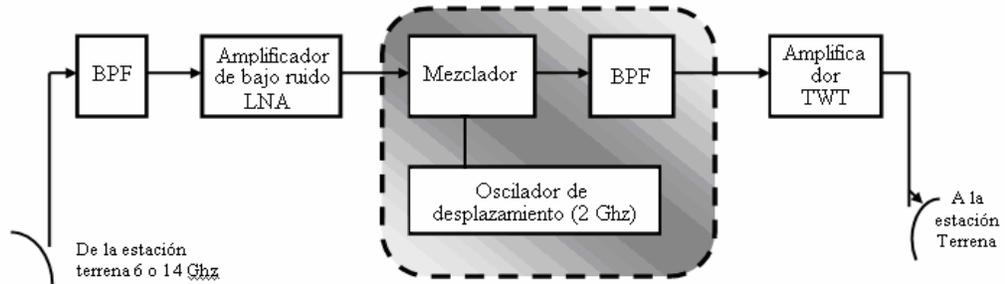
1.5.3.2.2. **Transponder**

El BPF de entrada limita el ruido total aplicado a la entrada del LNA.

La salida del LNA alimenta un convertidor de frecuencia que cambia la frecuencia de subida de banda alta a una frecuencia de bajada de banda baja.

El amplificador TWT amplifica la señal de RF para su posterior transmisión por medio de la bajada a los receptores de la estación terrena, tal como se ilustra en la figura 5.

Figura 5. Diagrama de bloques del *Transponder*

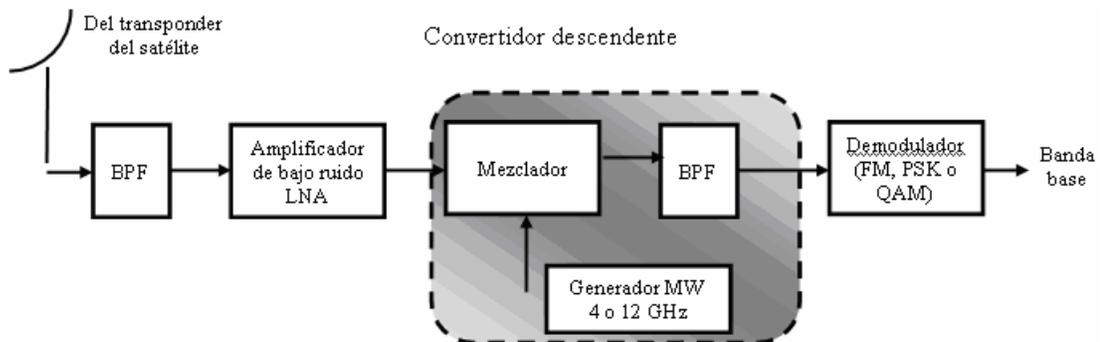


Fuente: <http://www.rxdatosxsatelite.unlugar.com>. 4 de noviembre de 2010.

1.5.3.2.3. Modelo de bajada

Un receptor de estación terrena incluye un BPF de entrada, un LNA y un convertidor de RF a IF. El BPF limita la potencia del ruido de entrada al LNA. El convertidor de RF a IF es una combinación de filtro mezclador/pasa-bandas que convierte la señal de RF a una frecuencia de IF. El proceso descrito se muestra en el diagrama de bloques de la figura 6.

Figura 6. Diagrama de bloques del modelo de bajada



Fuente: <http://www.rxdatosxsatelite.unlugar.com>. 4 de noviembre de 2010.

1.5.3.3. Técnicas de acceso múltiple (FDMA, TDMA, CDMA, ALOHA)

El acceso múltiple puede ser por división de frecuencia, tiempo y código.

Cada enlace requiere de dos canales de RF del satélite, uno de subida y uno de bajada y se requieren cuatro frecuencias de portadora, dos de subida y dos de bajada.

- FDMA.- El Ancho de banda de un *transponder* se divide en secciones o ranuras de frecuencias asignadas a las distintas estaciones transmisoras.
- TDMA.- Cada estación terrena transmite pequeñas ráfagas de información durante una ranura de tiempo específica (intervalo). Las ráfagas están sincronizadas de tal manera que el estallido de cada estación llegue al satélite en un tiempo diferente.
- CDMA.- Todas las estaciones terrenas transmiten dentro de la misma banda de frecuencias y no tienen limitación de cuándo pueden transmitir. La separación de las señales se realiza por medio de técnicas de codificación.
- ALOHA.- Esta técnica es una variante de TDMA, mucho más económica, pero también menos eficiente. Aquí las estaciones transmiten ráfagas de datos, pero lo hacen sin coordinación, sin tiempos asignados y envían su información al satélite sólo cuando necesitan hacerlo. No se necesita ninguna estación maestra ni equipo de sincronización como en TDMA puro.

1.5.3.4. Tipos de comunicación satelital

- Inmarsat-A, Analógico. (Voz, fax y datos de baja y alta velocidad).
- Inmarsat-B, Digital. (Voz, fax y datos de baja y alta velocidad, Inter-net), datos a 9.6 Kbps y 64 Kbps.
- Inmarsat-C, Digital. (sólo para transmisión de datos de baja Velocidad) da servicios de mensajería bidireccional y las estaciones transmisoras facilitan el servicio de correo electrónico a través del Inmarsat C.
- Inmarsat Mini C, Digital. La diferencia radica en que tiene el GPS incorporado, su peso aproximado es de 1.1 kg; tiene una altura de menos de 15 cm, ángulo de elevación de la antena de 15° a 90°; consumo de potencia sumamente bajo (puede usar celdas solares) al igual que el anterior sirve para transmisión de datos de baja velocidad y da servicio de mensajería bidireccional, correo electrónico, informe de posición, fax, telex, control de flotas, reporte de datos.
- Inmarsat-M, Digital.
- Tipo Maletín. (Voz, fax y datos de baja velocidad) datos a 2,4 Kbps.
- Inmarsat Mini-M Digital
- Tipo *laptop*. (Voz, fax y datos de baja velocidad).datos a 2,4 Kbps.
- Inmarsat M4/IPDS Digital.

- Tipo transportable. Permite correo electrónico, acceso a Internet, acceso a redes locales, Video, Voz ,Fax y comercio electrónico, datos a 2,4 Kbps y 64 Kbps.

1.5.3.5. Uso comercial de la comunicación satelital

Las comunicaciones satelitales son ampliamente utilizadas. El uso más conocido de la mayoría de personas es la televisión, seguida de la Internet y la telefonía. También es posible la transmisión de estaciones de radio alrededor del mundo. Algunas empresas las usan para transferencia de datos privados entre sucursales alrededor del mundo, como los bancos u otras agencias financieras.

También existen sistemas capaces de ubicar sitios en cualquier parte del mundo mediante el GPS o Sistema de Posicionamiento Global, que además de indicarnos en donde estamos localizados, también pueden ser usados en equipos de localización de vehículos robados o simplemente para verificar rutas de transportistas.

1.5.3.6. Elementos requeridos en la operación

Para establecer un enlace de comunicación satelital debe contarse con varios elementos, desde que se transmite desde tierra hasta que se recibe de nuevo en tierra pasando por el satélite.

1.5.3.6.1. Estación receptora

Tiene como función captar señales desde el satélite hacia el usuario, por lo que no tiene la capacidad de transmitir. Se encuentra en tierra y necesita una antena para establecer el enlace. Debe tener gran sensibilidad para que las señales recibidas sean útiles. El tipo más común es el equipo doméstico utilizado para recepción de televisión.

La antena receptora capta las ondas electromagnéticas provenientes del satélite en una superficie parabólica y las refleja para concentrarlas en el foco de la parábola, donde se encuentra el alimentador.

Una buena antena, rechaza las interferencias al máximo. Los satélites poseen antenas receptoras y transmisoras. Al ajustar los patrones de radiación de las antenas se pueden cubrir regiones globales o en un solo un país, o bien, conmutar entre una gama de direcciones.

Es necesario que la potencia emitida sea alta para que la señal del satélite sea fuerte, dado que debe ser captada por la antena receptora.

1.5.3.6.2. Estación emisora

Cuenta con una antena en forma de parábola cuya función será transmitir hacia el satélite la señal generada en la estación. Además, se compone de un amplificador de gran potencia al que llega la información a transmitir, previamente modulada y conteniendo la información que se desea enviar.

Hace algunos años, las antenas receptoras eran grandes parábolas construidas con malla metálica como se ve en la figura 7.

Figura 7. **Antena parabólica de malla metálica**



Fuente: telali.com.pe. 8 de noviembre de 2010.

Hoy en día son mucho más pequeñas en diámetro como se muestra en la figura 8 y obviamente ya no son compatibles con los sistemas de comunicación de aquel entonces.

Figura 8. **Antena de plato**



Fuente: www1.clasipar.com. 8 de noviembre de 2010.

1.5.3.7. Aspectos favorables

- Permite la comunicación desde lugares remotos, donde no existen redes convencionales de telecomunicaciones.
- Se pueden establecer comunicaciones hacia y desde una red fija y entre terminales móviles.
- La comunicación se da en forma instantánea y confidencial.
- La cobertura del sistema llega a cualquier parte del mundo.
- Existen equipos portátiles y fáciles de usar que permiten la comunicación las 24 horas del día.

1.5.3.8. Inconvenientes

- No cualquier usuario puede ser propietario de la totalidad del equipo, se requiere rentar el espacio para alojar la comunicación en el satélite.
- El costo del uso de un satélite es elevado.
- En la actualidad se requieren equipos con tecnología digital para realizar el trabajo.
- La potencia consumida en la transmisión es elevada.

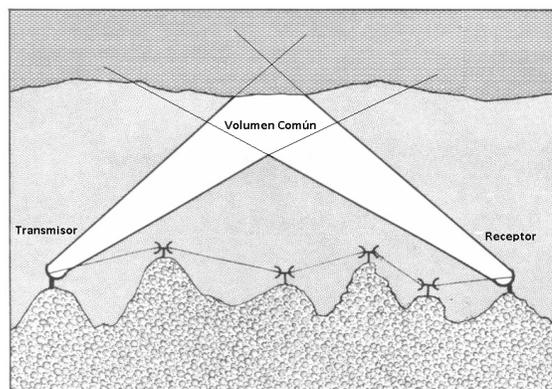
1.5.4. Difusión troposférica

Es la propagación de señales entre estaciones de comunicación a través de la troposfera, de modo que viajen más allá de la línea de vista. Este efecto a veces permite la recepción de estaciones de radio a más de 100 millas de distancia.

Es especialmente útil cuando la estación receptora se encuentra a varios cientos de kilómetros de la transmisora, por lo que la comunicación directa no es posible. Entonces, se envía la señal hacia la troposfera y allí se refracta y se dispersa.

Hay una región en donde se encuentran el haz de la antena transmisora con el de la receptora y se le conoce como volumen común. Cuando los dos haces se encuentran, se da el enlace. En la figura 9 se ilustra un enlace con reflexión en la troposfera y a su vez un enlace que podría darse usando repetidoras.

Figura 9. **Comparación entre tropo-dispersión y enlace con repetidoras**



Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/Tropospheric_scatter. 8 de noviembre de 2010.

El fenómeno ha sido usado para construir enlaces de comunicación en diversas partes del mundo. Grandes antenas enfocan un haz de radio de alta potencia hacia un punto medio en la troposfera entre el transmisor y el receptor. Cierta proporción de la señal es refractada y recibida en una antena similar en la estación receptora.

La figura 10 muestra un sistema de tropo-difusión de microondas TRC-170 del ejército de los Estados Unidos.

Figura 10. **Sistema de tropo-difusión TRC-170**



Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/Tropospheric_scatter. 10 de noviembre de 2010.

Existen dos configuraciones para los sistemas de difusión troposférica, la original tropo-pesada, y la más reciente tropo-liviana.

El sistema provee canales multiplexados y encriptación truncal, así como un gran número de extensiones telefónicas analógicas.

1.5.4.1. Difusión tropo-pesada

El equipo utilizado en este tipo de comunicación, está establecido en una base fija y normalmente es muy grande.

1.5.4.2. Difusión tropo-liviana

El equipo utilizado en este tipo de difusión es transportable, por lo que no puede ser muy pesado. Utiliza baterías y una antena desmontable.

1.5.4.3. Elementos requeridos en la operación

Se requiere inicialmente del equipo que se encargará de recibir los datos a transmitir por el usuario, teniendo entradas para voz así como para datos. Es necesario contar con un módem, cuya velocidad dependerá de las necesidades de la aplicación. Las antenas a utilizar, son preferentemente del tipo plato y estas serán antenas con un pequeño ángulo de apertura, dado que se requiere que sean más direccionales. Entre el amplificador y la antena, es necesario utilizar guías de onda aunque la distancia sea corta, como en el caso de los sistemas transportables.

1.5.4.4. Aspectos favorables

- No se requiere el uso de puntos de repetición ni satélites.
- El costo de operación sólo implica el consumo de potencia de los sistemas en funcionamiento.
- Es ideal para alcanzar grandes distancias (varios cientos de kilómetros).
- El rango de frecuencias en las que se puede operar el sistema es amplio, llegando hasta 10 GHz.

1.5.4.5. Inconvenientes

- A pesar de que con estos sistemas se consigue un gran alcance, su cobertura no llega a regiones tan lejanas como ocurre con los satélites.
- La inversión inicial para costear el equipo puede ser elevada.
- La calidad de las transmisiones puede verse afectada, aunque no significativamente, por las condiciones climáticas.

2. DIFUSIÓN IONOSFÉRICA Y TROPOSFÉRICA

2.1. Conceptos involucrados

Para poder comprender los procesos de difusión de ondas en la atmósfera, particularmente en la ionosfera y en la troposfera, es necesario conocer y comprender varios conceptos explicados a continuación.

2.1.1. Pérdida en ruta o atenuación en ruta (*path loss*)

Es la reducción de la densidad de potencia (atenuación) de una onda electromagnética mientras se propaga a través del espacio. Esta pérdida es un componente significativo en el diseño de enlaces en sistemas de telecomunicaciones.

Este término es comúnmente usado en comunicaciones inalámbricas y propagación de señales. La pérdida en la ruta puede deberse a muchos efectos, tales como la pérdida de espacio libre, refracción, difracción, reflexión, medio de apertura, pérdida de acople, y absorción.

La pérdida también es influenciada por el contorno del terreno, el entorno (urbano o rural), el medio de propagación (seco o húmedo), distancia entre receptor y transmisor y la altura y localización de las antenas utilizadas.

Las causas normalmente incluyen pérdidas de propagación causadas por la expansión natural del frente de onda de radio en el espacio libre; pérdidas de absorción, cuando la señal pasa a través de un medio no transparente; pérdidas de difracción, cuando una porción del frente de onda de radio es obstruida por un obstáculo opaco; etc.

La señal radiada por un transmisor también puede viajar a través de muchos y diferentes caminos a la vez hacia un receptor. A este efecto se le llama multi-ruta. Las ondas multi-ruta se combinan en la antena receptora, resultando en una señal que varía ampliamente. La siguiente fórmula simplificada se usa para calcular la pérdida en ruta (en decibelios) entre dos antenas isotrópicas en el espacio libre.

$$L = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)$$

Donde L es la pérdida en Ruta en decibelios, λ es la longitud de onda, y d es la distancia entre el transmisor y el receptor.

2.1.2. Comunicación mas-allá-del-horizonte

Conocida en inglés como *Beyond-The-Horizon Communication*. Se refiere a la transmisión de ondas de radio a distancias lejanas, más allá de la línea de visión utilizando potencias altas y grandes antenas transmisoras para proyectar las señales hacia la atmósfera y utilizando antenas similares para la recepción, con el objetivo de captar la pequeña porción de la señal que ha sido dispersada por la atmósfera.

También se le conoce como propagación hacia delante (*forward-propagation*) o propagación sobre el horizonte. Los medios utilizados para llevarla a cabo, implican el uso de equipos que se encargarán de enfocar las señales hacia diferentes regiones de la atmósfera dependiendo del alcance que se desee conseguir.

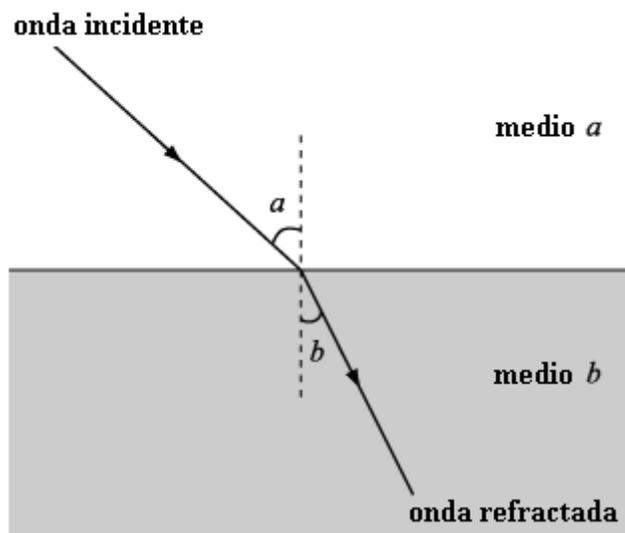
2.1.3. Refracción atmosférica

La refracción es un fenómeno que se da cuando una onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de dos medios, y esto hace que cambie de dirección y velocidad. Parte de la onda incidente se refleja, y otra se refracta, así que en el fenómeno se tienen tres tipos de ondas, la incidente, la reflejada y la refractada, que se encuentran en el mismo plano.

Los ángulos de incidencia y reflexión son iguales. El de refracción depende de la diferencia en las densidades de los medios adyacentes. Si la onda pasa de un medio menos denso a uno más denso, el ángulo de refracción será más pequeño que el ángulo de incidencia, y si pasa de uno más denso a uno menos denso, el ángulo de incidencia será menor que el de refracción.

En la figura 11, se muestra el efecto de la refracción al pasar de un medio a otro.

Figura 11. Efecto de la refracción al pasar de un medio a otro



Fuente: www.weather.nps.navy.mil. 10 de noviembre de 2010.

La refracción atmosférica es la desviación de las ondas debido a los cambios en la densidad del aire en función de la altitud. Perpendicular al horizonte, la refracción es cero, es menor a $1'$ a una inclinación de 45 grados y es de alrededor de $34'$ en el horizonte.

Las diferentes capas de la atmósfera tienen diferentes densidades y esto hace que al enviar ondas electromagnéticas hacia ella, éstas experimentarán refracción al pasar de la troposfera (la capa más baja) a la estratosfera y de la estratosfera a la siguiente, etc.

La velocidad de la onda es ligeramente menor en el aire que en el vacío, donde el índice de refracción es igual a 1. La refracción del aire (N) varía entre $N_0 = 290$ y $N_0 = 400$ en la superficie de la tierra, dependiendo de la temperatura, humedad y presión.

2.1.4. Recepción en diversidad

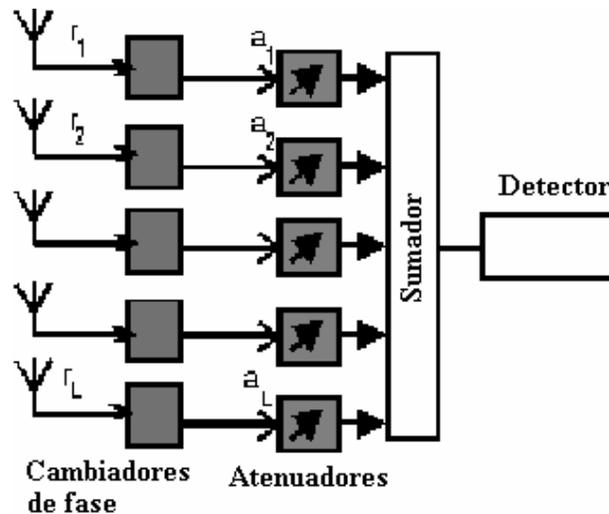
Una señal transmitida a una frecuencia portadora particular, y en un instante de tiempo particular, puede ser recibida con una anulación multi-ruta. La recepción en diversidad reduce la probabilidad de ocurrencia de fallos en la comunicación causados por desvanecimientos al combinar muchas copias del mismo mensaje recibidas a través de diferentes canales. En general, la eficiencia de las técnicas de diversidad se reduce si el desvanecimiento de la señal es correlacionada en diferentes ramificaciones.

Existen métodos para obtener múltiples réplicas de las señales: en la diversidad de antena, las señales de antenas montadas en locaciones separadas, son combinadas. Típicamente, estas antenas se localizan en la misma torre, separadas unas cuantas longitudes de onda. La amplitud de la señal recibida es correlacionada dependiendo de la separación de las antenas relacionada con la longitud de onda.

En una estación base, las antenas deben estar separadas mucho más lejos que la fracción de longitud de onda requerida para una estación móvil.

La figura 12 muestra un receptor en diversidad con una antena de L ramas ($L=5$).

Figura 12. Diagrama en bloques de un receptor en diversidad cuádruple



Fuente: www.wireless.ictp.it. 10 de noviembre de 2010.

En la diversidad en sitio, las antenas receptoras están localizadas en diferentes sitios de recepción. La ventaja de este método es que no solo la atenuación por desvanecimiento debido a la multi-ruta es independiente en cada rama sino que el ensombrecimiento y las pérdidas de ruta tampoco están correlacionadas en cierta medida.

La diversidad de polarización aprovecha el hecho de que los obstáculos dispersan las ondas de manera diferente dependiendo de su polarización. Sólo se necesita que en una de las ramas, las ondas recibidas no se cancelen entre sí, resultando en una señal relativamente fuerte.

En la diversidad de tiempo y frecuencia, el mismo mensaje es transmitido más de una vez, respectivamente a diferentes frecuencias de portadora y diferentes instantes de tiempo.

Para la diversidad de ángulo, se necesita una antena parabólica dotada con dos o más focos, que reciben señales con diferentes ángulos de llegada. La correlación disminuye con un aumento en la diferencia de ángulos de llegada. Varias técnicas son conocidas para combinar las señales provenientes de ramas diversas.

- Diversidad de selección pura. Ésta selecciona la rama de la antena con la mayor relación señal-ruido.
- Diversidad de umbral. Una forma especial de diversidad de selección que es menos costosa de implementar.
- Combinación con iguales ganancias. Mejor que la diversidad de selección y es poco compleja en términos de procesamiento de señal.
- Combinación con relación máxima. Para sistemas sin interferencia, tiene la mejor relación señal-ruido.

2.1.5. Banda Ku y sus características

La banda Ku (*Kurtz-under*) es mayormente utilizada para comunicaciones satelitales, en especial para la transmisión de televisión. Esta banda se parte en múltiples segmentos y comprende frecuencias en el rango de las microondas, variando desde 11,7 a 12,7 GHz (frecuencias de bajada) y 14 a 14,5 GHz (frecuencias de subida).

La región 2 de la banda, cubre la mayor parte del continente Americano y se encuentra entre 11,7 y 12,2 GHz. Cada *transponder* provee un ancho de banda de 27 MHz.

La Región 1 se utiliza para África y Europa (11,45 a 11,7 GHz y 12,5 a 12,75 GHz) y su rango de frecuencias para subida va de 14,0 a 14,5 GHz.

2.1.5.1. Dificultades

Cuando se transmiten y reciben frecuencias superiores a 10GHz en áreas donde la lluvia es fuerte, ocurre una degradación notable que es causada por y proporcional a la cantidad de lluvia y es comúnmente conocida como rain fade o desvanecimiento por lluvia. A pesar de lo anterior, hay formas de combatir este problema, como incrementar la potencia de transmisión, por ejemplo. La precipitación de nieve en áreas donde se da este fenómeno atmosférico, también puede afectar las transmisiones, debido a que la acumulación de nieve en el plato de la antena puede alterar el punto focal.

Los servicios que se pueden encontrar en la banda Ku incluyen redes educacionales, redes de negocios, tele-conferencias, transmisiones de estaciones de noticias móviles, y varias transmisiones SCPC (único canal por portadora) de audio análogo así como servicios de audio de FM.

Si ya se cuenta con un sistema para la banda C en operación, es posible adaptarlo para aceptar frecuencias en la banda Ku. Se necesita un alimentador para banda C/Ku y cable coaxial para el LNB (convertidor de bloque de bajo ruido) de banda Ku. El cable coaxial ideal recomendado para tener baja pérdida en rango de frecuencias 950-1450MHz es el RG-6.

2.1.5.2. Compatibilidad e importancia de la antena de plato

Si se cuenta con un plato sólido, no debe existir problema para convertir de la banda C a la banda Ku. De cualquier forma, si se tiene un plato de malla, debe cuidarse de que los agujeros no sean mayores a un cuarto de pulgada, pues de ser así, las señales en la banda Ku no se reflejarán apropiadamente.

Adicionalmente, es más conveniente el montaje H2H (Horizonte a Horizonte) que un montaje polar, pues el movimiento del montaje H2H permite que la antena se desplace de horizonte a horizonte de acuerdo a la órbita del satélite, considerando que la banda Ku así lo demanda.

La forma parabólica del plato, como la mostrada en la figura 13, es de suma importancia para evitar desvíos en la reflexión que causan degradación de la señal y a la vez, reducen el desempeño total del sistema. Si se evidencia que el plato ha perdido la forma de parábola por golpes u otras circunstancias, será necesario darle la forma de nuevo o incluso, reemplazarla.

Figura 13. Antena de plato sólido



Fuente: <http://www.showstopper.co.nz/winegard.jpg>. 15 de noviembre de 2010.

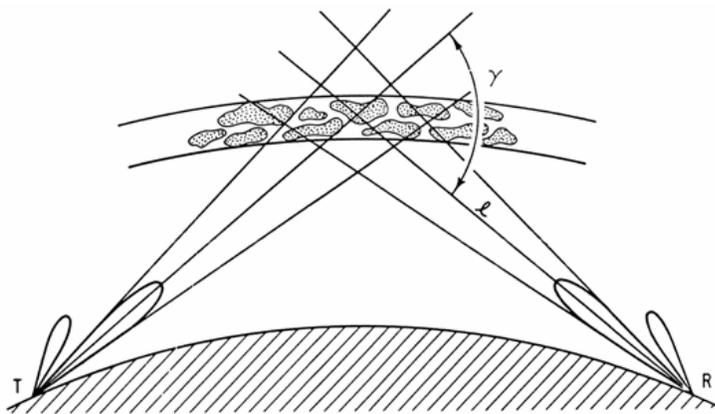
2.2. Difusión ionosférica

Se refiere a la dispersión de ondas de radio en la ionosfera debido a irregularidades en la distribución de electrones, lo cual causa cambios en el índice de refracción. La difusión es más pronunciada en la región D entre 60 y 90 km y es mejor de 30-60 MHz.

Es un mecanismo de propagación disponible las 24 horas del día similar a la difusión meteórica pero la difusión ionosférica transporta una señal débil continua y no tiene las explosiones en la intensidad de la señal características de la difusión meteórica.

El alcance de este tipo de difusión comienza en más o menos 900 km y se extiende hasta casi 2000 km. La figura 14 muestra la geometría de la dispersión frontal en la región D. γ es el ángulo a través del cual el haz se dispersa; l es la distancia entre el volumen de dispersión y el receptor R.

Figura 14. **Geometría de la dispersión frontal en la región D**



Fuente: http://www.qsl.net/oz1rh/ionoscatter/ionoscatter_lecture_2002.htm. 15 de noviembre de 2010.

2.2.1. Condiciones atmosféricas

La dispersión ionosférica no es significativamente afectada por las condiciones atmosféricas, es decir, estas condiciones no comprometen el mantenimiento de un enlace. Sin embargo, fenómenos como la lluvia alteran la densidad del aire en la troposfera y hacen que las ondas electromagnéticas provenientes de una estación terrena se dispersen en diferentes direcciones, incluso que vuelvan al suelo antes de lo esperado, lo que provocará una atenuación considerable.

Dependiendo de la frecuencia, algunas señales serán más inmunes que otras ante el desvanecimiento provocado por el entorno. Las altas frecuencias causan menos dispersión y menos ruido cósmico.

La altura de la capa D varía a lo largo del día. Llega a 60 km durante el período de luz y 90 km en la noche, consiguiéndose con esto un alcance mayor aunque no con mucha fuerza. La mejor intensidad de señal se consigue al mediodía.

2.2.2. Requerimientos del terreno

No es necesario que las estaciones base (transmisora y receptora) se encuentren en una posición elevada. Dependiendo de las necesidades, es posible que se deba usar una locación libre de obstáculos visibles en el camino de la señal. La presencia de montañas en la cercanía de la estación puede causar interferencias en la ruta del haz electromagnético.

Si el ángulo de radiación es elevado, no importa la geografía en los alrededores, y se obtiene un alcance de unos 1000 km. Para un alcance mayor, el ángulo de radiación debe ser menor y deben considerarse los obstáculos. En este último caso, el alcance es de 1,800 a 2,000 km, sin embargo, una distancia tan grande reduce significativamente la intensidad de la señal, así que es mejor alrededor de 1200 km.

2.2.3. Requerimientos del equipo

Un enlace de radio completo, cuenta con un transmisor, un medio de propagación y un receptor.

El transmisor debe contar con los siguientes elementos:

- Potencia de salida de 40 a 50 KW.
- Frecuencia portadora entre 40 y 60 MHz
- Amplificadores altamente selectivos con filtros pasa-banda estrechos.
- Antena de tipo parabólica o parábola cilíndrica como la mostrada en la figura 15.
- Del amplificador a la antena, uso de cable coaxial como el mostrado en la figura 16 o guía de onda de acuerdo a la frecuencia y potencia a utilizar (según especificaciones del fabricante).

Figura 15. **Antena de tipo cilindro parabólico**



Fuente: <https://e7.eiscat.se/raw/vhf.jpeg>. 15 de noviembre de 2010.

Figura 16. **Cable coaxial con cubierta exterior sólida**



Fuente: www.certificationzone.com. 15 de noviembre de 2010.

2.2.4. Descripción del proceso

La comunicación comienza generando las señales que se desea transmitir (datos, audio, etc.)

Se modula la portadora que se utilizará (preferentemente usando 50 MHz).

Se amplifica la señal para asegurar que llegue a su destino con suficiente intensidad, es decir, entre 40 y 50 kW de potencia para aplicaciones comerciales o militares y alrededor de 5 kW para aficionados.

La estación transmisora envía el haz electromagnético a la atmósfera a través de la antena transmisora que puede ser una parabólica o incluso una yagi.

A cierta altura (Capa D en la ionosfera), las ondas se dispersan en varias direcciones, algunas incluso viajan de regreso al sitio de transmisión. Pero las que son de interés llevan la dirección del receptor, aunque no todas en la misma ruta.

Algunas llegan antes y otras después en diferentes intervalos, esto hace que la intensidad de la señal recibida sea mucho más débil que la transmitida. Para corregir esta atenuación se puede utilizar la recepción en diversidad, que consiste en recibir diversas porciones de la señal en diferentes antenas y luego corregir el desfase entre ellas para luego sumarlas y conseguir una sola de mayor intensidad.

El receptor está tan distante del transmisor que no existe línea de visión entre los dos puntos y de ahí la utilidad de la dispersión en la ionosfera.

2.3. Tropo difusión

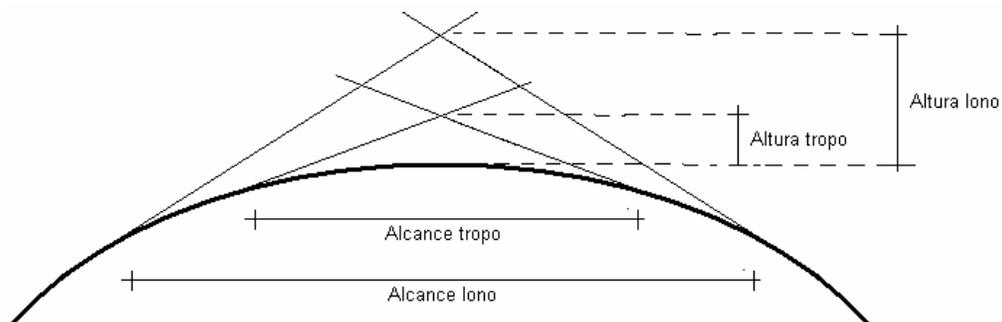
Esta forma de comunicación nació hace varias décadas y comenzó a ser usada por el ejército de los Estados Unidos para enlazar bases sin utilizar los medios de comunicación que estaban disponibles para uso comercial.

Originalmente, la transmisión era análoga y requería gran potencia. En la actualidad existen sistemas digitales, incluso con encriptación para proteger los datos y la eficiencia de los equipos ha hecho que la potencia requerida sea menor, permitiendo la fabricación de equipos transportables.

Al igual que la dispersión ionosférica, su forma de hacer llegar la información a sitios mas allá del horizonte, se basa en la dispersión de la onda electromagnética, pero esta vez, tal dispersión tiene lugar en la misma troposfera y su consecución depende en gran parte del ángulo de radiación, dado que a un ángulo elevado, las ondas pasan a la ionosfera.

Hay que recordar que la troposfera es la capa de la atmósfera más cercana al suelo, así que es de esperarse que el alcance sea menor que en la dispersión ionosférica, considerando la geometría del triangulo formado por el haz incidente y el reflejado, como lo muestra la comparación en la figura 17.

Figura 17. **Comparación de alcances entre difusión ionosférica y troposférica**



Fuente: elaboración propia.

2.3.1. Condiciones atmosféricas

Los efectos de la curvatura troposférica dependen significativamente del clima, esto se comprueba al notar que las señales de televisión en la banda UHF son afectadas ocasionalmente por la interferencia de señales distantes.

Existen masas de aire con un índice de refracción ligeramente distinto que se encuentran en constante movimiento y por lo tanto, causan que haya distintas temperaturas en una misma región. Estas masas de aire reflejan y curvan las señales y pequeñas porciones de la señal son devueltas a la tierra en distintos momentos, así que la temperatura, humedad, presión y densidad del aire pueden alterar el fenómeno de la transmisión.

2.3.2. Requerimientos del terreno

Dado que el ángulo de radiación del transmisor debe ser de alrededor de cero grados o menos si es posible, se hace evidente que la comunicación no será posible si la estación se encuentra situada en un sitio rodeado de obstáculos tales como edificios, montañas o muchos árboles. Por esta razón, es un requisito que tanto la estación transmisora como la receptora se encuentren elevadas y/o libres de obstáculos físicos entre la antena y el horizonte.

Si las antenas se encuentran en la orilla del mar o sobre él, la elevación no se hace necesaria, de lo contrario, es necesario contar con una torre para el montaje o ubicar la estación sobre un terreno elevado.

2.3.3. Requerimientos del equipo

Para completar un enlace de tropo difusión, se requieren varios elementos desde el transmisor hasta que se completa la recepción del mensaje original.

2.3.3.1. Multiplexor

Es utilizado para combinar diferentes fuentes de información, tales como teléfono, teletipo, líneas de datos, etc. dentro de una banda base.

2.3.3.2. Modulador

Convierte la información creada a una frecuencia apta para viajar en el espacio en forma de ondas electromagnéticas.

2.3.3.3. Amplificador de RF

El amplificador de radiofrecuencia debe tener una capacidad de amplificación dependiente de las necesidades del usuario. Puede ser tan potente como 100 KW para estaciones fijas y aún operar a potencias tan bajas como 1 KW para estaciones móviles, ya que estas no pueden transportar grandes fuentes de poder ni pesados bancos de baterías.

Es importante recordar que los amplificadores deben soportar frecuencias que llegan hasta la banda de 4,4-5,0 GHz.

Hay ocasiones en las que es necesario montar el amplificador a la intemperie, especialmente cuando no es viable utilizar grandes cantidades de conductor para llegar a la antena, como se verá en la descripción del cable.

Existen en el mercado amplificadores capaces de cumplir con esta exigencia. El que se muestra en la figura 18 está diseñado para trabajar con dispersión troposférica en la banda C (4,4 – 5,0 GHz), entrega 400 watts de potencia y se encuentra encapsulado en una cubierta resistente y a prueba de agua. Este amplificador es apto para trabajar con señales digitales y puede operar a temperaturas de hasta 50°C. Es capaz de ser monitoreado y diagnosticar fallas a control remoto.

Figura 18. **Amplificador para intemperie de 400 Watts**



Fuente: <http://www.cordi.com>. 19 de noviembre de 2010.

2.3.3.4. Cable coaxial

Debe ser de preferencia del tipo RG6, LMR o Heliac de 5/8" a 7/8" como el mostrado en la figura 19, si el trayecto del amplificador a la antena es mayor a 200 pies, Heliac es la mejor opción.

Figura 19. **Cable coaxial AL5-50 de 7/8” con exterior de aluminio**



Fuente: <http://awapps.commscope.com/catalog/andrew/catalog.aspx>. 23 de noviembre de 2010.

Tabla II. **Pérdida y Potencia promedio para el cable coaxial AL5-50 de 7/8” con exterior de aluminio**

Frecuencia (MHz)	Atenuación (dB/100 m)	Atenuación (dB/100 ft)	Potencia promedio (kW)
824	3,73	1,14	2,1
894	3,90	1,19	2,0
960	4,06	1,24	1,9
1000	4,15	1,26	1,9
1250	4,68	1,43	1,7
1500	5,18	1,58	1,5
1700	5,55	1,69	1,4
2000	6,08	1,85	1,3
2300	6,57	2,00	1,2
2700	7,19	2,19	1,1
3000	7,64	2,33	1,0
4000	9,01	2,75	0,9
5000	10,30	3,13	0,8

Fuente: <http://awapps.commscope.com/catalog/andrew/>. 23 de noviembre de 2010.

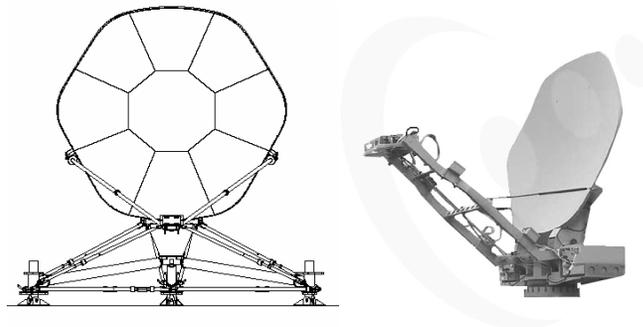
Los tipos de cable mencionados anteriormente, ofrecen una baja pérdida por atenuación, sin embargo el costo es elevado (poco más de \$20,00 por metro), por esta razón y también debido al aumento de la atenuación por metro, se recomienda hacer el trayecto lo más corto posible e incluso, montar los amplificadores de potencia justo antes de la antena. Adicionalmente, es mejor utilizar antenas con alta ganancia.

2.3.3.5. Antena transmisora

Para transmitir las señales en un sistema tropo, debe tomarse en cuenta que una antena con baja directividad, enviará la señal a un área muy extensa del firmamento y esto hará que la dispersión sea mayor y por lo tanto, la atenuación también sea mayor.

Así que se debe contar con antenas de alta ganancia y también alta directividad. Entre los tipos de antena con mayor directividad se encuentran la parabólica, como la mostrada en la figura 20 y la Yagi como la mostrada en la figura 21.

Figura 20. **Antena parabólica para difusión troposférica**



Fuente: www.gdsatcom.com/Troposcatter. - www.satcomresources.com. 3 de diciembre de 2010

Figura 21. **Antena Yagi de cinco elementos**



Fuente: www.radio-modules.com. 3 de diciembre de 2010.

2.3.3.6. **Antena receptora**

Normalmente es de tipo parabólica y si se utiliza en la recepción la diversidad de antena o espacio, entonces es necesario usar dos o más antenas receptoras como se ve en la figura 22, ahora bien, cuando se usa la diversidad de ángulo, se necesita contar con una antena de dos o más iluminadores.

Figura 22. **Receptor en diversidad dual (dos antenas receptoras)**



Fuente: <http://militaryforces.ru>. 7 de diciembre de 2010.

2.3.3.7. Guía de onda o cable

Se usa el mismo tipo que en el transmisor. Es preferible que el tipo y la longitud sean los mismos para que la pérdida por atenuación sea igual. De este modo, el cálculo se hará basado en el total del recorrido. En la figura 23 se muestra una guía de onda elíptica.

Figura 23. **Guía de onda elíptica**



Fuente: <http://awapps.commscope.com/catalog/andrew/catalog.aspx>. 10 de diciembre de 2010.

2.3.3.8. Red de filtrado

Es necesaria para discriminar las señales no deseadas y seleccionar aquellas que se encuentran dentro del rango de interés del usuario.

2.3.3.9. Convertidor de bajada

Traslada en frecuencia la señal recibida, que normalmente se encuentra en el orden de los GHz a una frecuencia más manipulable definida por un oscilador local en el receptor. Esta frecuencia es conocida como frecuencia intermedia o FI.

La conversión es necesaria por varias razones. Una de ellas es que a altas frecuencias, los amplificadores se vuelven inestables. Los circuitos de procesamiento de señales se desempeñan pobremente. Otra razón es que interesa recibir varias señales con distintas frecuencias, no es práctico tener un amplificador, un filtro y un detector para cada una de ellas, así que se prefiere tener una frecuencia en común para todas las señales.

2.3.3.10. Amplificador de FI

Es un amplificador de radiofrecuencia que trabaja en un rango fijo, es decir que no puede sincronizarse a varias frecuencias. Su ancho de banda es limitado y siempre amplifica la misma banda. A la frecuencia intermedia se le llama así porque se encuentra en alguna región intermedia entre la frecuencia de la portadora y la frecuencia de la señal del mensaje.

2.3.3.11. Demodulador

Detecta y recupera la información que viaja en la portadora. A su salida debe presentarse una señal de iguales características a la que fue modulada en el lado del transmisor, es decir, la banda base. Debe ser selectivo para no entregar frecuencias que se encuentren fuera de la banda para la que trabaja.

2.3.3.12. Demultiplexor

Se encarga de direccionar cada uno de los mensajes contenidos en la línea de entrada al conmutar entre diversas salidas para distribuir igual número de paquetes de información.

Por la entrada pasan todos los mensajes multiplexados provenientes del demodulador. Cada una de sus salidas es llevada a un circuito adicional que finalmente las procesa para convertirlas en información útil.

2.3.4. Descripción del proceso

Se inicia cuando la señal que deseamos transmitir (sonido o datos) se hace pasar por el multiplexor para ser colocada en la banda base. Posteriormente, se modula a la frecuencia que será su portadora, la cual puede ir desde 144 MHz hasta alrededor de 10 GHz. Se lleva al amplificador de potencia de RF, que puede ser de al menos 50 Watts, para luego ser radiada por la antena, que normalmente es de tipo parabólica.

Habiendo transmitido la señal, cuya dirección ha sido previamente seleccionada, ésta comenzará a encontrar turbulencias en el medio que se comparan con minúsculos obstáculos en su ruta. Estas turbulencias tienen una cualidad refractiva que permite la dispersión de ondas de radio con longitudes de onda cortas. Cada pequeña partícula que obstruye la ruta de la señal, hace que la misma cambie su dirección, terminando así dispersa en múltiples direcciones, que luego serán alteradas de nuevo una y otra vez, haciendo que la totalidad de la señal pierda intensidad, pero estos cambios de dirección no son del todo malos, pues permiten que la señal viaje mas allá del horizonte.

Las ondas electromagnéticas no son visibles, pero para entender mejor el proceso, debe imaginarse la transmisión como un haz de luz en forma de cono de modo que la intensidad es mayor donde el radio es menor y disminuye a medida que el radio aumenta.

El haz electromagnético alcanza una altura de alrededor de 10 km. y en esa región se encuentra con un haz imaginario asociado a la antena receptora. Esta región de encuentro se conoce como volumen común.

Idealmente, el volumen común se encuentra en un punto intermedio entre el receptor y el transmisor, pero no necesariamente tiene que ser así. Es posible tener una ruta transmisor-volumen común-receptor asimétrica. Lo que debe procurarse es que la línea de vista entre la estación y este punto intermedio se encuentre muy cercana al horizonte.

Las señales que la antena receptora logra captar desde el volumen común son muy débiles y llegan con diferencias en fase, frecuencia y espacio, por lo que individualmente no son muy útiles.

Para corregir ese problema, se usa la recepción en diversidad mencionada con anterioridad. Su objetivo es reunir la mayor cantidad de porciones de la señal como le sea posible para compensar la atenuación y pérdida-en-ruta. Habiendo reunido las pequeñas muestras, las combina para formar una sola.

Luego de que las señales llegan a la o las antenas receptoras, un cable coaxial o una guía de onda de iguales características a la del transmisor, las hace llegar a los circuitos de procesamiento.

La combinación de réplicas de la señal captada se hace pasar por una red de filtrado y un convertidor de bajada; luego por un amplificador de FI; posteriormente por un demodulador y finalmente por un demultiplexor para separar los distintos mensajes contenidos.

Existen dos tipos principales de sistemas para establecer un enlace de tropo-difusión, la tropo-liviana y la tropo-pesada.

2.3.5. Tropo-liviana

Es un sistema transportable que requiere vehículos especiales dotado con bancos de baterías y capaz de soportar el peso de las antenas. Su principal función es llevar la comunicación a lugares donde es muy difícil construir bases formales e instalar antenas de varios metros de diámetro, sin olvidar la necesidad de flujo eléctrico en el lugar. También es muy útil cuando van a realizarse operaciones que requieren enlaces de larga distancia en lugares inhóspitos por un período corto y que, aun cuando las condiciones de acceso son favorables, no vale la pena invertir en instalaciones fijas para un uso temporal.

Algunos de estos sistemas cuentan con antenas parabólicas de poco más de 2 m de diámetro, y otros, ofrecen antenas desplegadas para alcanzar un diámetro mayor, así como mástiles extensibles para elevar las antenas.

Considerando las características anteriores, debe entenderse que tener un sistema transportable no necesariamente quiere decir que puede usarse en movimiento o que simplemente puede detenerse el vehículo y comenzar a usarlo. En realidad se necesita tiempo (unas horas) para montar las partes móviles y hacer la instalación. Incluso será necesario fijar tensores al suelo para sostener los mástiles de las antenas. En la figura 24 se muestra un equipo transportable (liviano) de tropo-difusión. Nótese que el operador se encuentra de pie al lado derecho del vehículo, para compararlo con la altura del mástil.

Figura 24. **Equipo TRC – 170 instalado con antena en mástil**



Fuente: <http://outdoors.webshots.com/photo/1127470837053759776vxBdod>. 12 de diciembre de 2010.

2.3.6. Tropo-pesada

Para este sistema se usan equipos montados en bases fijas con grandes antenas inamovibles e instalaciones eléctricas formales. Usualmente se ubican en puntos remotos, es decir, donde no hay telefonía celular y se hace necesario mantener enlaces por un período prolongado.

Existe en el mercado un sistema capaz de conmutar entre el uso de satélites y la tropósfera como medio de propagación, en caso de que el ancho de banda de los satélites esté muy ocupado. Su nombre es DART-T o Terminal táctica re-ubicable para toda banda de modo dual. También tiene la capacidad de transmitir datos y video en tiempo real (sin retraso).

Dado que la terminal puede ser re-ubicada de acuerdo a las necesidades de operación, se encuentra montada en un vehículo como se aprecia en la figura 25.

Figura 25. Equipo de tropo-difusión DART-T usado por el ejército de Estados Unidos



Fuente: www.raytheon.com. 16 de diciembre de 2010.

3. APLICACIONES

Surge en ocasiones el cuestionamiento: ¿por qué usar tropo-dispersión en lugar de comunicaciones satelitales o microondas convencionales? Porque para aplicaciones mas-allá-del-horizonte con rutas de más de 200 km, los satélites son una opción muy costosa. Los sistemas de microondas convencionales requieren múltiples sitios de repetición para cubrir las rutas más allá de la línea de visión, y los equipos para estos sitios podrían ser difíciles de instalar en áreas hostiles.

3.1. Transferencia de datos

Para ilustrar un ejemplo, se presentan las características de un enlace de tropo-dispersión que se utilizó por muchos años entre Cuba y Estados Unidos (en Florida). Éste operaba a 900 MHz usando dos transmisores de 10 Kw cada uno, con un ancho de banda análogo que bastaba para soportar 900 circuitos de teléfono y una señal de video en blanco y negro.

Como se puede ver en la figura 26, las dimensiones de las antenas, fácilmente sobrepasaban los 10 metros de altura y el equipo ocupaba un cuarto entero para su instalación.

Figura 26. **Antenas y cuarto de control del enlace Cuba-Florida**



Fuente: www1.shore.net/~mfoster/Florida_City.htm. 23 de diciembre de 2010.

Existe una Terminal de radio para microondas llamada AN/TRC-170(V), que provee conexiones troncales digitales y seguras entre nodos de redes de comunicación.

También existe una interfase de Terminal que puede ser usada en aplicaciones solitarias, es decir, como un enlace de control no asociado a un control técnico.

Los enlaces TRC-170 pueden acarrear tráfico dedicado para incluir canales análogos y digitales, circuitos de comunicación punto-a-punto y circuitos de facsímil y teletipo.

Los sistemas AN/TRC-170 son terminales completas que pueden ser usadas totalmente para dispersión troposférica o bien para enlaces en línea-de-visión. Dichos sistemas incluyen antenas, equipo de transmisión y recepción de radio, así como equipo de multiplexión digital.

También se incluyen instalaciones para la transmisión de voz y datos y equipo de pruebas incorporado capaz de reportar fallas automáticamente. Equipo adicional es suministrado con un sistema de encriptado cuando la confidencialidad de los datos a transmitir podría verse comprometida. No se incluye una fuente de alimentación primaria.

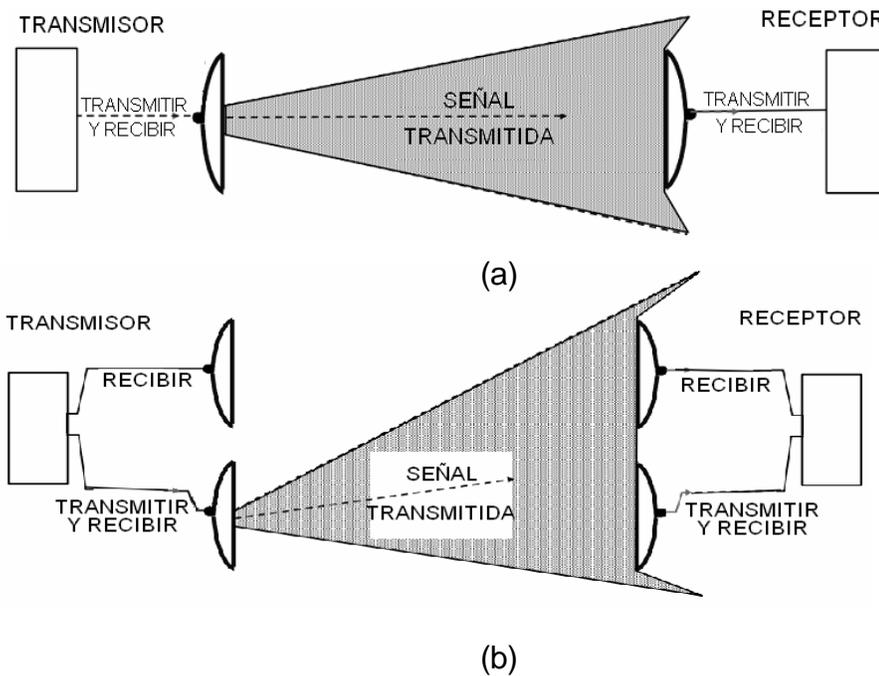
El montaje y desmontaje del equipo puede ser realizado rápidamente por un número reducido de técnicos, dado que puede ser deseable para el usuario tenerlo en funcionamiento durante un lapso corto y luego llevarlo a otro lugar.

Existen tres variantes para el sistema TRC-170, la versión V2, V3 y la V5.

La V2 usa diversidad cuádruple y la V3 y V5, diversidad doble. Es de recordar que la diversidad cuádruple no necesariamente quiere decir que se deben usar cuatro antenas, pues puede combinarse la diversidad en espacio con la diversidad en frecuencia. La diferencia entre la versión V3 y la V5 es que la V3 usa una antena de 6 pies de diámetro y la V5 usa una de 8 pies.

En la figura 27(a) se ve el diagrama de un enlace usando la línea de visión (no usando diversidad) y en la 27(b) se muestra el uso de la doble diversidad con 2 antenas para recibir.

Figura 27. (a) Enlace en línea de visión. (b) Enlace usando doble diversidad de espacio.



Fuente: <http://www.inetgiant.co.uk/tags/space-diversity>. 23 de diciembre de 2010.

Ambas terminales en el sistema tienen tráfico en modo bi-direccional, estos sistemas son conocidos como *full-duplex*. También mejoran la calidad de la transmisión usando dos antenas y dos receptores para proveer recepción con diversidad de espacio. En adición a la característica de diversidad de espacio, la Terminal V2 usa un segundo amplificador de potencia y dos receptores adicionales para lograr la diversidad de frecuencia y/o polarización.

Para la diversidad de frecuencia, los dos amplificadores de potencia operan a frecuencias separadas dentro de la banda de 4,4 a 5,0 GHz. Los dos receptores adicionales, de nuevo operando en una configuración de diversidad de espacio, son sintonizados a la segunda frecuencia transmisora de la Terminal remota.

Para la diversidad de polarización, un transmisor se envía verticalmente polarizado y el otro, horizontalmente polarizado. Ambos transmisores llevan la misma frecuencia pero se envían con una relación a tierra distinta.

En el extremo receptor, el demodulador calcula la tasa de error de bits (BER por sus siglas en inglés) y reporta el número.

La operación en radiofrecuencia (RF) tanto para el transmisor como para el receptor, está en el rango de frecuencias de 4,4 a 5,0 GHz con un ancho de banda seleccionable de 3,5 o 7,0 MHz. La tasa de transmisión de datos puede ir desde 128 KB/s a 4608 KB/s y la modulación que usan es la codificación BPSK o QPSK.

Ambos equipos en el enlace usan dos antenas cuando operan en doble diversidad. Una de ellas se usa para transmisión y recepción y la otra, sólo para recepción, es decir que al transmitir se emplea una sola antena y al recibir se usan dos.

En todos los modelos es posible no utilizar la recepción en diversidad, pero debe saberse que esto reduce la capacidad de recepción. En los casos en donde el equipo se usa en línea de visión, no representa ningún problema.

Figura 28. **Enlace con dos antenas usando el equipo AN/TRC-170(V)**



Fuente: www.fas.org/man/dod-101/sys/ac/equip. 27 de diciembre de 2010.

El AN/TRC-170(V) instalado en el enlace mostrado en la figura 28, es capaz de proveer conectividad a una combinación de hasta 32 canales análogos (incluyendo FSK) o digitales y hasta 4 grupos truncales digitales. Conviene mencionar que sólo opera en modo punto-a-punto, es decir, de un punto a otro. El propósito primario es enlazar dos nodos distantes entre 100 y 150 millas. Esto depende de la versión del sistema, el tipo de antena y el perfil de la ruta de RF, el cual debe ser calculado usando una herramienta de software para análisis de sitio.

Parámetros como la longitud de la ruta, el perfil de la ruta (colinas, montañas, edificios u otros obstáculos), tasa de transmisión de datos, potencia (hasta 1,8 KW), diversidad del receptor y condiciones atmosféricas, afectarán el alcance de la transmisión.

Es importante saber que a medida que aumenta la tasa de datos, la distancia soportable de ruta disminuye.

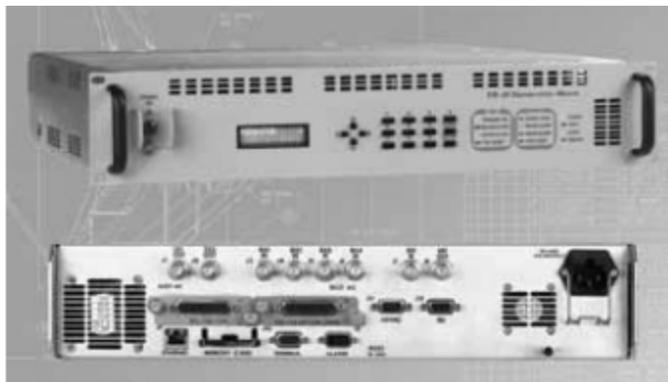
Una empresa norteamericana llamada *Radyne*, en conjunto con *General Dynamics C4 Systems*, ha desarrollado un módem considerado parte de la nueva generación de dispositivos para la transmisión de datos a través de un enlace tropo. La tasa de transferencia máxima de este módem es de 20 Mbps y el espacio que ocupa es mucho menor a lo que en años anteriores ocuparían sistemas con propósitos similares.

Este módem, denominado TM-20, incorpora modernas técnicas de procesamiento de señales y un ecualizador de canales patentado para mejorar el desempeño de los enlaces y permitir flexibilidad en la configuración de la que antes no se había escuchado en sistemas de tropo-dispersión. Posee una interfase IP Ethernet terrestre y una interfase serial de alta velocidad (HSSI). Se alimenta con 110 o 220 voltios y consume únicamente 50 watts. Utiliza técnicas de retroalimentación ecualizada para mejorar las señales pobres y es notablemente inmune a las perturbaciones causadas por el tráfico aéreo.

Está listo para funcionar en doble o cuádruple diversidad, según sea la necesidad del diseño y usa codificación DPSK/QPSK.

Actualmente, la concentración de tecnología en la unidad TM-20 mostrada en la figura 29, con dimensiones de 10cm de alto y 50cm de ancho, provee funcionalidad y desempeño mas allá de lo que hace algunos años se podía lograr usando grandes cantidades de equipo y ocupando grandes espacios.

Figura 29. **Panel frontal y trasero del MÓDEM TM-20**



Fuente: www.gdsatcom.com. 2 de enero de 2010.

Hay también en el mercado un multiplexor fabricado por *Comtech Systems* cuyo modelo es CSM8100, capaz de manejar datos a través de un sistema digital de hasta 32 canales de 64 Kbps cada uno, y operar con el protocolo de Internet (IP por sus siglas en inglés).

Ha sido diseñado específicamente para funcionar más-allá-del-horizonte, es decir, en enlaces basados en tropo-dispersión.

Utiliza bits de control de redundancia para evitar la pérdida de datos en la transmisión, protegiendo la integridad de conteo de bits (BCI) de cada uno de los ocho trenes de datos.

Puede ser usado como un puente Ethernet 10/100 base T para soportar tráfico de datos, voz y video sobre IP y maneja velocidades de hasta 20 Mbps de tráfico basado en WAN/LAN. En el panel trasero, está dotado con conectores RJ-45 para el cableado de pares trenzados. En la figura 30 se muestra la vista frontal del multiplexor.

Figura 30. **Panel frontal del Multiplexor CSM8100**



Fuente: www.comtechsystems.com. 4 de enero de 2010.

Opera en modo totalmente bidireccional, es decir, que puede transmitir y recibir datos simultáneamente. Es capaz de atenuar la distorsión debida a las múltiples rutas de la señal y los trenes de datos a utilizar pueden ser programados por el operador desde 0 hasta 8.

Consume hasta 10 watts de potencia al operar. En la figura 31 se muestra un diagrama a bloques de las posibles aplicaciones del multiplexor CSM8100.

Figura 31. **Posibles aplicaciones del multiplexor CSM8100**



Fuente: www.comtechsystems.com. 8 de enero de 2010.

3.1.1. Puertos de interfase

Los equipos para enlaces mediante tropo difusión poseen por lo general los tipos de puertos descritos a continuación.

3.1.1.1. RJ-11

Es el estándar utilizado en las líneas telefónicas y en los aparatos de fax. Cuenta con hasta seis hilos para un máximo de 3 líneas telefónicas. Cuando se tiene una única línea telefónica, sólo se usan los dos contactos del medio.

Los voltajes típicos que se presentan en una línea telefónica son: Colgado, -48V, al timbrar, 78 Vrms a 45 Hz, al levantar, 12VDC.

3.1.1.2. Ethernet RJ-45

Es muy parecido al RJ-11 pero tiene 8 contactos para la comunicación, aunque en la configuración 10Base-T/100Base-TX sólo usa 4: Pin 1 para Transmisión+, Pin 2 para transmisión-, Pin 3 Para recepción+ y Pin 6 para recepción-. Como puede verse, el estándar está diseñado para comunicación bi-direccional y es de aclararse que la transferencia de datos es digital.

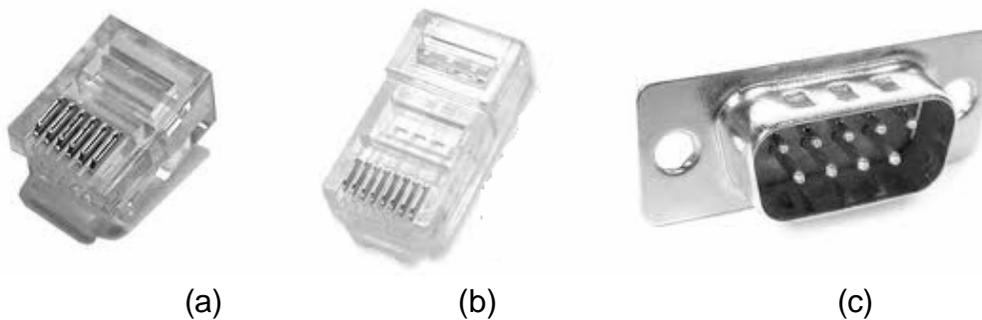
3.1.1.3. Db-9

Utiliza el estándar RS-232 que está diseñado para transferencias de datos a no más de 15 metros y con velocidades inferiores a 20 Kbps. Puede funcionar en modo unidireccional, semi-bi-direccional y totalmente bi-direccional.

Los niveles de voltaje en este estándar se encuentran invertidos con respecto a los valores lógicos, de modo que un voltaje de +3 a +15 V representa un 0 lógico y un voltaje de -3 a -15 V representa un 1 lógico.

En la figura 32 se muestran los tres tipos de conectores mencionados.

Figura 32. **(a) Conector RJ-11 (b) Conector RJ-45 (c) Conector DB-9**



Fuente: www.cablesa.com, www.nehsnimual.blogspot.com, www.onlinetps.com. 12 de enero de 2010.

3.2. Transmisión de video

Dado que es posible la transmisión y recepción de datos en forma digital a través de un sistema de tropo-dispersión digital, prácticamente se abren las posibilidades de transmisión de datos de casi cualquier fuente.

En particular, interesa la transmisión de video, que podrá ser usada para monitoreo de actividades o video-conferencias siendo necesario determinar que tan pesado puede ser el paquete de datos a transmitir, que calidad es tolerable para poderse transmitir, a que tasa de transferencia puede enviarse la transmisión y que tan aceptable será el paquete recibido.

Existen sistemas de codificación de video análogo a digital que luego lo transfieren a través de fibra óptica, buses paralelos o seriales. El protocolo IP será de particular interés para este proceso.

El costo de un sistema de transmisión de video sobre IP es mínimo en comparación con la fibra óptica o el cable coaxial, especialmente porque ya existe la infraestructura para el efecto, así que se puede traer la señal de video desde cualquier parte e insertarla en el equipo de tropo-dispersión para ser enviada al otro lado. Es posible obtener una transmisión en tiempo real con alta resolución a través de IP a una tasa de 30 cuadros por segundo.

El video sobre IP puede ser enviado ya sea mediante la descarga de un archivo o enviando paquetes de datos continuamente a través de una red de datos. En el caso de un sistema de tropo-dispersión, la red se encuentra después de pasar por el multiplexor, ya que el enlace tropo no forma parte de una red, pues tendrá un sólo transmisor y un sólo receptor. La red podrá ser implementada después del receptor.

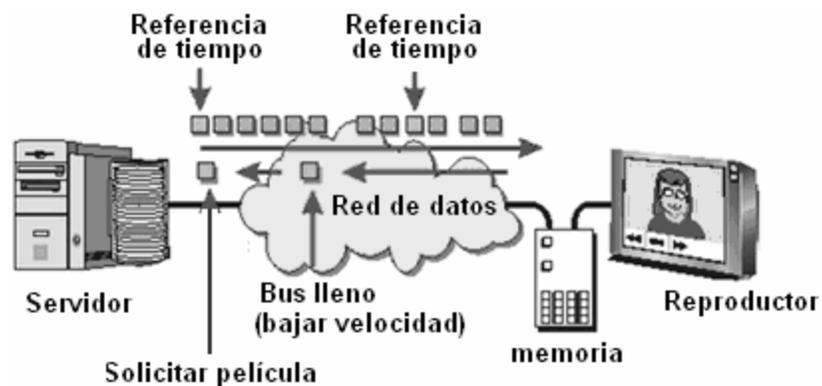
Cuando el video sobre IP es enviado como archivo, el archivo es dividido en paquetes, los cuales son secuencialmente numerados, transmitidos, recibidos y re-ensamblados en orden al llegar a su destino.

Cuando el video es enviado en forma de corriente, los paquetes deben ser continuamente enviados con información de una referencia de tiempo, la cual es usada para identificar cuando el paquete de datos será presentado a quien lo verá.

Los sistemas de transmisión de paquetes sobre IP podrán incluir el uso de controles de flujo que pueden definir cuando el video inicia y cuando finaliza.

Controles de ancho de banda pueden ser usados para ajustar la cantidad de datos que pueden ser enviados a través del canal o para bajar la calidad del video enviado, dado que la capacidad de transmisión disminuye cuando otros servicios están en uso.

Figura 33. **Envío de video a través de una red IP**



Fuente: <http://www.althos.com/tutorial/IP-video-tutorial-packet-transmission.html>. 13 de enero de 2010.

La figura 33 muestra el proceso de envío de video a través de una red IP. Es posible comenzar a ver el video aunque éste no haya sido transferido en su totalidad.

El diagrama muestra también que existe retroalimentación hacia el servidor, lo que permite a quien ve el video, controlar la sesión de envío y proveer información de regreso acerca de la calidad de la conexión. Finalmente, el servidor puede actuar incrementando o disminuyendo la compresión y la tasa de transmisión de datos en el caso de que la calidad de la conexión cambie.

El formato digital es más apropiado frente al análogo para la transmisión de video, ya que puede viajar a través de un ancho de banda más estrecho aprovechándose de mejor manera el ancho del sistema completo para compartirlo con otras aplicaciones.

No debe perderse de vista que una ganancia en ancho de banda, seguramente repercutirá en una transmisión más lenta, sin embargo, esta reducción en la velocidad no será significativa si la calidad del video es baja. Ahora que se sabe que es posible la transmisión de video mediante la tropo-dispersión, surge la pregunta: ¿en qué forma puede encontrar aplicación en Guatemala?

Además de ser factible la transmisión de video, es de recordar la posibilidad de uso de equipos transportables, los cuales sin ser portátiles, tienen la facilidad de ser montados y desmontados, asimismo configurados en el lugar donde se requiera. Sabiendo lo anterior, es viable pensar en un equipo completo utilizado por un tele-noticiero nacional para cubrir acontecimientos que ocurran en áreas remotas del país, en donde ni siquiera hay cobertura de las redes de telefonía celular, tal es el caso de las regiones boscosas de Petén que no permiten fácil acceso para la construcción de sitios de repetición y distan de la ciudad varios cientos de Kilómetros.

El equipo básico necesario para lograr la aplicación mencionada, debería contar con un generador eléctrico de combustión, un módem, un multiplexor, un amplificador, un mástil para el soporte de la o las antenas y si el usuario lo requiere, al menos una línea telefónica. Todo debe ser compatible, así que debe asegurarse que la terminal de salida de las cámaras de video pueda conectarse al multiplexor usando el estándar apropiado.

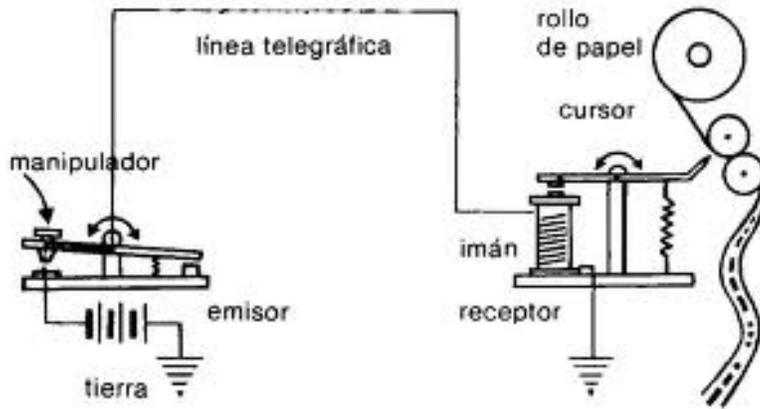
3.3. Telegrafía y telefonía

En la actualidad, los medios de comunicación se han vuelto muy eficientes y veloces, al punto de que la telegrafía, como se le conocía en sus inicios, ha quedado casi completamente inutilizada, pues medios como los mensajes de texto en el teléfono celular llegan mas rápidamente y requieren menos esfuerzo y recursos, aunque en algunos ámbitos, los mensajes de texto y otros medios de transmisión de escritura, también son considerados como una forma de telegrafía.

Por lo anterior, el uso de esta telegrafía a través de un enlace de tropo-dispersión será descrito sin profundizar, sólo para ilustrar la posibilidad de la aplicación.

La telegrafía fue uno de los primeros medios de transmisión de información escrita en el mundo y en su momento, fue muy útil y eficiente. Se basa en el envío de pulsaciones eléctricas que siguen un patrón establecido, conocido como código Morse, que es enviado a través de la línea telegráfica como se ve en la figura 34, donde se puede apreciar al lado del receptor un sistema que perfora un rollo de papel, aunque también es común ver a un operador tomando nota de las pulsaciones.

Figura 34. Sistema de telegrafía básico



Fuente: www.usuarios.multimania.es. 17 de enero de 2010.

Para poder transmitir un código Morse a través de un medio inalámbrico, es decir, hacer uso de la radiotelegrafía, basta con usar las pulsaciones para modular una portadora de alta frecuencia audible (alrededor de 800 Hz) y ésta a su vez, colocarla sobre una portadora de radiofrecuencia (RF) para ser transmitida.

En el lado del receptor, un radiotelegrafista podrá interpretar el mensaje sin dificultad, pero en la actualidad existen equipos que pueden encargarse de eso. Dependiendo del nivel de seguridad que se le quiera dar a un mensaje transmitido, el código Morse sigue siendo una buena opción para evitar que la comunicación sea interceptada e interpretada por alguien con poco conocimiento.

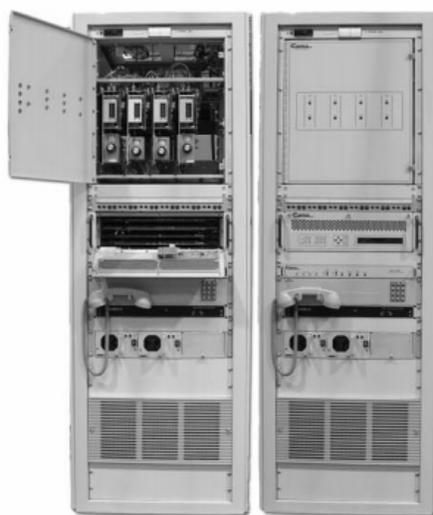
Con respecto a la telefonía, ya se ha mencionado que los sistemas Tropo estándar, soportan la configuración de líneas telefónicas.

Lo mas común es establecer una comunicación telefónica entre una estación y la otra, sin embargo, existe la posibilidad de incorporarse a la red telefónica local, y para esto debe contarse con equipo adicional y una conexión mediante cableado bajo los estándares de la red.

Lo significativo de este aspecto es que la comunicación telefónica tiene todas las características de una línea común, es decir, que puede hacerse la llamada, dar la señal de aviso en el lado del receptor y establecerse una conversación totalmente bi-direccional en tiempo real.

En la figura 35 se muestra una Radio Terminal tropo con módem y equipo de prueba incorporados y como puede verse, cuenta con un auricular y un teclado DTMF para comunicación telefónica entre las dos terminales. Todos los controles se encuentran en el panel frontal para poderla empotrar en armarios y cuenta con la facilidad de ser montada en vehículos para hacerla transportable.

Figura 35. Terminal de tropo-dispersión digital



Fuente: www.comtechsystems.com. 18 de enero de 2010.

Dentro de las funciones tradicionales que pueden realizarse mediante una conexión telefónica, se encuentra la transmisión de documentos en facsímil y por supuesto, esto también es posible haciendo uso de equipos de tropo-dispersión.

Ya se ha descrito la viabilidad de establecer una comunicación telefónica, entonces, para hacer uso de un equipo de fax, basta con conectarlo a la Radio Terminal usando el puerto rj-11 con el conector del mismo estándar.

Por supuesto, la transmisión de documentos o imágenes vía facsímil, tiene inconvenientes. La velocidad de la transmisión está limitada por la capacidad de ancho de banda del equipo instalado. Un circuito telefónico normal, usa la banda de voz, es decir, aproximadamente de 300 a 3,500 Hz, o en otras palabras, un ancho de banda de 3,200 Hz.

La tasa de transmisión posible con este ancho de banda, hace que una fotografía grande tarde varios minutos en recibirse completamente.

Un ancho de banda insuficiente, haría que se presente distorsión en la imagen, especialmente si se produce ruido e interferencia proveniente de otras comunicaciones cercanas.

Algunos equipos modernos de tropo-dispersión cuentan con puertos Ethernet, como el modelo TM-20 de *Comtech Systems*. Esto hace que el uso del fax sea innecesario, puesto que si se desea enviar texto o imágenes, puede recurrirse al uso de un computador en cada extremo del enlace, configurándolos para comunicarse entre sí.

Lo que no descarta totalmente el uso del facsímil para estos propósitos es el costo de los computadores y la pericia requerida para configurar una pequeña red que los enlace.

3.4. Telemetría

La telemetría se refiere a realizar mediciones de diversos parámetros a distancia, dado que usualmente se realizan en lugares remotos. Esta técnica de medición, se lleva a cabo mas comúnmente en forma inalámbrica eliminando la necesidad de instalaciones costosas y largos tendidos de cable para interconectar los lugares de medición y las estaciones de monitoreo.

Algunas de las aplicaciones más importantes de la telemetría son la recopilación de datos climáticos en alguna región y la supervisión de sistemas de generación y distribución de energía.

Para tomar los datos en el lugar de la medición, se necesita un transductor, que se encargará de convertir las magnitudes físicas en señales eléctricas.

Normalmente, un sistema de telemetría, toma los datos periódicamente a lo largo de un tiempo prolongado, es decir, varios días, semanas o meses. Los datos que se adquieren a cada momento, son enviados por el medio de comunicación que se esté usando, para luego ser grabados y procesados en la central de monitoreo.

Los tipos de datos que pueden ser de interés y que a la vez pueden tomarse del medio para ser monitoreados, son la temperatura, la velocidad del viento, la vibración de un sistema mecánico, el flujo dentro de una tubería de distribución, ya sea de agua o de petróleo, la potencia en un sistema de distribución de energía, los niveles de gases en un entorno, el nivel de un embalse, etc.

La opción del uso de la tropo-dispersión en telemetría surge del hecho de que es mas barato que el uso de satélites, considerando que estos podrían hacer el trabajo en forma eficiente pero con un alto costo. No existe ningún inconveniente en cuanto al ancho de banda requerido, pues la telemetría es una aplicación que requiere una tasa de transmisión de media a baja.

Debe considerarse que será necesario instalar un equipo de transmisión tropo en el punto de las mediciones y dejarlo en el lugar tanto tiempo como sea necesario para completar el monitoreo.

Esto quiere decir que el equipo tendrá que usarse exclusivamente para el efecto, aunque se le puede sacar provecho estableciendo otro tipo de comunicación paralela desde el mismo lugar hacia la otra estación (la de monitoreo).

Ya que el enlace de telemetría no será permanente, conviene usar un equipo liviano o transportable, considerando que es de fácil montaje, desmontaje y traslado.

3.5. Restauración de comunicaciones de emergencia

Los sistemas de comunicación de uso habitual, como redes de datos, centrales telefónicas o estaciones de televisión, se encuentran instalados en grandes ambientes y dependen del suministro eléctrico local. Cuando éste falla, los servicios que no pueden dejar de ser utilizados cuentan con suministros eléctricos de emergencia, pero la capacidad de los mismos es limitada a unos cuantos equipos o unas cuantas horas. Si lo anterior ocurre, es una opción viable utilizar el equipo de tropo-dispersión para enlazar los puntos que se deseen.

También existe la posibilidad de que el servicio eléctrico esté bien pero que falle la interconexión que brindan proveedores externos, como la compañía telefónica, el proveedor de servicio de Internet, el satélite de comunicaciones o directamente alguno de los elementos internos del sistema.

Si esto ocurre y el mantenimiento de la comunicación es imprescindible, debe contarse con un sistema de respaldo. Un equipo de tropo-dispersión es muy apropiado en ese caso si se cuenta con el recurso para costearlo.

Un equipo completo de tropo-dispersión puede costar varios miles de quetzales, y no debe perderse de vista que para establecer un enlace, debe contarse al menos con dos de ellos, uno para cada extremo del enlace. Por esa razón, será viable solo cuando la situación lo amerite, es decir, cuando el sostenimiento de las comunicaciones sea muy importante y cuando la entidad que lo costea tenga un presupuesto elevado, porque prácticamente, los equipos se tendrían fuera de uso la mayor parte del tiempo.

Algunos ejemplos viables de restauración de comunicaciones de emergencia incluyen el sostenimiento de comunicaciones de las fuerzas de seguridad (policía y ejército) y de cuerpos de socorro después de un desastre natural. También serían útiles durante un fallo general del servicio eléctrico durante la noche para coordinar esfuerzos contra el vandalismo por ejemplo.

En Guatemala los cuerpos de socorro no cuentan con un presupuesto elevado, pero en ocasiones reciben donaciones internacionales, y entre ellas, cabría la posibilidad de recibir equipos de comunicaciones siempre y cuando les encuentren la aplicación.

Ya se ha mencionado que un sistema de tropo-dispersión sería muy útil frente a un desastre natural pero no hace falta que se presente tal siniestro para necesitarlo, pues hay áreas del país que aún no son cubiertas por las redes de telefonía celular y muchas veces ni siquiera tienen electricidad y que cuentan con poblaciones que también pueden necesitar asistencia en un momento dado.

3.6. Enlaces entre estaciones terrenas y en alta mar

Una de las aplicaciones comerciales mas populares de los sistemas tropo es entre estaciones terrenas y plataformas de extracción de petróleo en el mar, aunque es comprensible que esto se da mayormente en países desarrollados.

El recurso del petróleo no se ha explotado aún en aguas guatemaltecas aunque sí en tierra, pero existe la posibilidad de que en el futuro se otorguen permisos para el efecto. De ser así, ya está disponible la tecnología de comunicación entre las estaciones sin necesidad del uso de enlaces satelitales, que como se ha mencionado anteriormente, resultarían más costosos.

Las plataformas petroleras no son las únicas que pueden sacarle provecho a la tropo-dispersión en el mar. También el ejército y las compañías navieras pueden hacer buen uso de la misma, ya que a cierta distancia de la costa, se pierde la línea de visión y por consiguiente el contacto directo.

Es posible montar un equipo tropo liviano en una embarcación y alimentarlo con la potencia eléctrica propia de la nave. En el lado de tierra, el suministro eléctrico no es un problema.

En ambas terminales (la de tierra y la de alta mar) debe tenerse el cuidado de mantener una alineación constante entre sí para no perder el enlace. Esto es posible sin necesidad de saber la posición exacta de la embarcación, aunque se puede conseguir con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

Para lograr la mejor alineación entre receptor y transmisor sin el uso de un GPS, un operador puede monitorear con un medidor de señal, la intensidad de la misma y a medida que esta disminuye, reorientar las antenas con el propósito de maximizar la recepción.

Lo anterior es válido tanto para uso comercial como militar pero hay que saber que el uso de algunas frecuencias es restringido y si un usuario comercial desea hacer uso de un ancho de banda, debe solicitarlo y esperar a que se le otorgue.

Una última aplicación de utilidad entre estaciones terrenas en alta mar, es el enlace entre la tierra principal y una isla, siempre y cuando, la isla se encuentre a una distancia no mayor que el alcance del sistema.

Guatemala no tiene islas propias fuera de sus costas, pero si es posible establecer un enlace en conjunto con países como Honduras o Belice, que sí tienen islas, si en algún momento se instalan oficinas de empresas guatemaltecas en esas regiones, para mantener tráfico de datos o llamadas en forma privada y segura sin pagar por el uso de espacios en un enlace satelital.

3.7. Radio transmisión

La intercomunicación entre dos estaciones mediante la radio fue quizá una de las primeras y mas comunes aplicaciones de los sistemas “tropo” y hoy en día sigue siendo de muy amplio uso.

Figura 36. Radiotransmisor portátil y base



Fuente: www.bearcom.com. 3 de febrero de 2010.

Ya existen sistemas de radiocomunicación que cubren grandes distancias mas allá de la línea de visión usando repetidoras. Dichos sistemas usan radio transmisores portátiles con unos cuantos Watts de potencia, y radio-transmisores base o móviles, como los mostrados en la figura 36, instalables en oficinas o vehículos y cuya potencia usualmente no pasa de los 30 Watts.

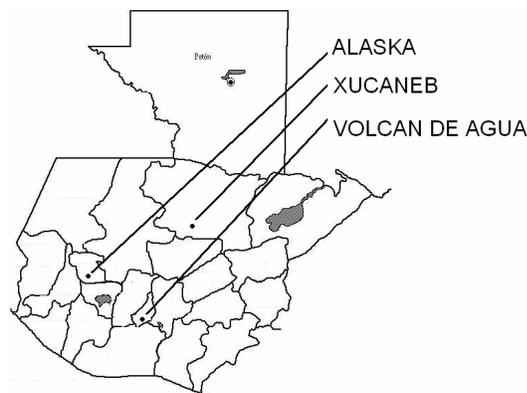
Las dimensiones de un radiotransmisor base apenas llegan a igualar el tamaño de un radio reproductor de música para automóvil, pero su potencial es muy significativo.

Si se cuenta con enlaces de repetición, puede cubrirse una gran área del territorio nacional, pero es en este aspecto en donde surgen los inconvenientes.

El primer inconveniente, es el costo de la instalación de los sitios de repetición. Para poder contar con una caseta en donde albergar el equipo se necesita poseer o alquilar un terreno de aproximadamente 10 m x 5 m.

Si el terreno se compra, puede ser una inversión inicial muy elevada, y si se alquila, usualmente será en una caseta que ya esté construida y que sea propiedad de alguna empresa de telecomunicaciones que para aventajar a la competencia arrendará un pequeño espacio a un alto costo que variará dependiendo del lugar donde se quiera adquirir.

Figura 37. Ubicación de puntos elevados estratégicos para repetición en Guatemala



Fuente: elaboración propia.

Los sitios mostrados en la figura 37, que probablemente sean más caros para la instalación de equipos de repetición en Guatemala son: Volcán de Agua (14°28'00" N - 90°44'30" O), dado que cubre la Capital, la costa sur central, y departamentos circundantes; Cumbre de Alaska en Totonicapán (14°53'14.61" N - 91°25'25.53" O), porque es el enlace con la región occidental; y Cerro Xucaneb en Alta Verapaz (15°24'20" - 90°12'30"), porque es la última región elevada antes de llegar en línea a Petén desde la Capital. El cerro Alux en Sacatepéquez no es apropiado para este propósito debido a que en él se encuentran muchas repetidoras de radiodifusión y televisión y la potencia de éstas es muy elevada. Existen muchos otros sitios para utilizar en donde el alquiler o venta de terrenos es más accesible pero no son de cobertura tan amplia.

Otro inconveniente del uso de sitios de repetición es que por cada uno de ellos debe invertirse en: un equipo repetidor, ya sea de VHF o UHF; un duplexor para conmutar el uso de la antena entre transmisión y recepción; cable coaxial o guía de onda; una antena, usualmente omni-direccional; una planta de suministro eléctrico de emergencia; el pago de un vigilante que cuide del equipo, y visitas periódicas del equipo de técnicos para mantenimiento preventivo o reparación.

A pesar de lo anterior, es importante mencionar que la comunicación usando los sistemas de radio y repetición funcionan en todas direcciones, lográndose el enlace con muchos radios portátiles y muchas estaciones base y móviles a la vez, aunque esto no permite la privacidad, al menos no a un par de estaciones en particular, pues la comunicación es grupal.

Establecido lo anterior, puede ahora considerarse el uso de un sistema Tropo para implementar comunicaciones de radio más allá del horizonte. Estas comunicaciones serán particularmente útiles cuando la aplicación requiera que puedan comunicarse dos estaciones entre sí y no un grupo completo como ocurre con los radios comunes, sin embargo, podrá configurarse para que lo recibido en uno de los extremos pueda a la vez conectarse con un transmisor común que interconectará con los demás radios que se encuentren de ese lado del enlace.

Los radios comunes, por su naturaleza, no pueden establecer una comunicación totalmente bi-direccional o *full-duplex*, pues necesitan que se deje de transmitir para poder empezar a recibir. A esto se le llama comunicación *half-duplex* o semi-bi-direccional. La comunicación por radio usando sistemas de tropo-dispersión, no será la excepción. Necesitará usar el canal de radio sólo para transmitir y sólo para recibir a la vez, lo que no es un inconveniente, pues los usuarios experimentados están acostumbrados a esa condición.

La radio transmisión, así como la comunicación telefónica y la transferencia de datos a través de un sistema de tropo-dispersión, puede ser encriptado para mayor seguridad. Esta característica es parte de las especificaciones mínimas del equipo ya que su uso principal es militar.

Cualquier otra aplicación que pueda surgir en el futuro será derivada de las necesidades de los usuarios de las comunicaciones a grandes distancias y a medida que la oferta crezca, los costos podrán disminuir y en consecuencia, los equipos podrán ser más accesibles en el mercado guatemalteco.

4. CONSIDERACIONES LOCALES

En cada país se presentan diferentes condiciones de funcionamiento de un sistema de tropo-difusión, relacionadas con las restricciones legales, los permisos para uso de frecuencias, el costo del equipo, los trámites necesarios para los permisos de operación, el salario de los operadores y las condiciones climáticas a enfrentar, entre otros.

En Guatemala, el ente encargado de regular las telecomunicaciones es la Superintendencia de Telecomunicaciones, una dependencia gubernamental a la que los operadores de telefonía, radio, datos y televisión, deben rendir cuentas.

El clima, por su parte, también es un aspecto importante a considerar. Sin embargo, puede decirse que en la región, se goza de condiciones atmosféricas favorables, presentándose una sola temporada de tormentas, las cuales no representan un peligro significativo para los equipos.

4.1. Condiciones atmosféricas

Al evaluar la viabilidad de establecer sistemas de comunicaciones inalámbricas en una región, es necesario tomar en cuenta las condiciones atmosféricas del lugar.

4.1.1. Clima en el país

En Guatemala no se tiene el problema de la nieve pero sí la formación de escarcha a alturas elevadas que podrían comprometer la eficiencia de las antenas.

Las regiones más propensas a la formación de escarcha en Guatemala se encuentran especialmente en el occidente y en la cúspide de volcanes y cordilleras.

Se ha mencionado anteriormente que el volcán de Agua es apropiado para sitios de repetición no atendidos, pero no sería conveniente para la instalación de equipos de tropo-difusión porque usarlo como repetidora representaría un costo muy elevado aunque sí es técnicamente posible.

En el occidente del país si existe la posibilidad de que un equipo se encuentre instalado a nivel del suelo y aún así se presente la formación de escarcha en las épocas mas frías del año. Es aquí donde se requiere tomar medidas para contrarrestar el efecto.

En Guatemala se marcan dos estaciones: la temporada seca, y la temporada de lluvias, que comienza en mayo y termina en noviembre (en algunas regiones del atlántico como en las verapaces y Petén dura prácticamente todo el año). Debajo de las verapaces, la mayor parte del año es temporada seca aunque las temperaturas varían.

En la temporada seca, que se presenta de noviembre a mayo, se encuentran cielos despejados y en general, las temperaturas descienden bruscamente de noche hasta el amanecer.

Entre diciembre y enero, y en ocasiones hasta comienzos de febrero, se experimentan bajas temperaturas. Estas temperaturas pueden llegar debajo de los 0°C en el occidente, donde se encuentran las denominadas Tierras Frías, cuya elevación sobrepasa los 1899 metros sobre el nivel del mar.

Las bajas temperaturas de esta temporada causan acumulación de escarcha en la madrugada.

Las zonas del litoral y del noreste, conocidas como valles fluviales, tienen temperaturas cálidas todo el año, oscilando alrededor de los 20°C. En temporadas calurosas llegan a alcanzar los 37°C. El clima es aquí mucho más húmedo.

La región donde se concentra la mayor parte de la población, es decir, en el centro, se encuentra entre los 915 m y 2440 m y tiene una temperatura promedio anual de 20 °C.. Aquí los días son cálidos y las noches frías.

Se ha dicho ya que las comunicaciones usando tropo-dispersión no son tan afectadas por las condiciones climáticas, dado que el proceso de dispersión se basa en el choque de las ondas electromagnéticas en pequeñas partículas que se encuentran en la atmósfera, enviando el reflejo en todas direcciones.

Considerando lo anterior, si las ondas electromagnéticas encuentran a su paso lluvia, hielo o nieve, no tendrán dificultades en llegar a su destino.

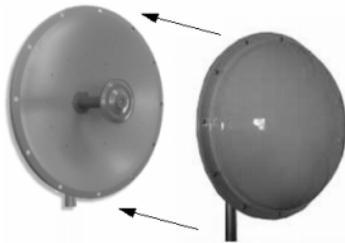
Entonces el principal efecto del clima que reina en Guatemala no será directamente en las comunicaciones sino en los equipos que se usan, especialmente en las antenas, en las regiones frías, por la acumulación de escarcha.

4.1.2. Efectos del clima en el equipo

La concavidad de una antena parabólica es fundamental para que la energía captada se concentre en el foco de la misma. La acumulación de materiales sólidos sobre su superficie afectará su eficiencia distorsionando su patrón de radiación.

Las antenas parabólicas y de microondas son susceptibles a la nieve y el hielo. Un domo conocido en inglés como *radome* (*radar dome*) puede ser instalado para prevenir la acumulación de ambos elementos que podrían causar deformación de la parábola. En la figura 38 se muestra una antena y su correspondiente domo para protegerla. El uso de calefactores previene la formación de elementos deformantes en el *radome*.

Figura 38. Antena y domo protector



Fuente: www.wirelessconnect.eu. 12 de febrero de 2011.

Otros elementos vulnerables al clima, particularmente a la humedad, son los cables coaxiales, porque si sus uniones no son selladas apropiadamente, entrará agua desde los conectores que se encuentren a la intemperie y el conductor se contaminará como se ve en la figura 39. Si esto ocurre, aumenta la resistividad y por lo tanto, la pérdida.

Figura 39. **Cable coaxial contaminado**



Fuente: elaboración propia. 15 de abril de 2011.

Para proteger la superficie de los conectores, es útil rodearlos abundantemente con cinta de caucho vulcanizable como la mostrada en la figura 40 y que se encuentra a la venta en las tiendas especializadas en suministros eléctricos.

Esta cinta se fundirá al ser expuesta al calor del sol. La capa de cinta evita que el agua llegue a la unión de los conectores y por lo tanto, impide la oxidación y la formación de sarro.

Figura 40. **Cinta vulcanizable**



Fuente: http://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-17369711-cinta-autofundente-autofusionable-vulcanizable-scotch-de-3m-_JM. 20 de abril de 2011.

Finalmente, el instalador del equipo debe tener en cuenta que las descargas electro atmosféricas pueden dañar severamente el equipo al punto de dejarlo inutilizable. Estas descargas son atraídas por conductores elevados como árboles altos o en el caso de equipos de comunicaciones, los mástiles de las antenas.

Si un rayo alcanza el mástil de una antena, potentes descargas de electricidad atravesarán el equipo en busca de la tierra, destruyendo sus componentes internos y probablemente causando un incendio.

Para proteger equipos electrónicos contra rayos se requiere la instalación de un pararrayos, que es una varilla de material conductor instalada a mayor altura que la antena para ser el primer elemento alcanzado por la descarga. Este electrodo, se conecta a un cable conductor que lleva la corriente hasta el suelo para que la misma no circule por los circuitos internos del equipo.

En los equipos pesados o fijos, se hace una instalación formal que será inamovible, por lo que se puede reforzar con varios pararrayos con varillas enterradas a gran profundidad.

Para los equipos livianos o transportables, los pararrayos deben ser menos complejos en su instalación y sus electrodos subterráneos alcanzan una profundidad menor, dado que su uso en un área particular es temporal.

4.2. Evaluación del costo de implementación

Antes de implementar un enlace de comunicaciones, siempre es conveniente evaluar las posibilidades que se encuentran disponibles y decidir cuál es la más conveniente, no sólo por su desempeño si no por el costo que representará al usuario.

Para calcular el costo de un enlace de comunicaciones mediante la tropo-dispersión, es conveniente enlistar primero todos los elementos del enlace que se requieren. Los elementos requeridos dependen de las necesidades de la aplicación.

4.2.1. Capacitación del personal que operará y dará mantenimiento al enlace

La inversión en la capacitación del personal técnico depende de cuantos técnicos serán necesarios para mantener el equipo en funcionamiento y de donde provendrá la instrucción para capacitarlos.

Si se les capacita en el exterior del país, debe considerarse el costo del boleto aéreo y en ese caso lo más conveniente es enviar a un solo técnico que luego se encargará de instruir al resto del equipo.

Si la capacitación es local y quien da la instrucción no trabaja para la empresa interesada, el costo se rige por la tarifa que éste imponga.

4.2.2. Antena transmisora

Antes de instalarse el enlace, debe decidirse que tipo de antena se usará para transmitir. Las antenas transportables de 2,4 metros de diámetro como la mostrada en la figura 41 son muy convenientes para la mayoría de aplicaciones, aunque sea en sitios fijos. A pesar de que las antenas de gran envergadura son más costosas, no significa que las transportables sean la mejor opción, dado que las fijas tienen mayor ganancia.

Figura 41. Antena *tropo* transportable



Fuente: <http://www.telecomsys.com>. 2 de mayo de 2011.

4.2.3. Antena receptora

Si se va a operar usando la recepción en diversidad de espacio, se necesitan al menos dos antenas receptoras, lo que es más conveniente. Si no se cuenta con mucho espacio o presupuesto, tendrá que optarse por diversidad en frecuencia, fase o tiempo y se usará una sola antena.

4.2.4. Amplificador de potencia

Existe en el mercado una gran variedad de amplificadores de potencia para rangos desde algunos MHz hasta más de 6 GHz. Y se encuentran como amplificadores de estado sólido (SSPA por sus siglas en inglés) o amplificadores de *Klystron* (KPA por sus siglas en inglés). Los de estado sólido son más pequeños y su límite de potencia es de algunos cientos de watts. Los de *Klystron*, alcanzan hasta arriba de 2 KW para un ancho de banda de 10 MHz.

Uno de los amplificadores más apropiados de acuerdo a su rango, a su capacidad de operar a la intemperie y a su tamaño compacto es el MHA-CTR500 con 500 W de potencia, rango de operación de 4,4 – 5,0 GHz y menos de 9 libras de peso.

4.2.5. Cable coaxial

El costo del cable coaxial del tipo RG6 actualmente puede ser de menos de \$1,00; el LMR puede costar desde \$1,50 hasta \$7,00 por pie dependiendo de características como resistencia al fuego, flexibilidad y cantidad a comprar.

El Helix corrugado de 5/8" a 7/8" cuesta desde \$1.50 por pie al comprarlo en carretes de 1000 pies. La elección de uno u otro se justifica por la pérdida que se esté dispuesto a tolerar en la línea de transmisión de acuerdo a la longitud a usar.

Si la aplicación requiere grandes longitudes de cable, el Helix o el LMR serán la mejor opción. El total del costo del cableado se calcula en base a la longitud final.

4.2.6. Estaciones tropo

Se necesita una en cada extremo del enlace. Es preferible que ambas sean del mismo fabricante y con las mismas especificaciones. El costo de las mismas depende de que funciones necesite el usuario.

4.2.7. Módem

Se usa uno en el extremo del enlace que transmitirá datos. Si ambas estaciones tienen las mismas atribuciones, se necesitan dos módem.

4.2.8. Radiotransmisor

Este componente es opcional y se dispondrá de él solo si los usuarios requieren radiocomunicaciones abiertas entre las estaciones. Puede prescindirse de su uso si las estaciones cuentan con línea telefónica y si no se necesita que varios usuarios escuchen la transmisión simultáneamente.

4.3. Costo de operación

Al usar un enlace satelital, es necesario pagarle al operador del satélite una renta periódica por el uso del ancho de banda. Además de invertir en la compra de todo el equipo electrónico a instalar, es necesario contar con fondos permanentes mientras dure el contrato de uso.

Adicionalmente, en Guatemala debe pagársele a la Superintendencia de Telecomunicaciones por el usufructo del espectro de frecuencia dentro del territorio nacional y también deben considerarse otros gastos relacionados con el aspecto técnico.

4.3.1. Mantenimiento preventivo del equipo

Incluye monitoreo de señales para detectar pérdidas, ajustes periódicos de parámetros y reemplazo de algunas piezas cuyo funcionamiento deficiente haya sido detectado antes de fallar por completo.

4.3.2. Reparación de partes dañadas o desgastadas

Aún con el mantenimiento preventivo, existe la posibilidad de que algunos elementos del sistema fallen por causas imprevistas, como tormentas eléctricas, sobre-voltajes de la línea de alimentación, accidentes que dañen las estructuras físicas, etc. A raíz de esta posibilidad, debe contarse con un plan de contingencia que incluya recursos económicos para la pronta reparación o sustitución del equipo.

4.3.3. Salario del operador

Para el funcionamiento y supervisión del enlace, se requiere del trabajo de al menos un operador en cada estación. Si cada operador fuese escasamente capacitado (lo que no debe ser), tendría al menos un salario de Q. 2161.00 al mes, que es el salario mínimo vigente en Guatemala hasta el año 2011.

Dado que los operadores tendrán un nivel de destreza elevado, el salario tendrá que ser negociado con el contratante y por supuesto, deberá ser mayor a Q. 2161,00.

4.3.4. Energía eléctrica

El consumo eléctrico en Kw/hora de cada elemento del enlace viene dado por el fabricante. Para estimar el consumo total mensual y por consiguiente, el costo de alimentación, debe sumarse el consumo de cada uno de los elementos y multiplicarlo por la tarifa vigente establecida por el proveedor de servicio eléctrico y luego multiplicarlo por las horas que el equipo permanecerá operando.

4.4. Regulaciones

En Guatemala existe un ente regulador del uso de medios de comunicación, dependiente del Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y vivienda, llamado Superintendencia de Telecomunicaciones.

4.4.1. Atribuciones de la superintendencia de telecomunicaciones

La SIT es un organismo técnico cuyas atribuciones relacionadas con las comunicaciones inalámbricas son:

- Administrar y supervisar la explotación del espectro radioeléctrico;
- Administrar el Registro de Telecomunicaciones;
- Mediar entre los operadores ante diferencias originadas por el acceso a recursos esenciales;

- Aplicar cuando sea procedente, las sanciones contempladas en la Ley General de Telecomunicaciones;
- Participar como el órgano técnico representativo del país, en coordinación con los órganos competentes, en las reuniones de los organismos internacionales de telecomunicaciones y en las negociaciones de tratados, acuerdos y convenios internacionales en materia de telecomunicaciones.

La Superintendencia de Telecomunicaciones de Guatemala literalmente hace ver que el espectro radioeléctrico tiene mucha importancia hoy día debido a que gran parte de los nuevos dispositivos tecnológicos de telecomunicación, requieren tener acceso a él. Ante la importancia del espectro radioeléctrico, lo más relevante es tener claro que es un recurso natural, por lo tanto de carácter limitado, que constituye un bien de dominio público, sobre el cual el Estado ejerce su soberanía.

En tal sentido, corresponde al Estado velar por que el uso del espectro radioeléctrico se realice en beneficio de la nación, coadyuve al desarrollo económico y social sostenible y proporcione bienestar y seguridad a la población.

Debe ser por lo tanto, objetivo fundamental del Estado por medio de instituciones especializadas en la materia, la materialización de esas premisas por medio de una gestión nacional eficiente del espectro.

Dentro de la Superintendencia de Telecomunicaciones, la Gerencia de Regulación de Frecuencias y Radiodifusión es la encargada de dictar las recomendaciones técnicas procedentes que permitan administrar de forma racional el espectro radioeléctrico.

Por lo anterior, antes de poner en marcha la implementación de un sistema que hará uso del espectro electromagnético, es necesario acudir a la entidad regulatoria para proceder dentro del marco de la ley.

Los aspectos a tomar en cuenta se encuentran contenidos dentro de la Ley General de Telecomunicaciones y la Ley de Radiocomunicaciones.

4.4.2. Concesión para la explotación de el espectro electromagnético

La concesión es la facultad que el Estado otorga a particulares para explotar los servicios radioeléctricos. Las entidades dependientes del estado solo necesitan de una autorización especial revocable, para utilizar los servicios radioeléctricos en el cumplimiento de sus funciones.

El Estado puede otorgar concesiones para explotar el espectro electromagnético, únicamente a guatemaltecos o sociedades constituidas en Guatemala, cuyo capital sea mayoritariamente guatemalteco.

Los interesados en obtener una concesión para explotar comercialmente el espectro electromagnético deberán presentar su solicitud a la Dirección General de Radiodifusión y realizar un depósito económico.

Si hay oposición, la resolución es comunicada al solicitante y a quienes la presentan.

Otorgada una concesión, el concesionario mantiene a favor del Estado, una fianza hasta la fecha en que la estación principie a funcionar, para garantizar que no se realizarán cambios sin autorización.

Las concesiones para instalar y operar estaciones radioeléctricas privadas, tienen una duración de dos años y pueden ser renovadas si el concesionario lo solicita con treinta días de anticipación a la fecha de vencimiento.

Los derechos de usufructo del espectro radioeléctrico se otorgan por un plazo de quince años y si el titular lo solicita, puede prorrogarse por un período igual. La solicitud de prórroga debe ser presentada entre los doscientos y los ciento veinte días antes del vencimiento del plazo vigente. La Superintendencia usualmente accede a la prórroga a menos que se tenga evidencia de que el espectro no ha sido usado durante el período del usufructo.

La solicitud para adjudicación de títulos de usufructo, puede ser presentada por cualquier persona interesada, individual o jurídica, nacional o extranjera, o cualquier entidad estatal, y en dicha solicitud, debe proporcionarse toda la información pertinente respecto al uso que se le dará a la frecuencia solicitada. Si la solicitud es aceptada o no, la Superintendencia debe comunicarlo al solicitante sin esperar más de tres días a partir de la fecha en que haya sido presentada.

Existe la posibilidad de que la solicitud sea denegada por varias razones. La que principalmente concierne al interesado en la instalación de un enlace de tropo-dispersión, es la que se relaciona con los avances tecnológicos actuales, pues es posible que la combinación de equipos móviles y fijos operando en el rango de las microondas, atravesando el territorio nacional, no haya sido contemplada en la legislación vigente por no haber sido usada con anterioridad. Esto haría imposible definir las condiciones de operación sugeridas por el solicitante.

Tienen derecho a oponerse al otorgamiento del título de usufructo sobre las bandas de frecuencias solicitadas todas las personas individuales o jurídicas que tengan un interés justificable, y que puedan resultar perjudicadas si el otorgamiento se concreta.

4.4.3. Información requerida en la SIT

Algunos de los datos más importantes que en el acuerdo de concesión se deben especificar son:

- El nombre del concesionario
- La duración de la concesión
- La frecuencia a utilizar
- Los distintivos de llamada
- La ubicación de los equipos transmisores
- La potencia autorizada
- El sistema radiador y sus especificaciones técnicas
- El horario de funcionamiento

Quienes posean derechos de usufructo del espectro radioeléctrico deben proporcionar información acerca de:

- Localización geográfica y características técnicas de las bandas de frecuencias a utilizar.
- Localización geográfica y características técnicas de los sistemas de transmisión a utilizar.
- Números de orden y de registro del título.
- Fecha en que el título fue emitido y fecha de vencimiento del mismo.

Al presentar la solicitud de inscripción, la Superintendencia debe entregar una constancia de recepción. No debe esperarse mas de dos días luego de presentada la solicitud para que se concrete la inscripción. La Superintendencia debe proporcionar en ese mismo plazo certificación de la misma.

4.4.4. Servicios radioeléctricos

Los servicios radioeléctricos de correspondencia privada y oficial, se clasifican en:

- Servicios fijos
- Servicios móviles
- Servicios aeronáuticos
- Servicios marítimos
- Servicios costeros
- Servicios especiales
- Cualquier otra clase de servicios radioeléctricos que se instalen en el futuro.

CONCLUSIONES

1. El fenómeno de la dispersión de ondas electromagnéticas en la troposfera fue descubierto hace varias décadas y fue aprovechado en los primeros años de su uso para fines militares, principalmente porque tiene la particularidad de poder alcanzar distancias más allá del horizonte con tan solo un transmisor y un receptor. Posteriormente, la tecnología fue dada a conocer para fines comerciales y ahora tiene aplicaciones en el ámbito civil.
2. El proceso de la tropo difusión comienza cuando una onda electromagnética conteniendo un mensaje es transmitida mediante una antena. Habiendo llegado a la troposfera, pequeños fragmentos de la señal chocan en las partículas existentes en el ambiente y se dispersan en todas direcciones. Los pequeños fragmentos de señal siguen chocando y reflejándose hasta que llegan más allá del alcance de la línea de visión siguiendo la curvatura de la troposfera. Finalmente, algunos de los fragmentos de señal alcanzan la antena receptora a varios cientos de kilómetros de la transmisora. El equipo receptor deberá contar con un amplificador para recuperar la débil señal recibida.

3. Un sistema de tropo difusión no requiere el uso de repetidoras ni satélites; su costo principal de operación radica en el consumo de potencia de los sistemas en funcionamiento y el salario de los operadores; su alcance es de varios cientos de kilómetros y la calidad de la señal transmitida no depende significativamente de las condiciones atmosféricas.
4. El alcance de un enlace de tropo-difusión no es tan amplio como el de una transmisión satelital y el costo del equipo a utilizar puede ser elevado, por lo que aunque la operación sea relativamente económica, la implementación no lo es.
5. En Guatemala existen algunas regiones en donde no existe suministro eléctrico y la cobertura de la telefonía celular no llega. Es en estas áreas donde el uso de la tropo difusión es aplicable. Adicionalmente, se encuentra abierta la posibilidad de tener en el futuro, estaciones en alta mar donde este medio de comunicación podría explotarse.
6. Dentro de la legislación del país se encuentran estipuladas regulaciones generales aplicables para la operación de equipos de telecomunicaciones en los rangos de frecuencia que la tropo difusión utiliza, por lo que dichas normas si pueden ajustarse a la puesta en funcionamiento de sistemas que la utilicen.

RECOMENDACIONES

1. Es necesario consultar con varios proveedores de equipo antes de montar un enlace para obtener la mejor relación costo-beneficio, considerando cuales son las verdaderas necesidades del enlace para no adquirir equipo innecesario.
2. Antes de instalar un equipo de tropo difusión en un área específica, es conveniente monitorear durante algunas semanas o meses si es posible, las condiciones climáticas del lugar para saber a que riesgos se enfrenta el enlace y que medidas de protección se necesitan.
3. Antes de implementar el enlace de tropo difusión, acudir a la Superintendencia de Telecomunicaciones de Guatemala para solicitar los permisos necesarios y pagar los trámites para el uso de las frecuencias requeridas. Debe recordarse que el trámite de autorización puede tardar varios días, por lo que es conveniente planificar con antelación que es lo que se desea instalar y de que forma va a operarse para agilizar la implementación.

BIBLIOGRAFÍA

1. *El Clima de Guatemala*. [en línea]. [ref. de 5 de noviembre de 2010].
Disponible en Web:
<http://internacional.universia.net/latinoamerica/datos-paises/guatemala/clima.htm>
2. *Common definition for amateur radio MS terminology*. [en línea]. [ref. de 15 de noviembre de 2010]. Disponible en Web:
<http://www.kolumbus.fi/oh5iy/back/iaru-pi.html>
3. *Comunicación por medio de satélites*. [en línea]. [ref. de 8 de diciembre de 2010]. Disponible en Web:
<http://comunicacionsatelitar.blogspot.com/>
4. *Comunicación Satelital*. [en línea]. [ref. de 8 de enero de 2011].
Disponible en Web: <http://www.slideshare.net/lilyalex/comunicacion-satelital>
5. CRANE, Robert K.; WENNEMYR, Magnus. *Troposcatter at the Ku Band*. Nueva York: Rome Laboratory, 1994. 85 p.
6. *D-layer ionoscatter on 50MHz*. [en línea]. [ref. de 12 de diciembre de 2010]. Disponible en Web:<http://www.uksmg.org/content/dlayer.htm>

7. HARGREAVES, John Keith. *The high-latitude ionosphere and its effects on radio propagation*. Estados Unidos: Cambridge University Press, 2002. 617 p.
8. *Ionoscatter Lecture 2002*. [en línea]. [ref. de 12 de diciembre de 2010]. Disponible en Web: http://www.qsl.net/oz1rh/ionoscatter/ionoscatter_lecture_2002.doc
9. *The ionospheric layers*. [en línea]. [ref. de 28 de octubre de 2010]. Disponible en Web: http://en.wikipedia.org/wiki/Ionosphere#The_ionospheric_layers
10. MEDINA, Mariano. *Iniciación a la meteorología*. 6ª ed. Madrid: Paraninfo, 1984. 268 p.
11. *Meteor scatter or meteor Burst communications*. [en línea]. [ref. de 28 de octubre de 2010]. Disponible en Web: <http://www.radio-electronics.com/info/propagation/meteor-scatter/meteor-burst-communications.php>
12. RODA, Giovanni. *Tropospheric Scatter and Radio Relay Links*. Italia: Litografía Mariani, 1981. 147 p.
13. RODRÍGUEZ, Rosa María; CAPA, Benito; PORTELA, Adelaida. *Meteorología y climatología*. España: Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, 2004. 141 p.
14. *Salario mínimo para 2011*. [en línea]. [ref. de 18 de mayo de 2011]. Disponible en Web: <http://www.tusalario.org/guatemala/Portada/salario-minimo/minimo>

15. Sistema de comunicación satelital. [en línea]. [ref. de 8 de enero de 2011]. Disponible en Web:
www.satellites.site90.net/Satelites/sistemas_comunicacion.html
16. Superintendencia de Telecomunicaciones. [en línea]. [ref. de 2 de abril de 2011]. Disponible en Web: <http://www.sit.gob.gt>
17. *Troposcatter Bounces Back*. [en línea]. [ref. de 10 de noviembre de 2010]. Disponible en Web: <http://www.military-information-technology.com/mit-home/261-mit-2010-volume-14-issue-6-july/3141-troposcatter-bounces-back.pdf>
18. *Troposcatter Propagation*. [en línea]. [ref. de 2 de diciembre de 2010]. Disponible en Web: <http://www.mike-willis.com/Tutorial/PF9.htm>
19. *Tropospheric scatter*. [en línea]. [ref. de 10 de noviembre de 2010]. Disponible en Web:
http://en.wikipedia.org/wiki/Tropospheric_scatter
20. *What does "RG-6" mean*. [en línea]. [ref. de 15 de abril de 2011]. Disponible en Web:
<http://www.bluejeanscable.com/articles/rg6.htm>
21. ZINDER, Carr. *Newnes Radio and RF Engineering Pocket Book*. 3a ed. Gran Bretaña: Newnes, 2002. 344 p.

