

ESTUDIO DE LAS TECNICAS DE TRANSMISION DE DATOS EN HF

**CARLOS JULIO BENAVIDES BURBANO
HECTOR EFREN MORA ACOSTA**



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE TRANSMISION
GRUPO DE INTERES EN NUEVAS TECNOLOGIAS**

Popayán

2001

ESTUDIO DE LAS TECNICAS DE TRANSMISION DE DATOS EN HF

**CARLOS JULIO BENAVIDES BURBANO
HECTOR EFREN MORA ACOSTA**

Director

VICTOR QUINTERO

Ingeniero en Electrónica y telecomunicaciones

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES

DEPARTAMENTO DE TRANSMISION

GRUPO DE INTERES EN NUEVAS TECNOLOGIAS

Popayán

2001

ACRONIMOS

1F:	Modo de primer orden de F.
2F:	Modo de segundo orden de F.
2G-ALE:	Establecimiento de Enlace Automático de Segunda Generación.
3G-ALE:	ALE de Tercera Generación.
3G-HF:	Sistemas HF de Tercera Generación.
8PSM:	8-level Phase Shift Modulation. Modulación por Desplazamiento de Fase de Nivel 8.
16PSM:	16-level Phase Shift Modulation. Modulación por Desplazamiento de Fase de Nivel 16.
ACK:	Acknowledgment. Carácter de Aceptación.
AFSK:	Modulación Audio FSK.
AGC:	Automatic Gain Control. Control Automático de Ganancia.
ALE:	Automatic Link Establishment. Establecimiento de Enlace Automático.
ALF:	Absorption Limiting Frequency. Frecuencia Límite de Absorción.
AM:	Modulación en Amplitud.
AMD:	Automatic Message Display. Despliegue Automático de Mensajes.
AME:	Automatic Message Exchange. Protocolo de Intercambio de Mensajes Automático de HF.
ANSI:	American National Standards Institute. Instituto de Estándares Nacional Americano.
ant:	Antena.

aplic:	Aplicación.
APRS:	Automatic Packet Position Reporting System. Sistema de Reporte Automático de Posición de Paquete.
APSK:	Modulación Audio PSK.
ARQ:	Automatic Repeat reQuest. Petición Automática de Retransmisión.
ARRL:	American Radio Relay League. Liga de Radioaficionados Americana.
ASCII:	American Standard code for Information Interchange. Estándar de Codificación Americano para el Intercambio de Información.
ASK:	Amplitude Shift Keying. Modulación por Cambio de Amplitud.
ASM:	Amplitude Shift Modulation. Modulación por Cambio de Amplitud.
AX.25:	Amateur X.25 Digital Packet Protocol. Protocolo de Paquetes Digitales X.25 de los Radioaficionados.
BBS:	Bulletin Board System. Mensajería Electrónica.
BCD:	Binary Coder Decimal. Codificador Decimal Binario.
BCH:	Bose Chaudhuri Hocquenghem, error control code. Código de Control de Errores.
Bd:	Baudio.
BER:	Bit Error Ratio. Relación de Errores de Bit.
BERT:	Bit Error Ratio Tester. Medidor de Porcentaje de Errores de Bit.
BLOS:	Beyond Line Of Sight. Más Allá de la Línea de Vista.
bps:	Bits por segundo.
BPSM:	Binary Phase Shift Modulation. Modulación por Desplazamiento de Fase Binaria.
BPSK:	Binary PSK. Desplazamiento Binario de Fase.
BW:	BandWidth. Ancho de Banda.
°C:	Grados Centígrados.
CLC:	Controller Link Circuit. Controlador de Enlace de Circuito.

CLP:	Circuit Link Protocol. Protocolo de Enlace de Circuito.
CM:	Connection Manager. Gestor de Conexión.
COM 1:	Puerto Asincrónico 1.
COM 2:	Puerto Asincrónico 2.
COTHEN:	COTHEN-Customs Over the Horizon Network. Red de Aduanas Sobre el Horizonte.
cps:	caracteres por segundo.
CRC:	Cyclic Redundancy Check. Chequeo de Redundancia Cíclica.
CRPL:	Central Radio Propagation Laboratory. Laboratorio Central de Radio Propagación.
CSMA:	Carrier Sense Multiple Access. Acceso Múltiple por Detección de Portadora.
CSU:	Connection Set-Up. Establecimiento de Conexión.
cubrim:	Cubrimiento.
CW:	Continuous Wave. Onda Continua.
dB:	Decibel.
dBi:	Ganancia de antena respecto de un radiador isotrópico.
DBM:	Data Block Mode. Modo de Bloque de Datos.
dBm:	dB referenciado a mW.
DBPSK:	Diferencial Binaria de PSK.
DBU:	Intensidad de campo esperado en el receptor, medido en dB μ /m.
dBμv:	dB referenciado a μ V.
DFSK:	FSK Diferencial.
DISA:	Defense Information Systems Agency. Agencia del Sistema de Información de Defensa.
DOS:	Disk Operating System. Sistema Operativo de Disco.
DQPSK:	Diferencial QPSK. Modulación Diferencial en Fase de Cuadratura.
DLP:	Data Link Protocol. Protocolo de Enlace de Datos.
DLL:	Data Link Layer. Enlace de Datos.

DPSK:	PSK Diferencial.
DSP:	Digital Signal Processing. Procesamiento Digital de Señales.
DTM:	Data Text Message. Mensajes de Datos de Texto.
E:	Campo Eléctrico.
EHAS:	Enlace Hispano-Americano de Salud.
EHF:	Extremamente Alta Frecuencia.
EIA:	Electronic Industries Association. Asociación de Industrias Electrónicas.
elv:	Elevación.
e-mail:	Correo Electrónico.
EMUF:	Frecuencia Máxima Utilizable de la capa E.
EOM:	End off Message. Mensaje de Terminación.
°F:	Grados Fahrenheit.
FCC:	Federal Communications Commission. Comisión de Comunicaciones Federales Americana.
FCS:	Frame Check Sequence. Secuencia de Chequeo de Trama.
FEC:	Forward Error Correction. Corrección de Errores en Recepción.
FEMA:	Federal Emergency Management Agency. Agencia de Dirección de Emergencia Federal Americana.
FI:	Frecuencia Intermedia.
FM:	Frecuencia Modulada.
Fma:	Valor medio del nivel de ruido atmosférico
FMUF:	Frecuencia Máxima Utilizable de la capa F.
FNARS-FEMA:	National Radio System. Sistema de Radio Nacional FEMA.
FOT:	Frecuencia Optima de Trabajo
FSK:	Frecuency Shift Keying. Modulación de Cambio de Frecuencia.
G:	Soporte de servicio tierra-aire
GB:	Giga Byte.
GHz:	Giga Hz.
GTM:	Hora universal.

Grad:	Grados.
GUI:	Graphical User Interface. Interfaz de Usuario Gráfica.
h:	Hora.
HDL:	High-rate Data Link. Protocolo de Enlace de Datos de Alta Velocidad.
HDLC:	High Data Link Control. Control de Enlace de Datos de Alto Nivel.
HF:	High Frequency. Alta Frecuencia.
HFNC:	HF Node Controller. Controlador de Nodo HF.
hoz:	Horizontal.
HPF:	Frecuencia más probable.
HW:	Hardware. Equipo físico.
I/O:	Entrada Salida.
ICED:	Ionospheric Conductivity and Electron Density. Conductibilidad Ionosférica y Densidad Electrónica.
ICEPAC:	Ionospheric Communications Enhanced Profile Analysis and Circuit Prediction Program. Programa Mejorado de Análisis y Predicción de Circuitos de Comunicaciones Ionosféricas.
ID:	Identification. Identificación.
IEEE:	Institute of Electric and Electronic Engineers. Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
IONCAP:	Ionospheric Communications Analysis Program. Programa de Análisis de Comunicaciones Ionosféricas.
IONOCAP:	Ionospheric Communications Analysis and Prediction. Programa de Análisis y Predicción de Comunicaciones Ionosféricas.
ISA:	Industry Standard Architecture. Arquitectura de Estándares Industriales.
ISDN:	Integrated Services Digital Network. Red Digital de Servicios Integrados.

ISO:	International Organization for Standardization. Organización Internacional para la Estandarización.
ITA2:	International Telegraph Alphabet Number 2. Alfabeto Telegráfico Internacional Número 2.
ITS:	Institute for Telecommunication Sciences. Instituto para las Ciencias de la Telecomunicación.
KHz:	Kilo Hz.
Km:	Kilómetro.
L:	Gran distancia (mayor a 4.000 Km)
LAN:	Local Area Network. Red de Area Local.
LBS:	Less-Significant Bit. Bit Menos Significativo.
LDL:	Low-rate Data Link. Protocolo de Enlace de Datos de Baja Velocidad.
LF:	Low Frequency. Baja Frecuencia.
LMT:	Hora en el punto de incidencia.
Log:	Logarítmico
LOS:	Line Of Sight. Línea de Vista.
Lowfer:	Low Frequency Experimenters. Experimentación con señales débiles.
LP:	Linking Protection. Protección de Enlace.
LPA:	Antena Logarítmica Periódica.
LPCM:	Linking Protection Control Module. Módulo de Control de Protección de Enlace.
LPT 1:	Line Print Terminal. Puerto Paralelo.
LQA:	Link Quality Analysis. Análisis de Calidad del Enlace.
LSB:	Lower SideBand. Banda Lateral Inferior.
LOSS:	Pérdidas totales de transmisión en dB, para el modo más confiable.
M:	Media distancia (400 a 4.000 Km)
m:	Metro.
M²:	Metros cuadrados.

MARS:	Military Affiliated Radio System. Sistema de Radio de Afiliados Militares.
M_ary:	Modulación binaria multinivel.
MAC:	Medium Access Control. Control de Acceso al Medio.
MB:	Mega Byte.
MF:	Medium Frequency. Media Frecuencia.
MHz:	Mega Hz.
MIB-HF:	Management Information Base HF. Base de Información de Gestión de HF.
min:	Minutos.
mm:	Milímetros.
Mo:	Soporte de servicio móvil
MP:	Multi-Path. Multitrayecto.
ms:	milisegundos
MSB:	Most-Significant Bit. Bit Más Significativo.
MTBF:	Mean-Time-Between Failure. Promedio de Tiempo Entre Fallas.
MTRH:	Mean-Time-To-Repair. Promedio de Tiempo de Reparación.
MUF:	Maximun Usable Frequency. Frecuencia Máxima Utilizable.
MUF day:	Probabilidad de que la frecuencia de operación exceda la MUF.
mW:	Mili watt. Mili vatio.
N:	Soporte de servicio para estación de red fija.
NACK:	Confirmación Negativa.
N DBW:	Valor medio de ruido existente en el sitio de recepción, medida en dBw.
NL:	Network Layer. Capa de Red.
NVI:	Near Vertical Incidence. Incidencia Cercana a la Vertical.
Ohmidir:	Omnidireccional.
OSI:	Open System Interconnection. Interconexión de Sistemas Abiertos.

OWF o FOT:	Optimum Working Frequency. Frecuencia Optima de Trabajo.
P:	Soporte de servicio punto a punto.
PABX:	Private Automatic Branch eXchange. PBX Automática.
PBBS:	Personal BBS. BBS Personal.
PBS:	Packet Bulletin Board System. Sistemas de Mensajería Electrónica por Paquetes.
PBX:	Private Branch Exchange. Central Pequeña para Extensiones Electrónicas.
PC:	Computador Personal.
PCMCIA:	Personal Computer Memory Cal International Association. Asociación Internacional de Placas de Memoria para Ordenadores Personales.
PDU:	Protocol Data Unit. Unidad de Datos Protocolar.
PID:	Protocol Identifier. Identificador de Protocolo.
PIN:	Personal Identification Number Authentication. Autenticación de Número de Identificación Personal.
PL:	Physical Layer. Capa Física.
PSK:	Phase Shift Keying. Modulación de Cambio de Fase.
PSK-2:	Desplazamiento de Fase Bifásica.
PSM:	Phase Shift Modulation. Mudulación por Cambio de Fase.
PTT:	Push To Talk. Presionar Para Hablar.
QAM:	Quadrature Amplitude Modulation. Modulación de Amplitud en Cuadratura.
QPSK:	Quadrature Phase Shift Keying. Modulación de Cambio de Fase en Cuadratura.
QPSM:	4-level Phase Shift Modulation: Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura.
RAM:	Random Access Memory. Memoria Temporal.
RF:	Radio Frecuencia.
RLP:	Long Periódica Rotable.

RTCE:	Real Time Channel Evaluation. Evaluación del Canal en Tiempo Real.
RTTY:	Radioteletipo.
rcvd:	Confirmación de recepción de datos sin errores.
Rx:	Receptor.
\$:	Pesos.
S:	Corta distancia (0 a 400 Km).
s:	Segundos.
SCS:	Special Communications System. Sistema de Comunicaciones Especial.
S DBW:	Señal de potencia media disponible en los terminales del receptor, medida en dBw.
SG:	Study Groups. Grupos de Estudio.
SHF:	Súper Alta Frecuencia.
SINAD:	Signal-Plus-Noise-Plus-Distortion to Noise-Plus-Distortion Ratio. Relación de Señal más Ruido más Distorsión a Ruido más Distorsión.
SNMP:	Simple Network Management Protocol. Protocolo de Gestión de Red Simple.
SNMPv2:	SNMP Versión 2.
SNR:	Signal-Noise-Ratio. Relación de Señal a Ruido.
SSB:	Single SideBand. Banda Lateral Unica.
SW:	Software.
TAPR:	Tucson Amateur Packet Radio. Aficionados de Radio Paquete Tucson.
TCM:	Trellis-Coded Modulation. Modulación de Codificación de Enrejado.
TCP/IP:	Transmission Control Protocol/Internet Protocol. Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet.
TIA:	Telecommunications Industries Association. Asociación de Industrias de Telecomunicaciones.

TID:	Travelling Ionospheric Disturbances. Perturbaciones Viajeras de la Ionosfera.
TLC:	Transmit Level Control. Control del Nivel de Transmisión.
TM:	Traffic Manager. Gestor de Tráfico.
TNC:	Terminal Node Controller. Controlador de Nodo Terminal.
TSU:	Traffic Set-Up. Establecimiento de Tráfico.
TV:	Televisión.
Tx:	Transmisor.
μV:	Micro Voltios
UDP:	User Datagram Protocol. Protocolo de Datagrama de Usuario.
UHF:	Ultra Alta Frecuencia.
UIT:	Unión Internacional de Telecomunicaciones.
UIT-R:	Unión Internacional de Telecomunicaciones-Radio.
UIT-T:	Unión Internacional de Telecomunicaciones-Telecomunicaciones.
USB:	Upper SideBand. Banda Lateral Superior.
V:	Voltios.
Vac:	Voltaje de corriente alterna.
VFCT:	Voice Frequency Carrier Telegraph. Portadoras Telegráficas de Frecuencia de Voz.
V HITE:	Altura virtual de reflexión en Km.
VHF:	Muy Alta Frecuencia.
VLF:	Muy Baja Frecuencia.
VOA:	Voice Of America. Voz de América.
VOACAP:	Voice of America Coverage Analysis Program. Programa de Análisis de Cobertura de la Voz de América.
W:	Watt. Vatio.
WAN:	Wide Area Network. Red de Area Extensa.
WG:	Wireless Gateway. Gateway Inalámbrico.
WMT:	Wireless Message Terminal. Terminal de Mensajes Inalámbrico.

wpm: Words Per Minute. Palabras por minuto.

YAPP: Yet Another Packet Protocol. Protocolo de Transferencia Binaria.

CONTENIDO

INTRODUCCION	1
1. INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE COMUNICACION VIA RADIO	3
1.1 INTRODUCCION	3
1.2 ESPECTRO ELECTROMAGNETICO	4
1.2.1 Espectro de Radiofrecuencia.	4
1.2.2 Tipos de propagación de las ondas de radio.	6
1.2.2.1 Ondas terrestres.	6
1.2.2.2 Ondas celestes.	7
1.3 INTRODUCCION A LA PROPAGACION EN HF	7
1.3.1 La Ionosfera.	7
1.3.2 Regiones o capas de la Ionosfera.	7
1.4 COMUNICACIONES EN HF	9
1.4.1 Tipos de propagación en HF.	9
1.4.2 Frecuencia límite de onda de cielo.	10
1.4.3 Rango de frecuencias utilizable.	11
1.4.4 Longitud del salto.	11
1.4.5 Modos de propagación de onda celeste o ionosférica.	12
1.4.6 Frecuencia, alcance y ángulo de elevación.	14
1.4.6.1 Fijación del ángulo de elevación.	14
1.4.6.2 Fijación de la longitud del trayecto (circuito punto a punto).	14
1.4.6.3 Fijación de la frecuencia.	15
1.4.7 Zonas de salto.	15
1.4.8 Desvanecimiento.	16
2. SISTEMAS DIGITALES DE TRANSMISION DE DATOS VIA HF	18
2.1 INTRODUCCION	18
2.2 SISTEMA BASICO PARA LA COMUNICACION DIGITAL EN HF	19

2.2.1	Generalidades del sistema.	19
2.2.1.1	Transceptor.	19
2.2.1.2	Módem.	19
2.2.1.3	Ordenador personal (PC).	20
2.2.1.4	Programa informático o SW.	20
2.2.2	Conexión entre el PC y el equipo de radio HF.	20
2.2.3	Conexión del módem al equipo de radio y al PC.	20
2.3	ESQUEMAS DE MODULACION DIGITAL EN RADIO HF	21
2.3.1	Modulación de portadora.	23
2.4	MODOS DIGITALES DESARROLLADOS POR RADIOAFICIONADOS	23
2.4.1	CW (Onda Continua).	24
2.4.2	Radioteletipo (RTTY).	24
2.4.3	SITOR (Simplex Teleprinting Over Radio).	26
2.4.4	AMTOR (Amateur Telex Over Radio).	26
2.4.5	FACTOR I y FACTOR II.	27
2.4.6	Packet Radio (Radio Paquete).	30
2.4.7	G-TOR.	34
2.4.8	CLOVER y CLOVER II.	36
2.4.8.1	Formas de onda Clover.	36
2.4.8.2	Clover FEC.	37
2.4.8.3	Clover ARQ.	37
2.4.9	PSK31.	38
2.4.10	Coherent BPSK (C-BPSK).	38
2.4.11	MT63.	39
2.4.12	NEWQPSK.	39
2.5	ESQUEMAS DE CODIFICACION Y MODULACION AVANZADOS EN HF	39
2.5.1	Operación en tono paralelo.	40
2.5.2	Operación en tono serial.	41
2.6	RECOMENDACIONES ITU PARA LA TRANSMISION DE DATOS EN HF	43
2.6.1	Recomendación UIT-R F.763-4.	44

2.6.2 Recomendación UIT-R F.1110-2.	47
2.7 FENOMENOS QUE AFECTAN LA TRANSMISION DE DATOS EN HF	47
2.7.1 Desvanecimiento.	47
2.7.1.1 Desvanecimiento por interferencia.	47
2.7.1.2 Desvanecimiento por polarización.	48
2.7.1.3 Desvanecimiento por desenfocamiento.	48
2.7.1.4 Desvanecimiento por absorción.	48
2.7.2 Dispersión.	48
2.7.2.1 Dispersión de tiempo.	48
2.7.2.2 Dispersión de frecuencia (Dispersión Doppler- Doppler Spread).	49
2.7.3 Ruido en el sistema receptor.	49
2.8 ATENUACION DE LOS EFECTOS DAÑINOS EN LA PROPAGACION	49
2.8.1 Diversidad de espacio.	50
2.8.2 Diversidad de tiempo.	50
2.8.3 Diversidad de frecuencia.	50
2.8.4 Diversidad de polarización.	50
3. CRITERIOS DE DISEÑO PARA REDES BASADAS EN HF	51
3.1 REQUERIMIENTOS PARA LA RADIO HF AUTOMATICA Y ADAPTABLE	51
3.1.1 Definición y alcance de los sistemas adaptables.	51
3.1.2 La Radio HF automática y adaptable.	51
3.1.2.1 Nivel de adaptabilidad de transmisión.	52
3.1.2.2 Nivel de adaptabilidad de enlace.	52
3.1.2.3 Nivel de adaptabilidad de red.	53
3.1.2.4 Nivel de adaptabilidad del sistema.	54
3.1.2.5 Evaluación del canal en tiempo real (RTCE-Real Time Channel Evaluation).	54
3.1.3 Soluciones a las necesidades del usuario.	54
3.1.4 Principios y componentes de los sistemas de radio HF automáticos y adaptables.	55
3.2 ESTABLECIMIENTO DE ENLACE AUTOMATICO (ALE)	55

3.2.1	Contexto.	55
3.2.2	Transmisiones ALE y el formato de palabra.	56
3.2.3	Protocolos.	56
3.2.3.1	Exploración.	56
3.2.3.2	Llamada selectiva.	57
3.2.3.3	Llamada Individual.	57
3.2.3.4	Sondeo.	57
3.2.3.5	Operaciones de estación múltiple.	57
3.2.4	Mensajes telegráficos.	58
3.2.5	Análisis de la calidad del enlace (LQA).	58
3.2.6	Configuraciones de la red.	58
3.2.7	Direccionamiento.	58
3.2.7.1	Direcciones de estación individuales.	58
3.2.7.2	Direcciones de estación múltiple.	59
3.2.7.2.1	Direcciones de red.	59
3.2.7.2.2	Direcciones de grupo.	59
3.2.7.3	Modos de direccionamiento especial.	60
3.3	TECNOLOGIA DE TERCERA GENERACION EN LA RADIO	
	ALE DE HF	60
3.3.1	Protocolo de mensajes de tercera generación.	60
3.3.1.1	Contexto.	61
3.3.1.2	Formas de onda.	62
3.3.1.3	Administrador de Conexión.	62
3.3.1.4	Exploración.	62
3.3.1.5	Direccionamiento.	62
3.3.1.6	Notificaciones.	63
3.3.1.7	Gestión de canales llamantes.	64
3.3.1.8	La ventana sincrónica.	64
3.3.1.8.1	Estructura de una ventana sincrónica.	64
3.3.1.8.2	Generalidades de la llamada sincrónica.	64
3.3.1.9	PDU de 3G-ALE.	65
3.3.1.9.1	PDU de Sondeo (Prueba).	65
3.3.1.9.2	PDU de establecimiento de conexión (Aceptación).	66

3.3.1.9.3 PDU de notificación.	66
3.3.1.9.4 PDU de transmisión.	66
3.3.1.9.5 PDU de exploración de llamada.	67
3.3.1.10 Establecimiento de enlaces punto a punto.	67
3.3.1.11 Llamadas multidifusión.	67
3.3.1.12 Administrador de tráfico.	68
3.3.1.13 Protocolos de enlace de datos.	68
3.3.1.13.1 Protocolo de enlace de datos de alta velocidad (HDL- High-rate Data Link).	68
3.3.1.13.1.1 PDU de enlace de datos de alta velocidad.	69
3.3.1.13.1.2 Procesamiento ARQ de alta velocidad.	70
3.3.1.13.2 Protocolo de enlace de datos de baja velocidad (LDL- Low-rate Data Link).	70
3.3.1.13.2.1 PDUs de enlace de datos de baja velocidad.	71
3.3.1.13.2.2 Procesamiento ARQ de baja velocidad.	72
3.3.1.14 Desempeño del enlace de datos.	73
3.3.1.15 Protocolo de enlace de circuito.	73
3.3.1.15.1 Generalidades.	73
3.3.1.15.2 Comportamiento.	73
3.3.1.15.3 Modelamiento.	74
3.3.1.15.4 Modelamiento de la Capa Física.	74
3.3.1.15.5 Modelamiento del comportamiento de la forma de onda.	75
3.4 GUIA PARA LA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA	75
3.4.1 Introducción.	75
3.4.2 Guía para la implementación de una red HF.	75
3.4.3 Resumen de estándares aplicables.	76
3.5 GESTION DE REDES DE RADIO HF	76
3.5.1 Gestión de frecuencia.	77
3.5.2 Gestión del administrador de red.	77
3.5.3 Gestión general de red.	78
3.5.3.1 Requisitos de gestión de redes de HF.	78
3.5.3.2 Aplicabilidad del SNMP para la gestión de redes de HF.	78
3.5.3.3 Control de acceso.	80

3.5.3.4	Protección de enlace.	81
3.5.3.5	Gestión Proxy.	81
3.6	METODOS DE PREDICCIÓN DEL RENDIMIENTO	81
3.6.1	Requerimientos del sistema.	82
3.6.1.1	Requerimientos de transmisión.	82
3.6.1.2	Proceso de gestión del espectro.	83
3.6.2	Predicción y pronóstico.	83
3.6.3	Componentes de los programas de predicción de onda celeste.	84
3.6.4	Introducción a los Modelos de predicción más utilizados.	85
3.6.5	Parámetros ionosféricos utilizados en los modelos de predicción.	87
3.6.6	Modelos y datos de ruido.	88
3.6.7	Técnicas de predicción a corto plazo.	86
3.7	LA RADIO HF EN LA INFRAESTRUCTURA	
	MUNDIAL DE INFORMACION	89
3.7.1	Incorporación al Internet.	89
3.7.1.1	Compatibilidad.	91
3.7.1.2	Limitaciones del funcionamiento.	92
3.7.1.3	Interfaces de HF con Internet.	92
3.7.2	Capacidades de los nuevos estándares para la automatización del HF.	92
3.7.2.1	Controladores de nodo HF (HFNC).	92
3.7.2.2	Protocolos de capa de red.	94
3.7.2.3	Gestión de Redes HF.	95
3.8	EVEREST/TCM PARA LA PROXIMA GENERACION DE	
	MODEMS DE HF.	95
3.8.1	EVEREST.	95
3.8.2	TCM.	95
4.	APLICACION DEL SISTEMA. ESTUDIO Y GUIA COMPLETA	
	DE DISEÑO DE UNA RED DE HF E-MAIL	96
4.1	INTRODUCCION	96
4.2	GUIA DE ANALISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL	
	SISTEMA	96
4.2.1	Análisis de requerimientos para el sistema de comunicaciones.	96

4.2.1.1	Esquemas de Troncales/enrutamiento.	99
4.2.1.2	Plan de frecuencias.	100
4.2.1.3	Requerimientos del personal de trabajo.	101
4.2.1.4	Requerimientos de soporte.	101
4.2.1.5	Requerimientos de usuarios.	101
4.2.1.6	Servicios requeridos (voz, datos, imagen).	102
4.2.1.7	Relación de señal a ruido requerida.	102
4.2.1.8	Modulación de datos.	102
4.2.1.9	Disponibilidad de circuito requerida.	102
4.2.1.10	Tiempo de vida del sistema.	102
4.2.1.11	Puesta en marcha del sistema.	103
4.2.2	Estimación de costos.	103
4.2.2.1	Costos de inicio.	103
4.2.2.2	Costo de los equipos.	104
4.2.2.3	Costos de instalación.	104
4.2.3	Análisis de ingeniería detallado.	105
4.2.3.1	Topología de red.	105
4.2.3.2	Estudio de sitio/campo.	105
4.2.3.2.1	Topografía.	106
4.2.3.2.2	Características del terreno.	106
4.2.3.2.3	Zona de reflexión.	106
4.2.3.2.4	Obstáculos.	106
4.2.3.2.5	Requerimientos de área terrestre.	106
4.2.3.3	Análisis de ruido y pérdidas de propagación en el sistema.	107
4.2.3.4	Constantes terrestres.	108
4.2.3.5	Requerimientos generales del sitio.	108
4.2.3.5.1	Disponibilidad.	108
4.2.3.5.2	Conveniencia.	108
4.2.3.5.3	Accesibilidad.	109
4.2.3.5.4	Seguridad.	109
4.2.3.6	Procedimientos para el estudio del sitio.	109
4.2.3.7	Planes de construcción.	109
4.2.3.8	Sistema de antena.	109

4.2.3.8.1 Esquema de antena.	109
4.2.3.8.2 Características de la antena.	109
4.2.3.9 Esquema del sitio.	111
4.2.3.10 Parámetros operacionales del trayecto.	112
4.2.3.10.1 Cálculo del enlace HF: Popayán - Miranda.	113
4.2.3.11 Especificación de la red E-mail HF.	117
4.2.3.11.1 Arquitectura del sistema.	119
4.2.3.11.2 Topología del sistema.	119
4.2.3.11.3 Componentes HW y SW.	120
4.2.3.11.3.1 Componentes HW.	122
4.2.3.11.3.2 Componentes SW.	123
4.2.3.11.3.3 Equipos y fabricantes	124
4.2.3.11.3.4 Selección del fabricante	125
4.2.3.11.3.5 Antena.	129
4.2.3.12 Configuración y prueba del sistema.	132
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	133
GLOSARIO	140
BIBLIOGRAFIA	144

CONTENIDO

ANEXO A. ELEMENTOS EN UN SISTEMA DE RADIO HF	1
A.1 TRANSMISOR	1
A.2 RECEPTOR	2
A.3 ANTENA	2
A.3.1 Características y parámetros de las antenas.	2
A.3.1.1 Impedancia de una Antena.	3
A.3.1.2 Directividad.	3
A.3.1.3 Ganancia.	3
A.3.1.4 Angulo de elevación.	4
A.3.1.5 Polarización.	4
A.3.2 Tipos de antenas.	4
A.3.2.1 Antena látigo (vertical whip).	4
A.3.2.2 Dipolo de media onda.	5
A.3.2.3 El dipolo en V invertida.	5
A.3.2.4 Antenas direccionales.	6
A.4. UTILIZACION DE LAS BANDAS DE HF EN COLOMBIA	7

CONTENIDO

ANEXO B. GUIA DEL ADMINISTRADOR DE RED PARA LA GESTION DEL SISTEMA	1
B.1 INTRODUCCION	1
B.2 EL ADMINISTRADOR DE RED EN LA GESTION DE REDES DE RADIO HF CON ALE	2
B.2.1 Planificación de la red.	2
B.2.1.1 Objetivos y requerimientos.	3
B.2.1.2 Análisis de costos y Beneficios.	4
B.2.1.3 Diseño de la red.	4
B.2.1.3.1 Ubicación física.	5
B.2.1.3.2 Tipo de equipos.	5
B.2.1.3.3 Tráfico.	5
B.2.1.3.4 Clases de tráfico.	6
B.2.1.3.5 Requerimientos especiales.	6
B.2.1.3.6 Disponibilidad/Fiabilidad.	6
B.2.1.3.7 Seguridad.	7
B.2.1.3.8 Mantenimiento.	7
B.2.1.3.9 Gestión y control de red.	7
B.2.1.3.10 Expansión.	7
B.2.1.4 Diseño funcional.	7
B.2.1.5 Metodología del diseño.	8
B.2.1.6 Adquisición y selección de los equipos.	9
B.2.1.7 Diseño para la eficiencia.	9
B.2.2 Implementación de la red.	9
B.2.2.1 Parámetros de ALE.	10
B.2.2.2 Fijación y asignación de Frecuencias.	10
B.2.2.3 Direcciones de estación y de red.	11

B.2.2.4	Procedimientos de las funciones estándar de red.	13
B.2.3	Preparación de la ubicación de la red.	14
B.2.4	Instalación de la red.	14
B.2.5	Pre-configuración de red.	14
B.2.5.1	Asistencia a los usuarios en el funcionamiento y configuración de la red.	15
B.2.5.2	Coordinación/instalación de Frecuencias.	15
B.2.6	Configuración de la red.	15
B.2.7	Funcionamiento de red.	15
B.2.7.1	Gestión de configuración.	15
B.2.7.2	Solución de problemas o fallas de red.	15
B.2.7.3	Gestión del desempeño.	16
B.2.7.4	Mantenimiento de la red.	16
B.2.7.5	Satisfacción del usuario.	16
B.2.7.6	Mantenimiento en la dirección y la frecuencia.	17
B.2.7.7	Gestión de seguridad.	17
B.3	GESTION DE REDES DE HF AUTOMATIZADAS	19
B.4	EJEMPLOS DE REDES DE DATOS DE RADIO HF	20

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Espectro de Radio Frecuencia.	5
Figura 2. Trayectos de propagación para las ondas de radio HF.	7
Figura 3. Estructura de la Ionosfera durante el día y la noche.	8
Figura 4. Tipos de propagación en HF.	10
Figura 5. Rango de frecuencias utilizables.	12
Figura 6. Longitud del salto.	13
Figura 7. Ejemplo de los modos de propagación simple.	13
Figura 8. Otros modos de propagación.	14
Figura 9. Fijación del ángulo de elevación y de la longitud del trayecto.	15
Figura 10. Fijación de la frecuencia.	16
Figura 11. Desvanecimiento multitrayecto.	17
Figura 12. Concentración y desenfoque de la señal, efectos. causados por el tilt (inclinación) y las TIDs.	17
Figura 13. Sistema básico para la transmisión de datos en HF.	19
Figura 14. Código Asíncrono.	25
Figura 15. Diagrama de tiempos de AMTOR ARQ.	27
Figura 16. Paquete de información PACTOR.	28
Figura 17. Diagrama de tiempos de PACTOR.	28
Figura 18. Estructura del paquete.	32
Figura 19. Estructura de un paquete G-TOR.	35
Figura 20. Tiempos de ciclo en ARQ para G-TOR.	35
Figura 21. Probabilidad de bits erróneos en función de la SNR para un canal con desvanecimiento selectivo.	46
Figura 22. Diagrama en bloques del sistema de radio HF adaptable.	56
Figura 23. Estructura de dirección de modo sincrónico.	59
Figura 24. Vista conceptual de la arquitectura 3G.	61
Figura 25. Estructura de una ventana sincrónica.	64

Figura 26. PDUs de 3G-ALE.	66
Figura 27. Transferencia de datos HDL.	69
Figura 28. PDUs de enlace de datos de alta velocidad.	70
Figura 29. Codificación y modulación de BW2 de la PDU HDL_DATA.	71
Figura 30. Transferencia de datos LDL.	72
Figura 31. PDUs de enlace de datos de baja velocidad.	72
Figura 32. Codificación y modulación de BW3 de la PDU HDL_DATA.	73
Figura 33. Gestión de red.	78
Figura 34. Gestión de nodos de red de HF.	78
Figura 35. Protocolos de interrelación.	80
Figura 36. Flujo de datos en una radio protegida.	81
Figura 37. Componentes de un Programa de Predicción de Onda Celeste.	85
Figura 38. Servicio de voz o datos hacia localidades remotas.	90
Figura 39. Plataformas móviles.	90
Figura 40. Conexión a redes.	91
Figura 41. Gateway Internet de radio HF.	90
Figura 42. Visión general de la automatización del HF.	93
Figura 43. Ubicación geográfica de los puntos de red.	99
Figura 44. Topología de redes de radio HF.	106
Figura 45. Interface de entrada.	113
Figura 46. Resultados de las MUFs.	114
Figura 47. Resultados del campo Eléctrico y potencias de ruido y recepción.	116
Figura 48. Gráfica generada por VOACAP.	117
Figura 49. Ubicación geográfica de las estaciones.	118
Figura 50. Arquitectura del sistema E-mail HF.	119
Figura 51. Topología de red en estrella para el sistema de E-mail HF.	120
Figura 52. Configuración total del sistema E-mail HF.	121
Figura 53. Interface gráfica de Outlook Express para E-mail HF.	123
Figura 54. Gateway RF-6750.	126
Figura 55. Gateway RF-6710W.	127
Figura 56. Radio RF-5800H-MP.	127

Figura 57. Módem RF-5710.	128
Figura 58. Antenas aplicables al sistema de E-mail HF.	129
Figura 59. Cable de RS-232 y coaxial RG-8.	130
Figura 60. Conexión a tierra de la antena.	131
Figura 61. Conexión de los componentes del sistema.	131

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Designación de las bandas de radiofrecuencia.	4
Tabla 2. Usos de las bandas de RF.	6
Tabla 3. Tonos designados para la marca y el espacio.	25
Tabla 4. Modos de modulación de CLOVER II.	37
Tabla 5. Plan de frecuencias para HF (VFCT).	40
Tabla 6. Probabilidad de error vs SNR.	42
Tabla 7. SNR vs Probabilidad de error.	43
Tabla 8. Técnicas de adaptabilidad y técnicas asociadas.	52
Tabla 9. Niveles de adaptabilidad de comunicaciones de HF.	53
Tabla 10. Apreciación de las características de las formas de onda.	63
Tabla 11. Probabilidad de selección de intervalo.	65
Tabla 12. Dificultades en el modelamiento de la predicción.	82
Tabla 13. Variaciones temporales de los efectos del HF.	84
Tabla 14. Modelos de predicción de propagación de onda celeste.	86
Tabla 15. Conjuntos de coeficientes ionosféricos.	88
Tabla 16. Niveles de funcionalidad del HFNC.	94
Tabla 17. Distancia de separación de los sitios involucrados en la red.	98
Tabla 18. Frecuencias de propagación.	110
Tabla 19. Angulo de elevación vs distancia.	110
Tabla 20. Angulo de elevación vs distancia del enlace.	111
Tabla 21. Características principales en las antenas para HF.	112
Tabla 22. Coordenadas geográficas.	113
Tabla 23. Análisis de resultados.	116
Tabla 24. Características técnicas del cable coaxial RG-8.	130
Tabla 25. Comparación de los modos de transmisión de datos en HF.	134
Tabla 26. Comparación de precios de equipos para HF digital.	139

LISTA DE FIGURAS

Figura A.1. Diagrama simplificado de un transmisor de HF típico.	1
Figura A.2. Diagrama simplificado de un receptor de HF.	2
Figura A.3. Directividad y Patrón de radiación.	3
Figura A.4. Antena látigo vertical y su patrón de radiación.	5
Figura A.5. Dipolo horizontal con alimentación central.	5
Figura A.6. Antena en V invertida.	6
Figura A.7 Antenas direccionales.	6

LISTA DE TABLAS

Tabla A.1 Atribución de bandas de frecuencias.	7
--	---

LISTA DE FIGURAS

Figura B.1	Actividades del administrador de red en la gestión de redes con ALE.	2
Figura B.2	Actividades de la planificación de la red.	3
Figura B.3	Actividades del diseño de la red.	4
Figura B.4	Actividades en la implementación de la red.	10

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. ELEMENTOS EN UN SISTEMA DE RADIO HF

ANEXO B. GUIA DEL ADMINISTRADOR DE RED PARA LA GESTION DEL
SISTEMA

INTRODUCCION

El desarrollo de la tecnología ha incrementado la capacidad de los sistemas de comunicaciones, los cuales han ingresado en el mundo de la industria, educación, salud, comercio, gobierno, defensa, brindando soluciones a los diferentes requerimientos de los usuarios, llegando a convertirse en una necesidad.

La sociedad se adapta fácilmente a los cambios tecnológicos, por tal razón las naciones deben actualizar sus conocimientos para no ser desplazadas a los campos del subdesarrollo. Pero para seguir los grandes pasos de la ciencia es necesario contar con una infraestructura básica, la cual no todos los países la poseen. Existen países que en pleno siglo XXI, no cuentan con los servicios básicos como acueducto, alcantarillado, energía eléctrica o teléfono.

La comunicación por HF tuvo su auge en la segunda guerra mundial como apoyo de comunicaciones en los comandos militares, pero en las décadas siguientes el desarrollo de otros sistemas más versátiles relegó al HF a un segundo plano, calificándolo como un sistema de largo alcance pero de baja fiabilidad. Los nuevos sistemas de comunicaciones brindan un excelente servicio a los usuarios, debido a su potencialidad, pero la infraestructura y la inversión necesaria para implementarlos es muy elevada, por lo que no todas las naciones están en capacidad de utilizar estas tecnologías. Los elevados costos, la infraestructura básica necesaria y el dominio de los conocimientos que las fundamenta, incrementan la gran diferencia entre las naciones desarrolladas y subdesarrolladas.

Desde la década de los años setenta, se han desarrollado nuevas posibilidades de transmisión de datos en medios alternos a los normalmente utilizados, puesto que en los últimos años, estos han presentado una saturación de usuarios. El trabajo de entidades gubernamentales, militares y privadas, ha desarrollado un nuevo sistema que posibilita al HF como un sistema eficaz en el campo de la transmisión de datos. Esta nueva tecnología combina la experiencia lograda por organizaciones de radioaficionados, y el control del sistema por medio de la automatización. Esta nueva tecnología ha permitido que sectores de la sociedad con muy bajas posibilidades de implementar infraestructuras modernas de comunicaciones, tengan acceso a las redes mundiales de información.

Es así como sectores marginados en la geografía mundial, con escasos recursos económicos y limitados conocimientos, tienen la posibilidad de interconectarse a servidores de información, enviar correo electrónico, o simplemente intercambiar información, la cual puede ser de gran importancia para su sociedad. Estos

sistemas permiten el intercambio de voz, fax, datos y e-mail, entre usuarios ubicados en sitios muy remotos, donde el acceso por medios normales de comunicación puede ser casi imposible.

En Colombia, no existe un cubrimiento total de la red de comunicaciones nacional. Algunas regiones se encuentran completamente aisladas del gobierno central, desamparadas de los servicios básicos a los cuales deberían tener acceso. La aplicación del nuevo sistema de radio HF digital, es una gran alternativa de solución a los problemas de comunicación en estas comunidades, haciendo necesario el manejo de estas nuevas técnicas para una posible aplicación en el país.

El desarrollo de nuevas técnicas de codificación y modulación, soportan la radio HF automatizada. Es así como hoy en día se puede disfrutar del servicio robusto de transmisión de datos con la aplicación de técnicas de corrección de errores como FEC y ARQ en un sistema de comunicación altamente afectado por el ruido y los cambios atmosféricos.

Para el estudio de las técnicas de transmisión de datos en HF, este documento esta formado por cinco capítulos. En el primer capítulo se desarrolla una introducción a los sistemas de radiofrecuencia, resaltando las características de las comunicaciones vía Ionosfera. En el segundo capítulo se presenta un análisis de las diferentes técnicas de modulación aplicadas al HF, considerando los fenómenos que afectan este medio; también se presenta los avances logrados por las ligas de radioaficionados a nivel mundial, los cuales son importantes puesto que se han convertido en normas de carácter internacional. El capítulo tres contiene la fundamentación básica del sistema de establecimiento de enlace automático de tercera generación (3G-ALE). El capítulo cuarto esta formado por el análisis y procedimientos necesarios para la implementación de una red HF con ALE, aplicando herramientas SW de predicción HF; para la aplicación de los procedimientos expuestos se desarrolla un sistema de transmisión de datos HF con servicio de correo electrónico en el Departamento del Cauca, teniendo en cuenta regiones de diferentes características geográficas. Finalmente, en el capítulo quinto se presenta las conclusiones y recomendaciones de estas nuevas tecnologías.

1. INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE COMUNICACION VIA RADIO

1.1 INTRODUCCION

Desde sus orígenes, el hombre ha tenido la necesidad de comunicarse, y para lograrlo ha utilizado diferentes métodos: señales ópticas, acústicas o llevando mensajes de un lugar a otro utilizando animales como medio de transporte, buscando siempre una mayor eficiencia.

La evolución de las redes de telecomunicaciones ha dependido del desarrollo de materiales conductores, la explotación del espectro radioeléctrico y el diseño de equipos para generar y recibir señales de radio. Por ello, las telecomunicaciones son fruto de los descubrimientos de la física desde antes de la primera revolución industrial, aunque su desarrollo se hace presente desde el siglo XIX.

Los aportes científicos y tecnológicos de la electrónica, microelectrónica, óptica, cibernética, entre otros, en el siglo XX, incidieron directamente en el perfeccionamiento de las primeras redes y la diversificación de servicios.

Durante la segunda guerra mundial y debido a esta, la industria de las comunicaciones sufren grandes cambios, llevando a un periodo de crecimiento de las comunicaciones vía radio en altas frecuencias (HF- High Frequency). Sin embargo, el sistema de comunicación HF conocido también como onda corta, esta experimentando hoy en día un renacer, impulsado por el desarrollo de nuevas tecnologías.

La llegada de las comunicaciones satelitales en los años sesenta, inician un periodo de desinterés por la radio HF, ya que los satélites poseen un mayor número de canales y manejan transmisión de datos a mayores velocidades; así la radio HF fue relegada a un papel de Backup (respaldo o soporte). En los últimos años, se ha intensificado las actividades de investigación y desarrollo; una nueva generación de equipos HF automatizados ha aparecido, proporcionando mejoras en la conectividad y confiabilidad del enlace HF. Hoy en día los sistemas de radio HF adaptativos son conocidos como un medio robusto y altamente competitivo para comunicaciones a largas distancias, ofreciendo mayores capacidades.

1.2 ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

El espectro electromagnético se extiende desde ondas de radio extremadamente largas, hasta los rayos cósmicos. Las cuatro principales categorías de radiación electromagnética son:

- De 30 KHz a 300.000 MHz, ondas de Radio Frecuencia (RF).
- De 1×10^{13} a $2,5 \times 10^{14}$ Hz, rayos infrarrojos (por debajo de la frecuencia de la luz visible roja).
- Frecuencias de luz visible desde aproximadamente $2,5 \times 10^{14}$ Hz, para el rojo, hasta 8×10^{14} Hz, para el azul y el violeta.
- Radiación ionizante (como los rayos ultravioleta, rayos x, rayos gama y rayos cósmicos), desde aproximadamente 8×10^{14} Hz, para luz violeta, hasta por encima de 5×10^{20} Hz, para los rayos cósmicos.

1.2.1 Espectro de Radiofrecuencia. El espectro de radiofrecuencias hace referencia a cómo está dividido todo el ancho de banda que se puede emplear para transmitir diversos tipos de señales de radio. La relación completa se muestra en la tabla 1. La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) ha definido las bandas de frecuencia, de la siguiente manera:

Banda No	Rango de Frecuencia	Subdivisión Métrica	Designación De frecuencia
4	3 - 30 KHz	Ondas miriamétricas	Muy baja (VLF)
5	30 - 300 KHz	Ondas kilométricas	Baja (LF)
6	300 - 3.000 KHz	Ondas hectométricas	Media (MF)
7	3- 30 MHz	Ondas decamétricas	Alta (HF)
8	30 - 300 MHz	Ondas métricas	Muy alta (VHF)
9	300 - 3.000 MHz	Ondas decimétricas	Ultra alta (UHF)
10	3 -30 GHz	Ondas centimétricas	Súper alta (SHF)
11	30 - 300 GHz	Ondas milimétricas	Extremamente alta (EHF)
12	300 - 3.000 GHz	Ondas decimilimétricas	-----

Tabla 1. Designación de las bandas de radiofrecuencia.

En la figura 1 se observa el espectro de RF y algunas de sus principales aplicaciones.

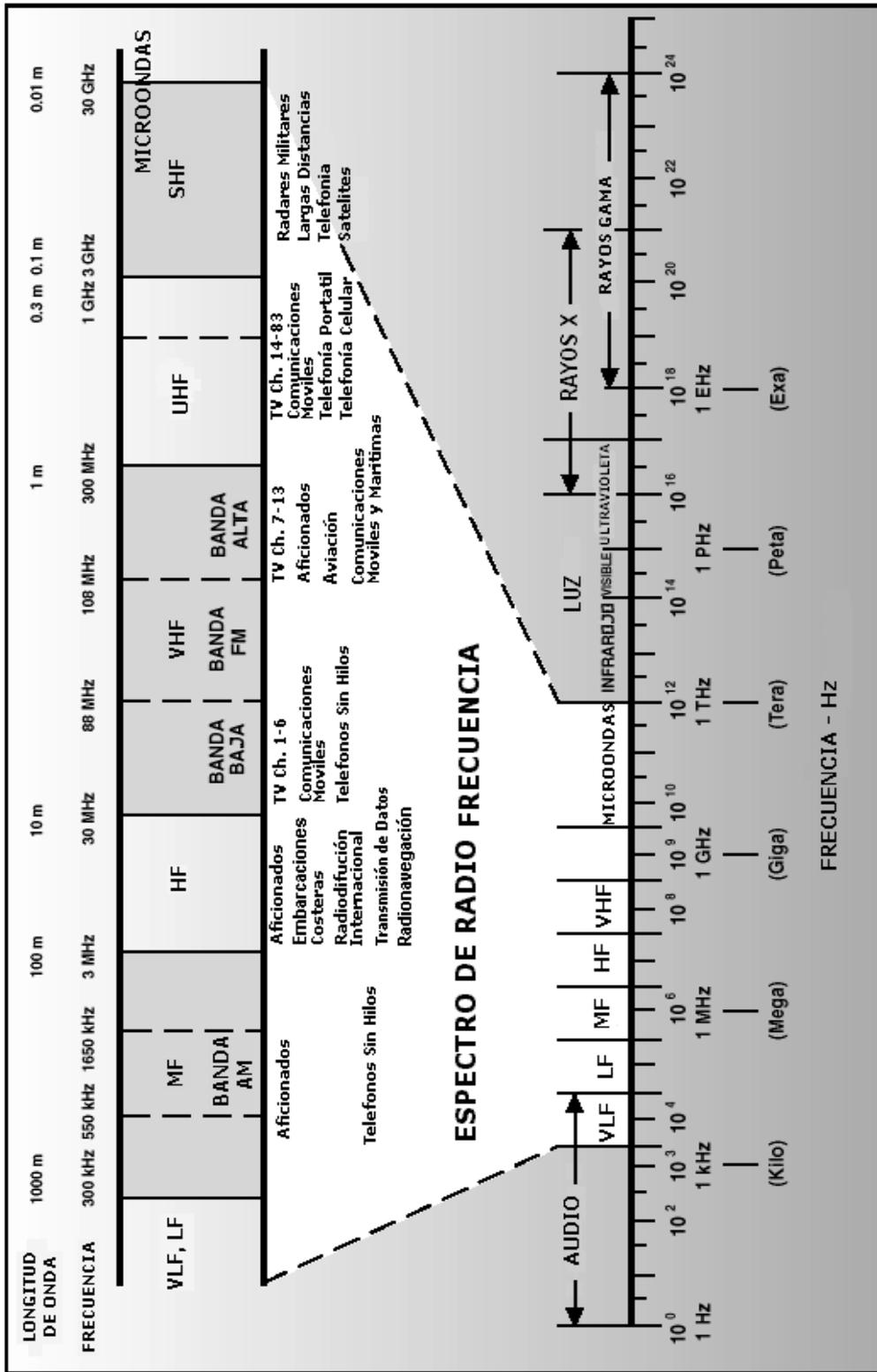


Figura 1. Espectro de Radio Frecuencia.

Los diferentes usos dados a las bandas de RF, se resumen en la tabla 2.

BANDA	USOS DE LA BANDA
VLF	Ayudas de Radionavegación; Comunicaciones marítimas y aeronáuticas.
LF	Comunicaciones marítimas y de navegación; Cable submarino.
MF	Radiodifusión AM.
HF	Sistemas de radionavegación; Comunicaciones fijas y móviles (analógicas y digitales); Aplicaciones industriales, científicas y médicas; Banda de radio civil; Radioaficionados.
VHF	Servicios de TV, Radio FM; Comunicaciones fijas y móviles; Radioaficionados; Navegación aérea.
UHF	Servicio de TV; Radionavegación aérea; Comunicaciones fijas y móviles; Radioaficionados; Microondas, radar.
SHF	Microondas; Comunicaciones satelitales; Navegación; Experimental.
EHF	Experimental.

Tabla 2. Usos de las bandas de RF.

1.2.2 Tipos de propagación de las ondas de radio. El camino que recorre una onda electromagnética entre el transmisor y el receptor, depende de muchos factores, pero principalmente de su frecuencia. Los tipos básicos de propagación son: onda terrestre y onda celeste.

1.2.2.1 Ondas terrestres. Son ondas que viajan a lo largo de la superficie de la Tierra. Las ondas terrestres poseen tres componentes: onda de superficie, onda directa y onda reflejada en tierra.

Las ondas de superficie viajan a lo largo de la tierra, alcanzando distancias más allá del horizonte. En este tipo de propagación, la energía de la onda es absorbida por la tierra, alcanzando distancias de 250 a 300 Km en superficies conductoras (lagos u océanos) y de menos de 20 Km en terrenos no conductivos (roca, desiertos).

Las ondas directas viajan en línea recta entre el transmisor y el receptor, sin tocar la superficie del terreno y se debilitan conforme aumenta la distancia que recorren. Estas ondas son reflejadas o refractadas por la atmósfera, extendiendo su rango más allá del horizonte. Las antenas transmisora y receptora deben mirarse una a la otra para logra comunicación, por ello, las ondas directas se conocen como ondas de Línea De Vista (LOS-Line Of Sight).

Las ondas reflejadas en tierra son la parte de la onda propagada, que se refleja en la tierra entre el transmisor y el receptor.

1.2.2.2 Ondas celestes. Este tipo de ondas hace posible comunicaciones Más allá de la Línea De Vista (BLOS-Beyond Line Of Sight). A ciertas frecuencias estas ondas son refractadas o reflejadas en la Inosfera para luego retornar a la tierra, alcanzando cientos o miles de kilómetros de distancia; dependiendo de la frecuencia, condiciones climáticas y atmosféricas, una señal puede rebotar varias veces, antes de alcanzar el receptor.

La figura 2 muestra los diferentes trayectos de propagación para las ondas de radio HF.

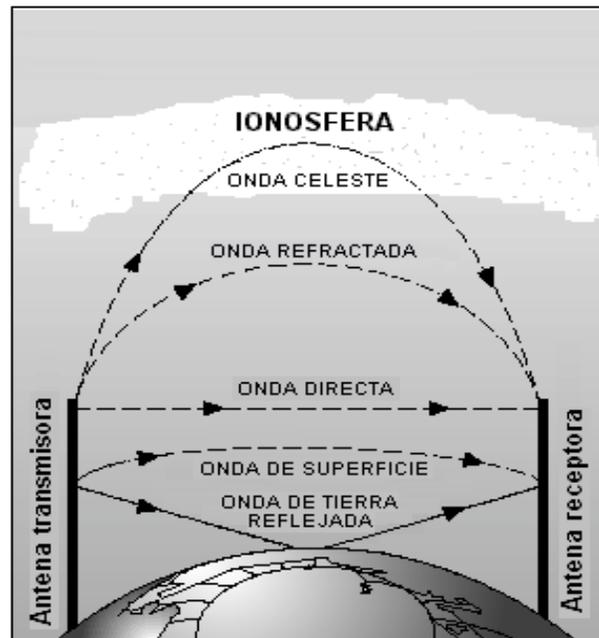


Figura 2. Trayectos de propagación para las ondas de radio HF.

1.3 INTRODUCCION A LA PROPAGACION EN HF

1.3.1 Ionosfera. Es un conjunto de zonas que se extienden desde una altura aproximada de 50 a 600 Km sobre la superficie de la tierra, donde el aire es un buen conductor de electricidad ya que esta ionizado por la radiación solar. La ionización es el proceso en el cual un átomo pierde o gana electrones, siendo estos iones los que dan el nombre a la Ionosfera.

1.3.2 Regiones o capas de la Ionosfera. En la Ionosfera, hay cuatro capas de diferente nivel de ionización. Como la ionización es causada por la radiación solar, las capas más altas de la Ionosfera tienden a ser más densas, mientras que las capas más bajas protegidas por las capas exteriores, experimentan menor ionización.

Durante el día pueden estar presentes cuatro regiones llamadas: D, E, F1 y F2; sus alturas aproximadas son:

- Región D, de 50 a 90 Km.
- Región E, de 96 a 144 Km.
- Región F1, de 144 a 248 Km.
- Región F2, de 248 a 600 Km.

La figura 3 muestra las diferentes capas de la ionosfera.

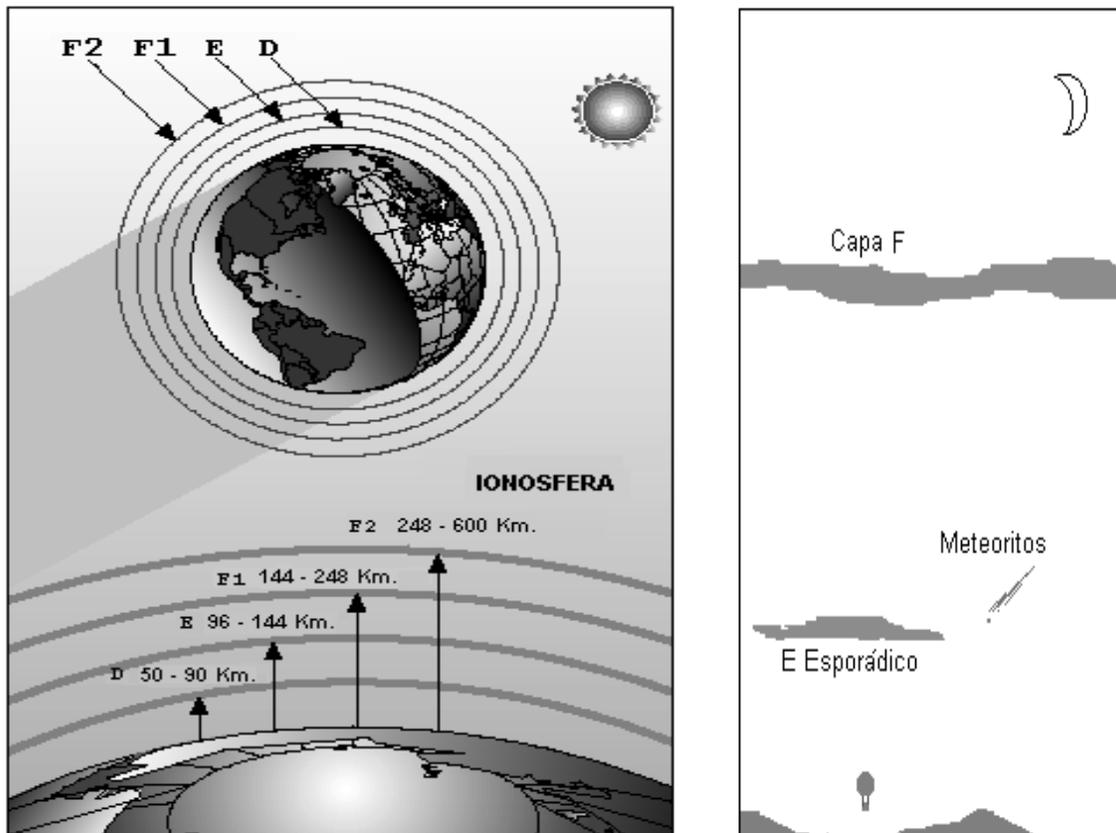


Figura 3. Estructura de la Ionosfera durante el día y la noche.

La región D es la más próxima a la Troposfera. En la práctica, existe solamente durante el día, que es cuando el Sol irradia una mayor energía sobre la superficie de la Tierra. En cuanto desaparece el Sol, la ionización se atenúa rápidamente y la capa tiende a desaparecer.

La región E alcanza el nivel máximo de ionización al mediodía y empieza a disiparse hacia el ocaso; alcanzando su mínima actividad a la media noche. Ocasionalmente en la capa E se presentan formaciones irregulares semejantes a una nube de gases ionizada. Esta región es conocida como región E esporádica y puede ayudar a la propagación de ondas celestes.

La capa F se forma por acción directa de la radiación solar, alcanzando niveles de ionización muy altos. Durante las horas de Sol, la capa F se subdivide en otras dos capas, denominadas F1 y F2. La capa F1 se eleva durante la noche y en ciertos momentos, la capa F1 no puede ser diferenciada de la capa F2, combinándose para formar una sola capa F. En la noche las regiones D, E y F1, se desvanecen tanto, que sólo la región F2 queda disponible para las comunicaciones; sin embargo no es raro que pueda aparecer la región E esporádica durante la noche.

Únicamente las regiones E, F1, F2 y E esporádica, refractan las ondas de HF. La región D también se debe considerar, porque esta capa en lugar de refractar las ondas de radio HF, las absorbe o las atenúa. La región F2 es la más importante para la propagación de radio en HF, esta posee las siguientes características:

- Está presente las 24 horas del día.
- La altura a la cual está, permite comunicaciones a largas distancias.
- Usualmente refracta las frecuencias más altas en el rango de HF.
- El tiempo de vida de los electrones es mayor en la región F2, razón por la cual esta región esta presente en las noches.

Las frecuencias de mayor eficiencia para comunicaciones a largas distancias durante la noche, normalmente están entre 3 y 8 MHz.

La E esporádica puede aparecer en cualquier momento y se sitúa entre los 90 a 140 Km de altura (en la región E), extendiéndose sobre una gran área o ser confinada en una región pequeña. La E esporádica puede tener una densidad de electrones comparable a la región F, lo cual implica que puede refractar las frecuencias de manera similar a la región F. Algunas veces esta capa es transparente y permite el paso de la mayor parte de las ondas de radio hacia la región F, sin embargo, hay momentos en la obstruye totalmente y la señal no alcanza el receptor.

1.4 COMUNICACIONES EN HF

1.4.1 Tipos de propagación en HF. En altas frecuencias (3 a 30 MHz), las señales de radio se propagan hacia un receptor distante, a través de:

- **Onda terrestre.** Viaja cerca a la tierra, recorriendo cortas distancias; aproximadamente de 100 Km sobre el suelo y de 300 Km sobre el mar. El alcance de las ondas depende de la altura de la antena, la polarización, la frecuencia, características del terreno, vegetación, estado del terreno y/o del mar.

- **Directa o línea de vista.** Esta onda puede actuar con la onda de tierra-reflejada, dependiendo de la separación del terminal, frecuencia y polarización.
- **Onda de cielo o celeste.** Las ondas son refractadas por la ionosfera, alcanzando grandes distancias.

En la figura 4 se ilustra los diferentes tipos de propagación en HF. Otro modo de propagación que se debe tener en cuenta es la propagación de Incidencia Cercana a la Vertical (NVI-Near Vertical Incidence), la cual permite cubrir cortas distancias (un salto), con ángulos de elevación bastante grandes y trabajando con frecuencias en el rango de 3 a 7 MHz.

1.4.2 Frecuencia límite de onda de cielo. No todas las ondas de HF son refractadas por la ionosfera, existen límites superiores e inferiores de frecuencias para lograr la comunicación entre dos terminales. Si la frecuencia es demasiado alta, la onda atravesará la ionosfera, si es demasiado baja, la potencia de la señal se disminuirá debido a la absorción en la región D.

El rango de frecuencias a utilizar varía considerablemente:

- A lo largo del día.
- Con las estaciones.
- Con los ciclos solares.
- De un lugar a otro.
- Dependiendo de la región utilizada para las comunicaciones.

Mientras el límite superior de frecuencia varía principalmente con estos factores; el límite inferior es así mismo dependiente del ruido en el sitio de recepción, de la eficiencia de la antena, la potencia del transmisor, el filtrado de la capa E y la absorción por la ionosfera.

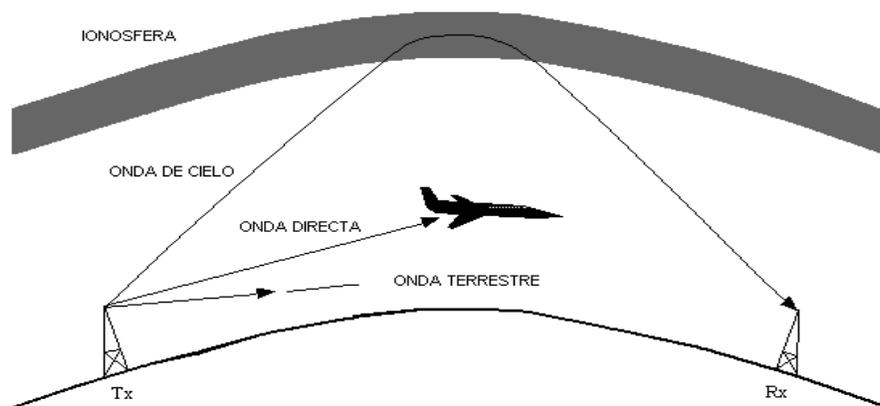


Figura 4. Tipos de propagación en HF.

1.4.3 Rango de frecuencias utilizable. Para cualquier circuito hay una Frecuencia Máxima Utilizable (MUF-Maximum Usable Frequency), que esta determinada por el estado de la Ionosfera en las cercanías a las áreas de refracción y de la longitud del circuito.

La MUF es refractada desde el área de refracción con la máxima densidad de electrones en una región o capa, por ello las frecuencias más altas que la MUF, penetran la región. Durante el día es posible comunicarse por medio de la capa E y la F, utilizando diferentes frecuencias; la frecuencia más alta soportada por la capa E es llamada EMUF, mientras que la soportada por la capa F es la FMUF. En la región F, la MUF varía en particular durante el día con las estaciones y con el ciclo solar. Un amplio rango de MUFs de la región F es suministrado por datos obtenidos en las predicciones; este rango se extiende desde la décima parte más baja de la MUF llamada Frecuencia Optima de Trabajo (FOT o OWF-Optimum Working Frequency), pasando por la mediana o central (MUF central), hasta la décima parte superior de la MUF. Estas MUFs tienen 90%, 50%, y 10% de probabilidad de ser soportadas por la Ionosfera, respectivamente. Las predicciones generalmente cubren un periodo de un mes, de esta manera, la FOT proporciona una propagación exitosa del 90% del tiempo o 27 días al mes, la MUF central debe proporcionar comunicaciones en un 50% o 15 días del mes y la décima parte superior proporciona 3 días del mes de comunicación exitosa. La décima parte superior de la MUF es la frecuencia más alta de su rango y probablemente penetrará la Ionosfera.

La región D no permite utilizar todas las frecuencias, lo más probable es que las bajas frecuencias sean absorbidas. La Frecuencia Límite de Absorción (ALF-Absorption Limiting Frequency) está dada como un punto de referencia del límite más bajo de la banda de frecuencias utilizable; la ALF es significativa solo para circuitos con puntos de refracción en el hemisferio iluminado por el Sol. En la figura 5 se observa que si la frecuencia f , está cerca de la ALF entonces la onda puede sufrir absorción en la región D; si la frecuencia esta más arriba de la EMUF, la propagación será vía la región F; y ya sobre la FMUF la onda probablemente penetra la Ionosfera. En la noche, la ALF es cero y permite propagación con éxito en frecuencias que no son utilizables durante el día.

1.4.4 Longitud del salto. La longitud del salto es la distancia cubierta por una señal de radio después que ha sido refractada una sola vez por la Ionosfera y retornada a la tierra, como se observa en la figura 6. El límite superior de la distancia del salto está fijado por la altura de la Ionosfera y la curvatura de la Tierra. Para las regiones E y F (alturas entre los 100 y 300 Km), la máxima longitud del salto con un ángulo de elevación de cuatro grados, es 1.800 y 3.200 Km respectivamente; distancias mayores requieren más de un salto. Por ejemplo, una distancia de 6.100 Km, requerirá un mínimo de cuatro saltos por la región E y dos saltos vía región F, con ángulos semejantes de elevación. Si se desea más saltos, se debe utilizar mayores ángulos de elevación de antena.

1.4.5 Modos de propagación de onda celeste o ionosférica. Existen muchos modos o caminos por los cuales una onda de radio puede viajar, desde un transmisor a un receptor. El modo en el cual una capa particular de la ionosfera requiere el menor número de saltos entre el transmisor y el receptor es llamado modo de primer orden; el modo que requiere de un salto extra es llamado modo de segundo orden.

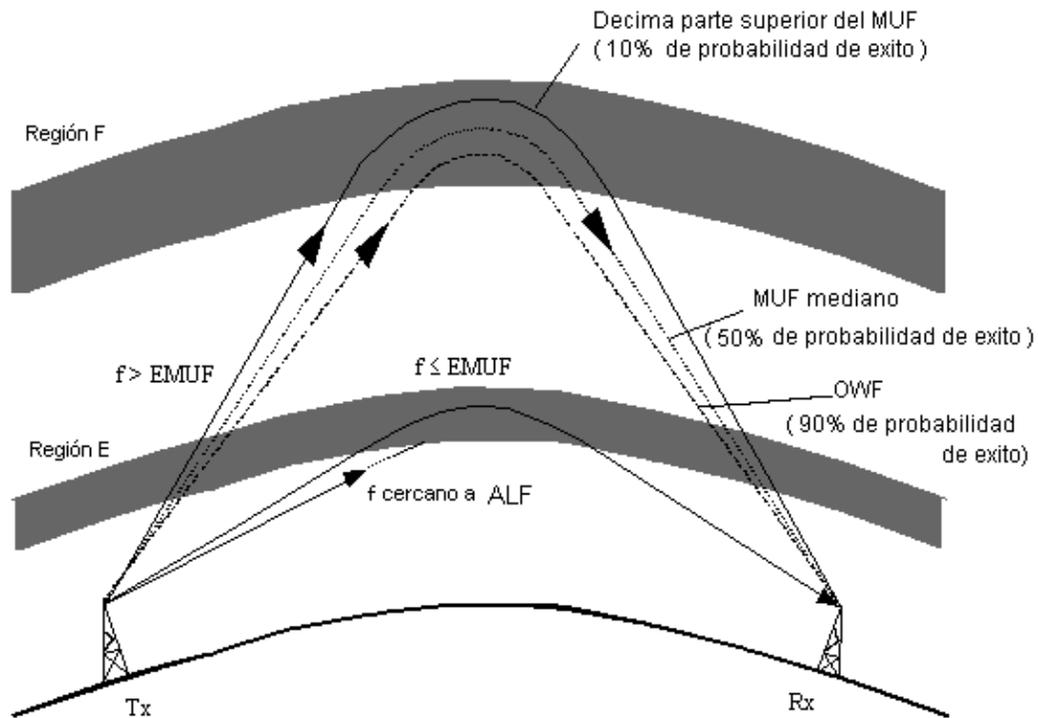


Figura 5. Rango de frecuencias utilizables.

Para un circuito con 5.000 Km de distancia, el modo de primer orden de F requerirá por lo menos dos saltos (2F), mientras que el modo de segundo orden de F requerirá tres saltos (3F). El modo de primer orden de E tiene el mismo número de saltos al igual que el modo de primer orden de F.

Si se requiere un salto de mayor longitud, por encima de los 2.050 Km, que corresponde a un ángulo de elevación de cero grados, el modo de E no es posible. Esto también se aplica al modo de segundo orden de E; por supuesto, los modos de la región E solo estarán disponibles en circuitos y trayectos durante el día. Los modos simples son aquellos propagados por una sola región, por ejemplo la región F. En la figura 7 se muestra un ejemplo de los modos de propagación simple. Los modos más complicados constituyen la combinación de refracciones por las regiones E y F.

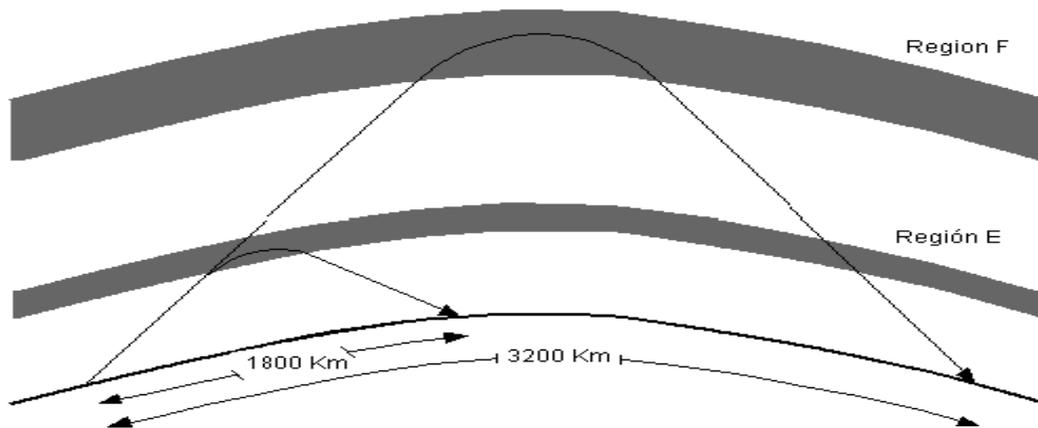


Figura 6. Longitud del salto.

Los Modos Chordal (línea directa imaginaria) y Ducted (efecto guía de onda o canal), son modos complejos de propagación que involucran varias refracciones de las ondas de radio en diferentes capas de la Ionosfera, sin tocar tierra antes de llegar al receptor. Estos modos se muestran en la figura 8.

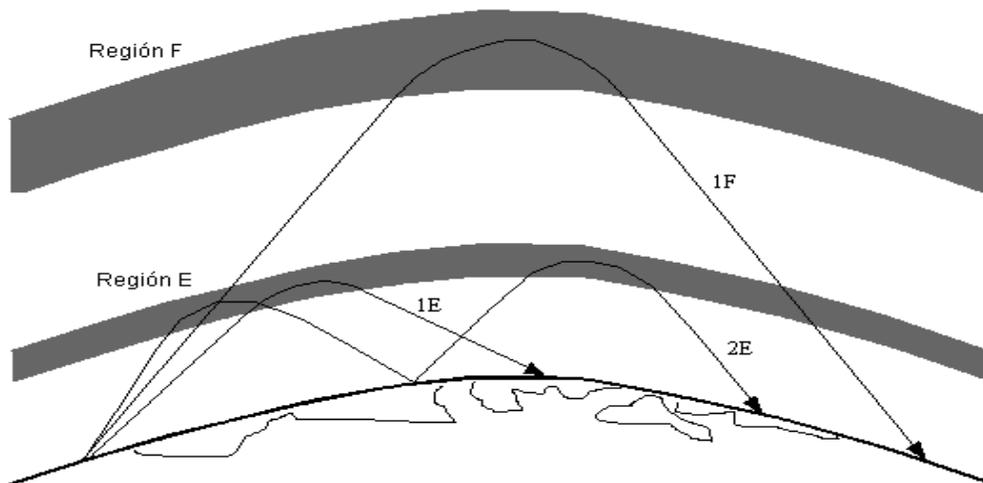


Figura 7. Ejemplo de los modos de propagación simple.

Se tiende a pensar que las regiones de la Ionosfera son lisas, sin embargo las ondulaciones y movimientos de la Ionosfera, pueden afectar la refracción de la señal; las regiones de la Ionosfera se pueden inclinar, generando los modos Chordal y Ducted. Cuando estos tipos de modos ocurren, las señales pueden ser fuertes ya que las ondas gastan menos tiempo en llegar al receptor, sin necesidad de cruzar la región D y sin atenuarse durante las reflexiones en la Tierra.

La capa esporádica E al igual que la capa E, pueden filtrar una onda de radio de la región F; a veces la E esporádica puede ser muy transparente, permitiendo que la mayor parte de la onda pase por ella; en otros momentos filtrará parcialmente la región F que lleva una señal débil o desvanecida, mientras que en otros momentos puede opacar la región F con el posible resultado de que la señal no llegue al receptor.

1.4.6 Frecuencia, alcance y ángulo de elevación. Para la propagación oblicua, existen tres variables dependientes:

- Frecuencia.
- Alcance o longitud del camino.
- Angulo de elevación de la antena.

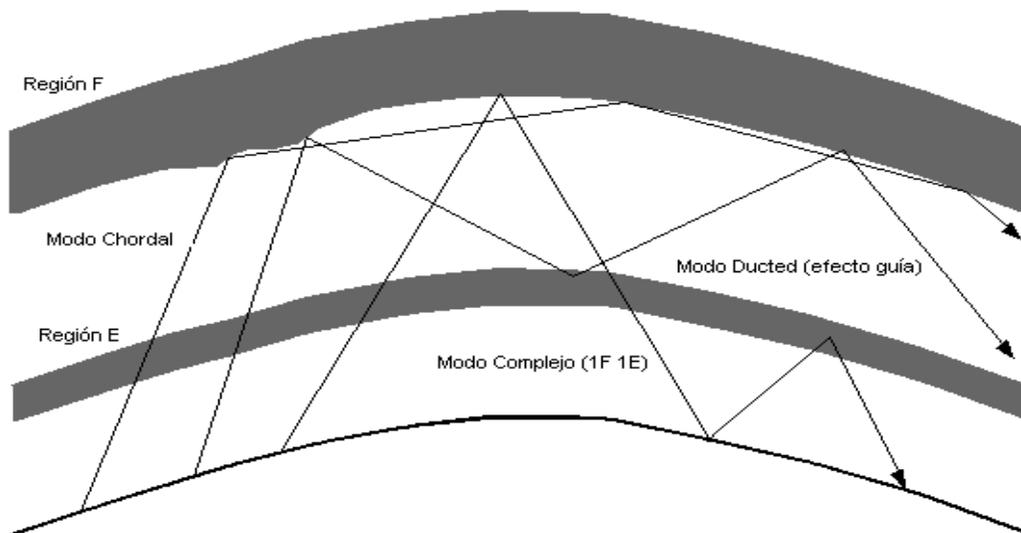


Figura 8. Otros modos de propagación.

Los casos siguientes ilustran los cambios de trayecto de la onda de radio.

1.4.6.1 Fijación del ángulo de elevación. Cuando la frecuencia se incrementa hacia la MUF, la onda se refracta más alto en la ionosfera y el alcance aumenta, según los caminos 1 y 2 de la figura 9.a. Dado el ángulo de elevación de la MUF, el máximo alcance se logra mediante el camino 3. Con frecuencias superiores a la MUF, las ondas penetran la ionosfera, según el camino 4.

1.4.6.2 Fijación de la longitud del trayecto (circuito punto a punto). Cuando la frecuencia se incrementa acercándose a la MUF, la onda se refracta a una mayor altura en la ionosfera. Para mantener un circuito de longitud fija, el ángulo de elevación debe aumentarse, como en los caminos 1 y 2 de la figura 9.a. En la MUF, se alcanza el ángulo crítico de elevación, camino 3. El ángulo de elevación

crítico es aquel que para una determinada frecuencia, al incrementarse esta, traspasa la ionosfera, como en el camino 4.

1.4.6.3 Fijación de la frecuencia. Con ángulos de elevación pequeños, la longitud del camino es mayor, según el camino 1 de la figura 10. Cuando el ángulo de elevación se incrementa, la longitud del camino disminuye y el rayo se refracta a una mayor altura en la ionosfera, caminos 2 y 3.

Si el ángulo de elevación se aumenta más allá del ángulo de elevación crítico para una determinada frecuencia, la onda traspasa la ionosfera y por lo tanto se genera una área alrededor del transmisor dentro de la cual ninguna comunicación de onda celeste puede recibirse, camino 4. Para comunicarse vía onda celeste dentro de la zona del salto, debe disminuirse la frecuencia.

1.4.7 Zonas de salto. La zona de salto es un área al rededor del transmisor donde no se propagan las ondas terrestres ni celestes. Las zonas de salto pueden ser utilizadas cuando se desea que las comunicaciones no sean escuchadas por un receptor determinado.

Seleccionando una frecuencia diferente se altera el tamaño de la zona de salto, si el receptor está dentro de la zona de salto y fuera del alcance de la onda terrestre, entonces es poco probable que este reciba la comunicación. Sin embargo, factores tales como la reflexión del terreno exterior a la zona de salto, da como resultado que parte de la señal sea transmitida dentro de la zona de salto, lo cual puede afectar la confiabilidad de esta técnica.

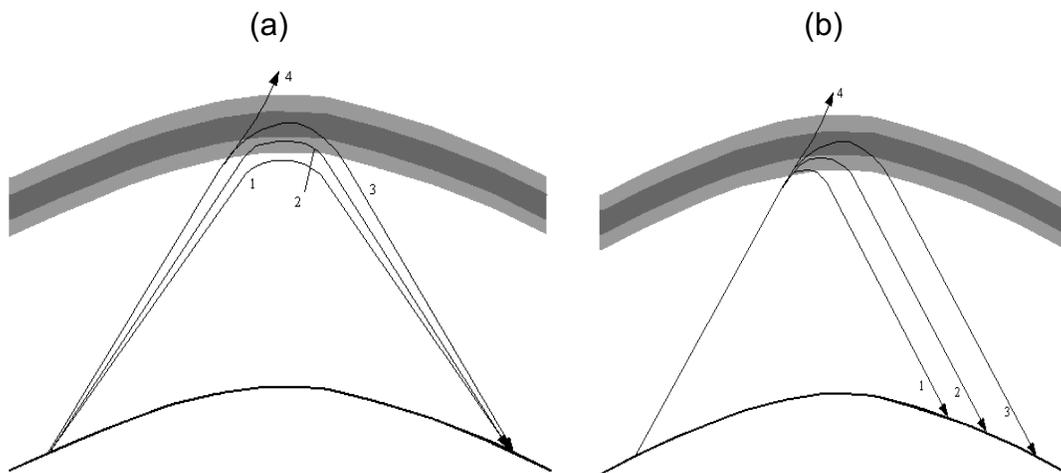


Figura 9. Fijación del ángulo de elevación y de la longitud del trayecto.

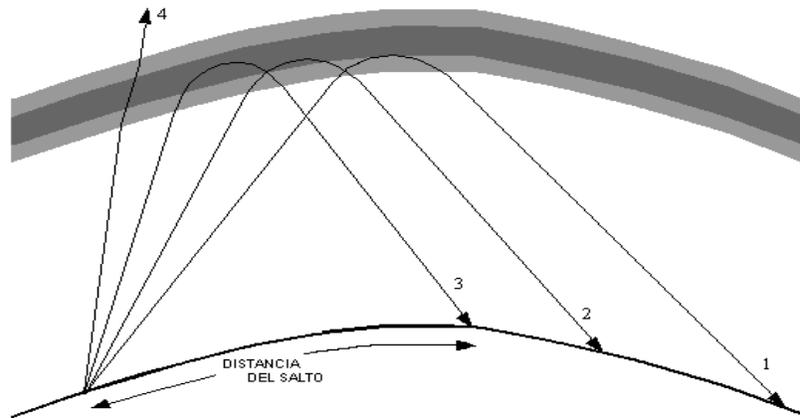


Figura 10. Fijación de la frecuencia.

Las zonas de salto varían en tamaño durante el día, con las estaciones y con la actividad solar. Durante el día, con máxima actividad solar y alrededor de los equinoccios, las zonas de salto generalmente son más pequeñas.

1.4.8 Desvanecimiento. El desvanecimiento multitrayecto resulta de la dispersión de la señal de la antena transmisora; los diferentes modos de propagación poseen variación en la fase y amplitud; estas ondas pueden interferir entre sí al alcanzar al receptor. En la figura 11 se observa que la señal puede viajar por diferentes caminos o trayectos; si las ondas llegan al receptor con una amplitud y tiempo de retardo diferente, pueden interferir y causar desvanecimiento.

Las perturbaciones conocidas como Perturbaciones Viajeras de la Ionosfera (TID- Travelling Ionospheric Disturbances), pueden causar que una región de la ionosfera se incline, dando como resultado que la señal sea enfocada o desenfocada del receptor, como lo ilustra la figura 12. Periodos de desvanecimiento del orden de 10 min o más pueden ser asociados con estas perturbaciones. Los TIDs viajan horizontalmente de 5 a 10 Km/min, con una dirección bien definida. Algunas se originan en la zona auroral siguiendo algún fenómeno del Sol, alcanzando grandes distancias. Los TIDs pueden causar variaciones en la fase, amplitud, polarización y ángulo de llegada de una onda.

Los desvanecimientos por polarización resultan de los cambios de la polarización a lo largo del trayecto de propagación; donde la antena receptora no puede recibir componentes de señal. Este tipo de desvanecimiento puede durar segundos o fracciones de segundo.

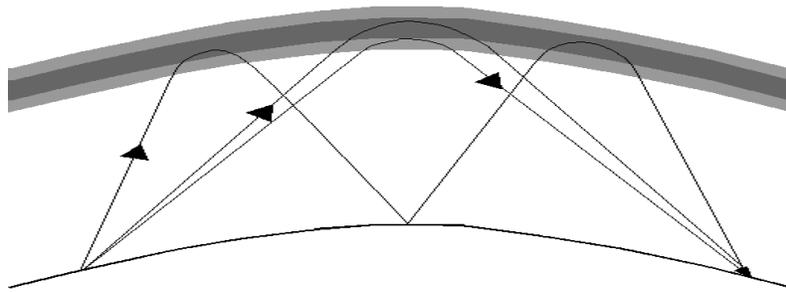


Figura 11. Desvanecimiento multirayecto.

Los desvanecimientos por salto también pueden observarse a la salida del Sol y en el ocaso, cuando la frecuencia de operación está cerca de la MUF, o cuando la antena receptora está ubicada fuera del límite de la zona de salto. En este momento del día la ionosfera está inestable y la frecuencia puede oscilar arriba o a bajo de la MUF, causando desvanecimiento en la salida y entrada de la señal. Si el sitio del receptor está cerca del límite de la zona de salto, cuando la ionosfera fluctúa, el límite de la zona de salto también fluctúa.

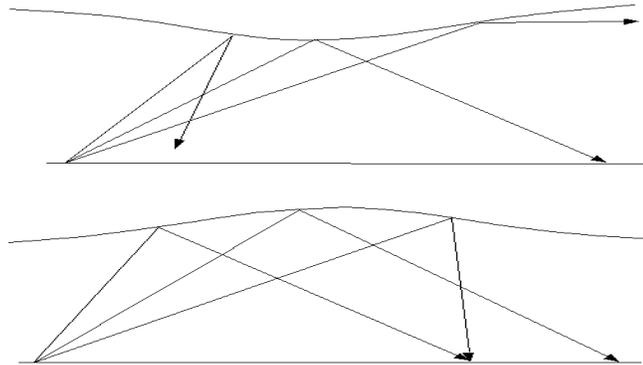


Figura 12. Concentración y desenfoque de la señal, efectos causados por el tilt (inclinación) y las TIDs.

2. SISTEMAS DIGITALES DE TRANSMISION DE DATOS VIA HF

2.1 INTRODUCCION

La principal característica de las ondas HF es que permiten enlazar vía radio, puntos distantes en el globo terrestre, mediante la reflexión de las ondas de radio en las capas de la Ionosfera. En HF los canales son extremadamente ruidosos y por ello las velocidades de comunicación no pueden ser muy altas. Además los fenómenos de reflexión ionosférica no permiten que en un momento dado una estación reciba a las demás estaciones presentes en la misma frecuencia, dificultando la distribución equitativa del canal y provocando gran interferencia. Por este motivo el modo más extendido en HF es el punto a punto, el cual consiste en establecer enlaces entre dos estaciones de radio, donde el canal empleado para la comunicación no podrá ser utilizado por otra estación de radio.

La unión de la informática y la radio no es algo nuevo, en el año de 1975 se inició la aplicación de computadores en las comunicaciones de radioaficionados. Los pasos fueron lentos en su inicio, pero el gran interés por experimentar nuevas formas de comunicación por parte de los radioaficionados, fabricantes de equipos de radio, entidades gubernamentales y militares, hicieron que se lograran los desarrollos de hoy en día. En 1978 se popularizó la transmisión de paquetes de información vía radio; en 1984 se realizó el primer experimento de enlace entre dos estaciones vía satélite (OSCAR 10). Hoy en día se cuenta con sistemas de comunicación digital en HF, capaces de prestar servicios como:

- Facsímil de alta velocidad.
- Correo electrónico (e-mail).
- Transmisión de datos libre de errores con altas velocidades, de forma transparente al usuario.
- Transmisión de imágenes.
- Soporte a sistemas de navegación, localización y rastreo.
- Conectividad a redes de computadores e Internet.
- Comunicación de voz y sistemas telefónicos HF.
- Sistemas para comunicación de video digital HF.

A pesar de las facilidades que presenta este tipo de comunicación, no se puede olvidar que la señal está sometida a degradación por fenómenos de dispersión tanto en la frecuencia como en el tiempo, producida por interferencias atmosféricas, galácticas e inclusive por las producidas por el hombre.

2.2 SISTEMA BASICO PARA LA COMUNICACION DIGITAL EN HF

Las comunicaciones digitales en HF, son aquellas que tienen lugar entre máquinas u ordenadores, utilizan códigos fundamentados en dos estados designados como: marca/espacio (on /off) ó 1/0 lógicos.

La evolución de los microprocesadores ha potenciado decisivamente las comunicaciones digitales en HF, haciéndolas asequibles a la industria, al gobierno y a los particulares. Ello, unido al desarrollo de los computadores, ha permitido experimentar con una variedad de modalidades de comunicaciones digitales; algunas de las cuales se han popularizado y extendido notablemente durante las dos últimas décadas. La aparición en el mercado de tecnologías como el Procesamiento Digital de Señales (DSP-Digital Signal Processing), incrementa aun más las posibilidades existentes, ampliando los horizontes para la experimentación.

Una comunicación digital consiste en mecanografiar la información a transmitir en el teclado del computador o disponer de la almacenada, para entregarla a un dispositivo especial conocido como módem (modulador/demodulador), que la procesa (modula) y la entrega al equipo de radio para su transmisión. Una vez la señal es recibida por el equipo receptor, a través de un proceso de demodulación la facilita al ordenador para que sea leída o almacenada. La figura 13, muestra un sistema básico de transmisión de datos en HF.

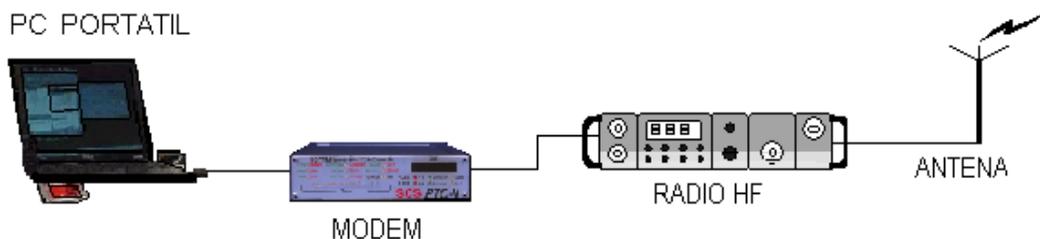


Figura 13. Sistema básico para la transmisión de datos en HF.

2.2.1 Elementos que constituyen el sistema.

2.2.1.1 Transceptor. Es un equipo que incorpora un transmisor y un receptor de radiofrecuencia.

2.2.1.2 Módem. Es un dispositivo que tiene dos funciones:

- Modular: convierte un flujo de bits en señales analógicas que deberán ser transmitidas por el transceptor.
- Demodular: convierte las señales analógicas recibidas por el transceptor en un flujo de bits.

2.2.1.3 Ordenador personal (PC). La función del ordenador personal se limita a representar los datos de forma amigable al usuario, así como presentar la funcionalidad de transferencia de archivos y otros servicios.

2.2.1.4 Programa informático (SW-Software). Cargado en el ordenador, permite al operador trabajar en el modo digital que desee (muchos programas permiten la utilización de varios modos digitales: CW, RTTY, AMTOR, PACTOR, CLOVER, etc).

2.2.2 Conexión entre el PC y el equipo de radio HF. Para interconectar los ordenadores con equipos de radio HF, se debe considerar lo siguiente:

2.2.3 Conexión del módem al equipo de radio y al PC.

- Conexión a la toma del micrófono (o similar), para el envío de las señales.
- Conexión a la toma del altavoz, o alguna toma de señal del receptor para recibir las señales que capta el receptor.
- Conexión al control de transmisión y recepción del equipo de radio (PTT-Push To Talk), para controlar la puesta en transmisión de éste, cuando se envía señales. Opcionalmente para algunos modos de transmisión, la conexión al PTT puede ser ignorada, siempre que el equipo de radio tenga un circuito de control de voz (Vox-Control) que active automáticamente la transmisión del equipo de radio al detectar señal en la conexión de micrófono.

El módem se debe conectar al PC, a través de alguno de sus puertos serie (puertos COM) o del puerto paralelo (puerto LPT o de impresora). El módem debe respetar los niveles de señal e impedancias requeridas por el puerto del ordenador al cual se conecta. (Los puertos COM utilizan los niveles lógicos RS-232; el nivel 1 lógico se da para tensiones negativas, de -3 a -15 V, típicamente -12 V; mientras que para el cero lógico son tensiones positivas, de +3 a +15 V, típicamente +12 V).

El programa que corre en el PC, debe entregar a través del puerto de conexión al módem, señales eléctricas con los niveles correspondientes a los estados lógicos para que el módem realice la modulación, y debe obtener del módem las señales eléctricas correspondientes a las señales recibidas y demoduladas. Las funciones básicas del programa son la decodificación de las señales binarias recibidas, presentación de la información en pantalla o impresora y generar las señales binarias, para transmitir al teclear un texto en el teclado del PC o al traerlo de un archivo de texto.

Cuando el SW del PC incluye funciones específicas de módem, este dispositivo puede ser reemplazado, ya que el SW genera las señales para transmisión y demodula las señales recibidas directamente del receptor de radio. En este caso, en transmisión el ordenador genera un tren de impulsos a la frecuencia de la portadora de datos en una de las líneas del puerto de conexión a la interfaz, y posteriormente esos impulsos son modulados por la información digital que se transmite.

En recepción, el PC espera recibir en otra de las líneas del puerto empleado, la señal entregada por el receptor de radio, y monitoriza continuamente esta línea del puerto. El programa analiza el paso por cero de las señales que pueda encontrar en dicha línea; por cada paso por cero, dos veces en cada ciclo de señal, se genera una interrupción. El programa mide el tiempo transcurrido entre dos interrupciones sucesivas para reconocer la frecuencia de la señal de entrada. Contando el tiempo en que se recibe una u otra frecuencia, el programa es capaz de reconocer los bits enviados, y por tanto demodular la señal recibida por el programa. Una vez demodulada opera como en el caso anterior (programa con módem), pero para que esto pueda funcionar es necesario que las señales que son entregadas por el receptor al ordenador estén preparadas adecuadamente en nivel y forma. Esto es lo que realiza la parte de recepción de la interfaz, con un simple amplificador operacional configurado como amplificador en lazo abierto y trabajando a la máxima ganancia. La interface puede transformar las señales entregadas por el receptor, de bajo nivel y senoidales, en señales de nivel suficiente y cuadradas que permitan ser manejadas por el ordenador sin problemas.

Debido a que muchas de estas interfaces tienen un consumo muy reducido de potencia, diversos programas permiten alimentar a la propia interfaz desde el mismo puerto al que está conectada, utilizando dos o más líneas de salida para enviar tensiones de alimentación (el programa debe asignarles el estado lógico adecuado).

2.3 ESQUEMAS DE MODULACION DIGITAL EN RADIO HF

Los esquemas más comunes para modular una señal portadora en transmisiones digitales por radio HF son: Modulación de Cambio de Frecuencia (FSK-Frecuency Shift Keying) y Modulación de Cambio de Fase (PSK-Phase Shift Keying), siendo el primero el más utilizado.

Fundamentalmente todas las modalidades de comunicación digital se basan en los mismos principios: la codificación de la información a transmitir en un conjunto de dígitos binarios claramente definidos, y la utilización de estos ceros y unos para modular una portadora. Si un usuario pulsa una letra en un teclado, esa letra se sustituye por un código de unos y ceros, que es utilizado para modular una

portadora de HF. Estos códigos de unos y ceros varían con cada modalidad, aunque están perfectamente definidos para cada una de ellas. Dentro del ámbito de estas comunicaciones digitales, a estos unos binarios se le suele dar el nombre de marca (Mark) y a los ceros, espacio (Space).

Para la transmisión de este conjunto de marcas y espacios es preciso modular una portadora. Esto se puede realizar de dos formas distintas aunque compatibles: se modula la portadora con un par de tonos de audio bien definidos, uno para la marca y otro para el espacio, o se utiliza la marca y el espacio para variar directamente la frecuencia del equipo de HF. En el primer modo se habla de la modulación AFSK (Audio FSK), mientras que en el segundo caso se habla de modulación FSK. Los dos métodos son compatibles y su utilización depende de las capacidades del equipo a emplear. A la diferencia de frecuencias entre la marca y el espacio se le da el nombre de desplazamiento o cambio (Shift), el cual depende de la modalidad a utilizar y el servicio (Radioaficionados, Gobierno, Agencias de noticias, etc). El tiempo de duración de cada marca o espacio se expresa en Baudios (Bd), donde se mide los cambios de nivel lógico que puede realizar la señal digital en un segundo. Los códigos, velocidad, desplazamiento y frecuencias de marca y espacio varían de una modalidad a otra, pero las diversas formas de modulación son comunes a cada una de ellas.

Algunos sistemas avanzados utilizan más de dos niveles, puesto que así logran enviar mas bits por el mismo tono. Las señales FSK pueden generarse como una señal de audio banda base, para luego ser transmitidas utilizando un transmisor convencional de Banda Lateral Unica (SSB-Single SideBand) o la señal portadora de un transmisor que ha sido directamente modulada en frecuencia. Los módems FSK modernos, poseen protocolos sofisticados que permiten soportar corrección de errores a través de la Petición Automática de Retransmisión (ARQ-Automatic Repeat reQuest) o la Corrección de Errores en Recepción (FEC-Forward Error Correction).

En el esquema de modulación PSK, la marca y el espacio se logran invirtiendo o desplazando la fase de la señal. De esta se derivan otras como el Desplazamiento Binario de Fase o BPSK (Binary PSK), la Modulación de Cambio de Fase en Cuadratura (QPSK-Quadrature Phase Shift Keying), etc. Las señales PSK son transmitidas generando una señal de audio, la cual se envía utilizando modulación SSB. También es posible modular directamente en fase una portadora de RF. La tecnología utilizada para recibir señales PSK en HF es extremadamente compleja, con requerimientos de compensación para evitar la interferencia intersímbolo y para remover los efectos de interferencia multitrayecto.

Para utilizar el espectro de forma más eficiente, se puede emplear una modulación multinivel, en el cual un cambio en la señal transmitida puede representar dos o más bits de datos, como el caso de QPSK, 8PSK, 16PSK. Se debe tener en cuenta que complicados esquemas de modulación multinivel requieren complejos demoduladores, que son muy susceptibles al ruido y a las distorsiones. Las

señales HF de gran alcance son propagadas vía ionosférica, lo cual no es estable. La altura de reflexión de la Ionosfera y la atenuación de la señal varía ampliamente durante el día, de acuerdo a la localización geográfica y a la actividad solar. Así mismo, los niveles de ruido en HF varían considerablemente.

2.3.1 Modulación de portadora. La modulación de la portadora de radio por una señal digital puede realizarse de dos formas. La primera consiste en que la señal digital modula directamente el transmisor; los ceros y unos lógicos modulan directamente en amplitud la portadora del transmisor para generar una señal con Modulación de Cambio de Amplitud (ASK-Amplitude Shift Keying), o actúan sobre el oscilador directamente para variar la frecuencia de transmisión y generar una señal FSK directamente a nivel de radio. Estos son los métodos auténticos de ASK y FSK respectivamente, pues la portadora de datos es en este caso la propia portadora de RF. Pero este método tiene el inconveniente de que se ha de ajustar muy bien el modulador para que en una transmisión el shift que se obtenga al actuar directamente sobre el oscilador sea el correcto. Este ajuste puede depender de la frecuencia de trabajo del oscilador, por lo que al cambiar de frecuencia se debe volver a reajustar. Si se trabaja con FSK, se puede conseguir dotando al oscilador de RF en su circuito de sintonía, de un pequeño diodo varicap o de un pequeño condensador ajustable conmutable, que sea atacado por la propia señal digital. En el segundo método, la señal digital modula primero en el modo deseado a una portadora de audio, y ésta será la que modulará la portadora de RF. Para diferenciar este modo del anterior, se dice que la modulación es de tipo AFSK. Si la modulación fuera de fase, sería APSK (Audio PSK).

El modo de trabajo más utilizado es AFSK. Además, está más exento de ruidos o chasquidos de conmutación al realizar los cambios de frecuencia que en FSK (en AFSK es fácil realizar las conmutaciones al paso por cero de la señal de audio, aspecto que no se puede realizar con precisión a nivel de la señal de RF). Si la portadora de RF es modulada en SSB, puede demostrarse que pueden conseguirse dos transmisiones exactamente iguales por modulación FSK y por modulación AFSK (dando lugar al mismo espectro de frecuencia transmitido), sólo que para el primer caso el ajuste del shift es bastante crítico, puesto que se realiza a nivel del oscilador de RF, y en el segundo caso el shift ya viene establecido a nivel de la portadora de datos de audio, no necesitando reajustes al cambiar de frecuencia o banda de trabajo.

2.4 MODOS DIGITALES DESARROLLADOS POR RADIOAFICIONADOS

El modo de operación hace referencia a las formas de onda, el formato de los datos y la manera como son transmitidos. En comunicaciones HF de radioaficionados se utilizan diferentes modos de operación para comunicaciones tanto analógicas como digitales. Algunas de estas modalidades son:

-
- Telegrafía Morse (CW-Continuous Wave).
 - Radioteletipo (RTTY), con varias modalidades utilizando los códigos:
 - Baudot
 - ASCII
 - Radioteletipo SITOR, con varias modalidades:
 - SITOR A
 - SITOR B
 - AMTOR ARQ
 - AMTOR FEC
 - Packet Radio (Radio Paquete digital).
 - PACTOR y CLOVER.

2.4.1 CW (Onda Continua). Es la forma más antigua y la más sencilla de comunicación digital que emplean los radioaficionados, utilizando el código Morse (combinación de rayas y espacios). Es conocido también como modulación on/off de la señal portadora, ya que el código Morse se transmite dependiendo del estado de la señal portadora: encendido o apagado, dependiendo si sé esta o no transmitiendo. La velocidad de los datos es baja y no existe corrección de errores; un buen operador puede recibir de 30 o 60 palabras por minuto (wpm-Words Per Minute) y la frecuencia de audio del tono de CW esta normalmente alrededor los 800 Hz, siendo fácil de escuchar. El Ancho de Banda (BW-BandWidth) requerido por este modo es muy bajo, de 300Hz o menos, por lo que requiere niveles de potencia muy bajos.

2.4.2. Radioteletipo (RTTY). Surge como el resultado de requerimientos militares en la segunda guerra mundial. Este modo de trabajo utiliza un equipo automatizado que permite aceptar caracteres desde un teclado, enviarlos vía radio con un transmisor, recibirlos mediante un receptor y presentarlos en una impresora.

La estación de RTTY estaba formada por un teletipo o teleimpresor, conectado a un transceptor de HF. Este teleimpresor era un dispositivo totalmente mecánico que necesitaba un adaptador para la conexión a los equipos de HF. Con la aparición de decodificadores de RTTY de estado sólido, se sustituyó la impresora y todas las partes mecánicas por monitores de vídeo o televisores. Hoy en día, con el gran desarrollo de los PCs, los equipos empleados para estas modalidades han cambiado radicalmente. Este modo de trabajo sé practica con un PC, el SW y un módem o interfaz adecuada. La codificación de los caracteres se hace mediante la utilización del código Baudot (ITA2-International Telegraph Alphabet Number 2). Este es un código de cinco bits, soporta caracteres numéricos, letras mayúsculas, el espacio y el retorno de carro. Tiene designado dos caracteres

específicos (LTRS y FIGS) para operación con letras y números. Hoy en día, el SW de RTTY para PC realiza estos cambios de forma automática. Este tipo de codificación no posee ningún mecanismo de control de errores. La única opción para una transmisión más o menos fiable, es la de utilizar una gran potencia de transmisión y en unas horas o bandas en las que la propagación de la señal esté libre de perturbaciones.

En RTTY se modula en FSK, pudiéndose utilizar diferentes velocidades (50, 56 y 75 Bd). Sin embargo las más populares son de 45 Bd (60 wpm) y 75 Bd (100 wpm). Estas velocidades corresponden a una capacidad de seis a diez caracteres por segundo (cps). Con la codificación ASCII se logra velocidades de transmisión de 100 Bd, sin embargo no es muy utilizada. En VHF se logran velocidades de 300 a 1.200 Bd. Cada carácter a transmitir por este método consta de un bit especial de inicio (start), los cinco bits correspondientes al carácter y un bit de parada (stop) al final de este, tal como se muestra en la figura 14.

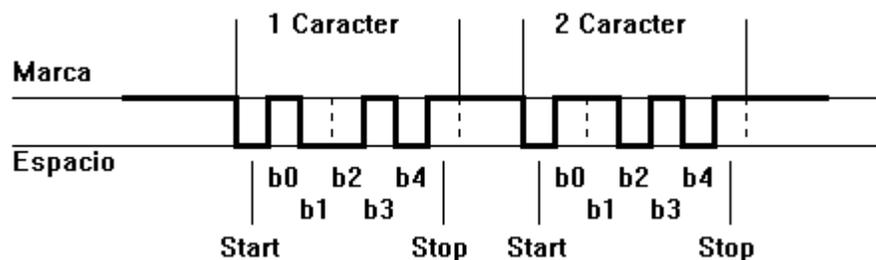


Figura 14. Código Asíncrono.

Como se observa en la figura, el estado inicial es la marca. El bit de start se utiliza para sincronizar el carácter pasando el estado a nivel de espacio. A continuación se transmiten los cinco bits correspondientes al carácter y finalmente el bit de stop restaura el estado inicial pasando a marca. En los caracteres siguientes se repite el proceso.

Los tonos empleados para la marca y el espacio varían entre América y Europa. La tabla siguiente muestra los tonos utilizados:

Continente	Marca	Espacio
América	2.125 Hz	2.295 Hz
Europa	1.275 Hz	1.445 Hz

Tabla 3. Tonos designados para la marca y el espacio.

Ambos pares de tonos se pueden utilizar indistintamente, ya que lo importante no son los tonos en sí, sino su desplazamiento.

La utilización común de RTTY hace posible la prestación de nuevos servicios como buzón de correo (Mailbox), donde los mensajes pueden ser recibidos, almacenados y reenviados.

2.4.3 SITOR (Simplex Teleprinting Over Radio). Es un sistema de RTTY utilizado para intercambio de mensajes entre barcos y estaciones costeras, con dos modalidades bien definidas: SITOR A y SITOR B.

2.4.4 AMTOR (Amateur Telex Over Radio). Es la adaptación del SITOR al campo de los radioaficionados, existen dos versiones de AMTOR que corresponden con las del SITOR. SITOR y AMTOR son similares, la única diferencia es que con AMTOR se pueden monitorear comunicaciones en el modo AMTOR ARQ (SITOR A) entre otras estaciones, característica no prevista en los programas para comunicaciones de SITOR.

AMTOR es más fiable que la RTTY clásica, incluye métodos para detectar y corregir errores que pueden presentarse en la señal recibida, aunque disminuye la velocidad de operación respecto a la RTTY clásica. Las especificaciones de AMTOR están definidas en las recomendaciones UIT 476-4 y UIT 625-1. Esta recomendación establece un método seguro de corrección de errores en los mensajes transmitidos. Este método se basa en la utilización de un código de caracteres de siete bits, donde todos los caracteres en el codificador mantienen una relación de cuatro unos y tres ceros, es decir que cada carácter transmitido consta de cuatro marcas y tres espacios. La estación receptora de un mensaje AMTOR identifica la relación 4/3 para establecer la correcta recepción de un carácter.

La transmisión de un mensaje en AMTOR se realiza enviando bloques de tres caracteres. Si el receptor identifica el bloque como bueno (un conjunto de 12 marcas y 9 espacios), envía un carácter de confirmación. Si el bloque no ha sido identificado como correcto, se envía una petición de retransmisión.

Como se mencionó anteriormente, los caracteres AMTOR se componen de siete bits, cuatro de los cuales deben ser 1 y tres deben ser 0. En caso de recibirse un carácter que no siga la relación 4/3, el carácter se considera como erróneo (se ha producido un error en el canal de radio). La velocidad típica de transmisión de AMTOR es de 100 Bd, utilizando modulación FSK con un shift de 170 Hz.

El tiempo necesario para la transmisión de un carácter es de 70 ms, y para la transmisión de un grupo de tres caracteres es de 210 ms. Para posibilitar el cambio emisión/recepción, tanto en las interfaces o módems, como en los propios equipos de radio, en AMTOR se establece un tiempo de ciclo de 450 ms para la transmisión de un grupo de tres caracteres y la recepción de la confirmación por el receptor. Los caracteres ACK y NACK tienen una duración de 70 ms. Lo anterior se observa en la figura 15.

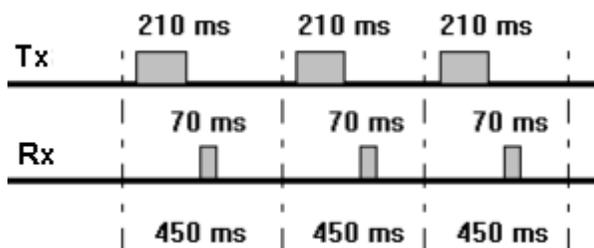


Figura 15. Diagrama de tiempos de AMTOR ARQ.

Como se observa en la figura anterior, durante cada intervalo de 450 ms la estación transmisora envía un grupo de tres caracteres, durante un tiempo de 210 ms, y espera recibir el carácter de confirmación de la estación receptora (70 ms) durante los 240 ms restantes. Estos tiempos hacen posible la conmutación emisión/recepción. Se debe tener en cuenta que restan 170 ms para la propagación de la onda de radio; teóricamente 85 ms en cada sentido, por lo tanto las dos estaciones deben estar a una distancia máxima de $85 \text{ ms} \times 300.000 \text{ Km/s} = 20.000 \text{ Km}$.

AMTOR posee dos modos principales de operación: ARQ y FEC. El modo FEC es un modo que permite realizar una transmisión hacia varias estaciones, no es tan robusto como el ARQ en el cual los datos son enviados en una sola dirección, además la estación receptora examina cada uno de estos caracteres y confirma con un Carácter de Aceptación (ACK-Acknowledgment), como confirmación positiva o con un carácter NACK como confirmación negativa, solicitando al mismo tiempo una retransmisión. El modo FEC se utiliza para realizar llamadas generales; cuando una estación responde, entonces pasan al modo ARQ para mantener una comunicación entre las dos estaciones.

AMTOR además de transmisión de texto implementa el servicio de Mailbox, para e-mail. El funcionamiento de estos buzones es muy similar al sistema de Mensajería Electrónica (BBS-Bulletin Board System). Estos funcionan en modo ARQ, permiten servicio e-mail y el envío de mensajes hacia las redes de Packet Radio. El SW para PC más difundido para la utilización de buzones ARQ es el APLink. Este programa utiliza dos controladores o módems, uno para ARQ y otro para Packet Radio. Los usuarios de este sistema pueden dejar mensajes, tanto desde HF en ARQ como desde VHF en FM, con la posibilidad de envío de mensajes entre las dos bandas.

2.4.5 PACTOR I y PACTOR II. La modalidad PACTOR ha sido desarrollada por un grupo de radioaficionados alemanes y presentada a la comunidad de radioaficionados en el año de 1.991. Esta modalidad integra las mejores características del modo ARQ de AMTOR, con algunas peculiaridades del protocolo AX.25 desarrollado para Packet Radio, permitiendo la operación en canales muy ruidosos o con una variación intensa del nivel de la señal. PACTOR utiliza el conjunto de caracteres ASCII de ocho bits, permitiendo incluso la

transferencia de archivos. La detección de errores la hace por medio del esquema de Chequeo de Redundancia Cíclica (CRC-Cyclic Redundancy Check), incluyendo un algoritmo de cambio de velocidad, donde la tasa de bits puede incrementarse de 100 a 200 Bd dependiendo de la calidad del enlace. Opera con modulación FSK con un shift de 170 Hz.

La transmisión en PACTOR es muy similar a la transmisión en ARQ. La información se transfiere en paquetes bien definidos, con paquetes de confirmación para cada uno de los paquetes de información transmitidos. Estos paquetes contienen una cabecera compuesta por un byte, utilizada como caracter de sincronismo y control; un campo de datos de 24 bytes, a una velocidad de 200 Bd, o 12 bytes a 100 Bd; un campo de status compuesto por un byte y un campo de control de CRC compuesto por dos bytes. En la figura 16 se muestra la organización de un paquete PACTOR:

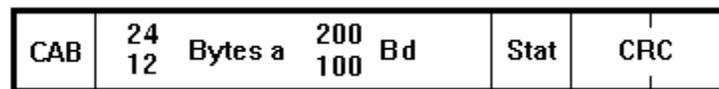


Figura 16. Paquete de información PACTOR.

El diagrama de tiempos de la sesión de PACTOR se muestra en la figura 17.

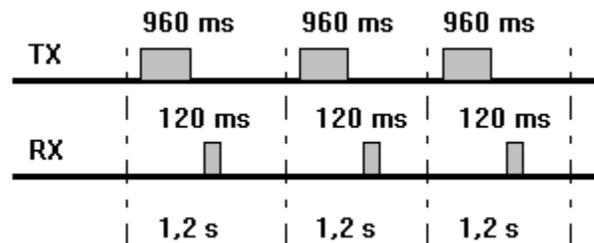


Figura 17. Diagrama de tiempos de PACTOR.

Tal como se muestra en la figura, la duración de un ciclo en PACTOR es de 1,2 s. Ese tiempo de ciclo contempla la transmisión de un paquete de datos durante 960 ms, la transmisión de un paquete de confirmación durante 120 ms y un tiempo de espera o guarda de 290 ms. Como se observa, el ciclo de trabajo es superior al de AMTOR, por lo que esta modalidad se ve menos afectada por los tiempos largos de conmutación.

En PACTOR es posible reconstruir paquetes defectuosos (incluso pueden restaurarse los paquetes ruidosos), mediante la utilización de la memoria ARQ; el transmisor tiene que repetir el paquete hasta que se haya recibido sin ningún error. Claro está que la probabilidad de recibir un paquete completo, disminuye al tener una baja Relación de Señal a Ruido (SNR-Signal-Noise-Ratio). Es posible

emplear el modo de trayectos largos (long path), para la conexión con estaciones muy lejanas, del orden de 40.000 Km.

PACTOR II es un nuevo protocolo mejorado de PACTOR I, compatible con este. Fue desarrollado en Alemania, es un sistema half-duplex y sincrónico ARQ. Opera en un transmisor con Banda Lateral Superior (USB-Upper SideBand) o Inferior (LSB-Lower SideBand).

El inicio del enlace con este sistema se hace utilizando modulación FSK, con el fin de lograr compatibilidad con PACTOR I y otros modos anteriores. Emplea modulación DBPSK a 200 bps, DQPSK a 400 bps, 8-DPSK a 600 bps, 16-DPSK a 800 bps. Las anteriores velocidades se alcanzan sin ningún tipo de compresión. Posee una ocupación de BW menor a 500 Hz, independiente de la velocidad de transmisión. PACTOR II aprovecha el DSP, logrando una compresión inteligente de datos mediante:

- Compresión Huffman.
- Compresión Pseudo Markov o MPC (Huffman de nivel 2).
- Reducción de redundancia, para secuencias de caracteres repetidos.

Además cuenta con un potente decodificador Viterbi en tiempo real, para incrementar la transferencia de datos y la sensibilidad dentro de niveles de ruido. Así se logran velocidades de hasta 1.200 bps. Otras características son:

- Correlación en cruz: emplea memoria ARQ para el reconocimiento de tramas y encabezados (Header).
- Utiliza inteligencia artificial para determinar la validez de la trama de la información recibida.
- Longitud de bloque de datos extendida: cuando se transfieren grandes cantidades de archivos bajo buenas condiciones, la longitud de los datos se duplica para incrementar la tasa de transferencia.
- Reconocimiento automático de PACTOR I, PACTOR II y así sucesivamente con modos de conmutación automática.
- Los productos de intermodulación son cancelados por la codificación del sistema.
- Dos modos de trayectoria larga con trama extendida sincronizada para grandes trayectos terrestres y de propagación satelital.

Este es un rápido y robusto modo, posiblemente el más poderoso en la banda de aficionados. Puede comunicarse con el sistema PACTOR I, PACKET y AMTOR,

reconociendo cada bloque de datos. Por esta razón la gama de servicios a prestar es muy amplia, desde el envío de texto, archivos y servicios de E-mail HF (correo electrónico por HF).

2.4.6 Packet Radio (Radio Paquete). Es un sistema de transmisión de datos libre de errores y de alta velocidad, muy apto para transferir gran cantidad de datos. Es un modo de comunicación digital por conmutación de paquetes vía radio, que permite el enlace de dos estaciones de radio directamente o a través de una red. Este modo está basado en la utilización de paquetes de información en formato sincrónico y con corrección de errores, que asegura una comunicación fiable entre dos estaciones, un direccionamiento fiable de paquetes y la compartición de un mismo canal por varios usuarios.

Para el establecimiento de sesiones de Packet Radio, se ha definido un protocolo de enlace (Nivel 2 ISO/OSI) que garantiza la fiabilidad de la sesión. A este protocolo se le dio el nombre de AX.25, el cual sigue las recomendaciones ISO 3309, 4335 y 6256, ANSI X3.66 y UIT-T Q.921, relativas a protocolos sincrónicos en formato HDLC (High Data Link Control). Por tanto este es un protocolo orientado a paquetes, en el que la información a transferir viaja encapsulada en un paquete completo, dotado además de la información de usuario, caracteres de control, dirección y corrección de errores.

El Packet Radio es un sistema que tiene las siguientes características:

- Incluye protocolo de nivel de enlace que permite la utilización compartida de una frecuencia.
- Existe una disciplina de acceso al canal (capa MAC-OSI), que consistente en el Acceso Múltiple por Detección de Portadora (CSMA-Carrier Sense Multiple Access) y la Evasión de Colisiones (CA-Collision Avoidance) que generalmente se agrupa en el nombre CSMA/CA.
- Es más rápido que CW o el RTTY a máxima velocidad.
- Está libre de errores.
- Prevé colisiones y pérdidas por cambios de propagación o interferencias.
- Permite la racionalización del espectro compartiendo canal o frecuencia, y muchas estaciones al mismo tiempo. Con la ventaja sobre el AMTOR que permite coexistir diversas estaciones a la vez.
- Contempla la aplicación en red, por lo que las estaciones que no disponen de enlace o condiciones entre sí, pueden contactar utilizando terceras como repetidoras.

- Permite la operación en half y full-duplex y conexiones simples o múltiples.
- Bajo costo del equipo necesario.

Las posibilidades ofrecidas por este sistema son diferentes a las vistas en los sistemas anteriores:

- Dos estaciones no monopolizan una frecuencia para su enlace.
- Puede existir multitud de enlaces independientes entre las estaciones presentes en una frecuencia.
- Una misma estación puede estar conectada a varias estaciones a la vez.

La información transmitida se secciona en paquetes, el cual es un conjunto de caracteres con una bandera, un encabezamiento al principio y una suma de comprobación o chequeo CRC y una bandera al final. La bandera es un carácter específico utilizado para indicar el principio y el final de un paquete. El encabezamiento es la información referente a la procedencia del paquete, los repetidores necesarios para llegar al destino e información de control. Una suma de comprobación CRC es una fórmula matemática que da como resultado un número que es exclusivo para la combinación de los caracteres del paquete. Este número único es calculado por la estación receptora, luego se compara con el CRC enviado; si no coincide se desecha, pidiendo una repetición del paquete. Al paquete se le conoce también como frame o trama.

La estructura de un paquete o trama es una unidad de información compuesta por diversos campos. En la figura 18 se muestra la organización de los dos tipos de paquetes existentes según el protocolo AX.25, dependiendo del tipo de información que contienen. Cada campo está constituido por una cantidad entera de octetos y sirve para especificar una función, tal como se detalla a continuación. El campo de bandera (Flag) tiene una longitud de un octeto y se utiliza para delimitar el paquete; por tanto aparecerá tanto en la cabecera como en la cola de este. Este campo siempre tiene el mismo valor, es decir, una máscara binaria de 01111110. El campo de dirección se utiliza para identificar la estación transmisora del paquete y la estación receptora. El campo de control se utiliza para identificar el tipo de paquete y los atributos de control de protocolo. El campo Identificador de Protocolo (PID-Protocol Identifier), identifica el tipo de protocolo de nivel 3 de ISO, al que va asociado el paquete. El campo de Información contiene la información propia de usuario a transmitir. Este campo puede contener hasta 256 octetos. El campo de Secuencia de Chequeo de Trama (FCS-Frame Check Sequence) es un campo de 16 bits que contiene el número calculado de control de paquete o CRC, para la corrección de errores según la norma ISO 3309.

Flag	Dirección	Control	FCS	Flag
	112/560 bits	8 bits	16 bits	

Paquetes tipo U y S

Flag	Dirección	Control	PID	Información	FCS	Flag
	112/560 bits	8 bits	8 bits	Hasta 256 Bytes	16 bits	

Paquetes de Información

Figura 18. Estructura del paquete.

Como se dijo anteriormente, cada paquete además de la propia información, adiciona datos sobre dirección, comprobación de errores y control. En la información de dirección se incluyen los indicativos de la estación transmisora y receptora, y de las utilizadas como repetidoras. Mediante la comprobación de errores la estación receptora puede determinar si el paquete llegó íntegramente. Mediante el control, se determina si algún paquete se ha perdido en el trayecto. Con la comprobación de integridad y control, la estación puede pedir la repetición de paquetes en caso de error.

Un elemento característico del Radio Paquete es el Controlador de Nodo Terminal (TNC-Terminal Node Controller), el cual gestiona el protocolo y se enlaza con el módem y el ordenador.

En enlaces terrestres, la aplicación en HF se desarrolla generalmente a 300 Bd FSK. El problema para alcanzar velocidades superiores a 9.600 Bd, reside en el BW permitido en los segmentos del espectro atribuidos a radioaficionados, con notables diferencias entre administraciones de un estado a otro. En enlaces con satélites se opera en las bandas de VHF y superiores, tanto en FM como en SSB, utilizando diversas modulaciones; las más comunes son AFSK, PSK y BPSK. En VHF y UHF se opera a 1.200 y 2.200 Bd AFSK, o a 9.600 Bd FSK

Hoy en día se cuenta con un gran número de usuarios y una red mundial que enlaza estaciones y hace circular mensajería e información entre puntos distantes, interviniendo estaciones especializadas en la función de servidores de Radio Paquete (buzones) conocidas como Sistemas de Mensajería Electrónica por Paquetes (PBS-Packet Bulletin Board System), repetidoras o mixtas (efectuando la función de buzón-repetidor), y satélites de radioaficionado especializados. Ello ha obligado a las diferentes administraciones estatales a publicar reglamentos específicos y/o a adaptar los existentes a los nuevos requerimientos. Un gran número de empresas, asociaciones y particulares han desarrollado productos y

utilidades para esta modalidad. La investigación se ha dirigido a diversas facetas tales como:

- Diseño y desarrollo de nuevos equipos, TNC y módems.
- Investigación en nuevos sistemas de emisión (Espectro ensanchado, etc.).
- Aplicaciones informáticas, entre ellas se destacan: el Protocolo de Transferencia Binaria (YAPP-Yet Another Packet Protocol), o los sistemas de servidores (Packet Cluster).
- Desarrollo de sistemas repetidores (TheNet, Rose, FlexNet, etc).
- Adaptación de los protocolos TCP/IP (JNOS, TNOS, etc).
- Sistema automático de información de posición (APRS).

La Liga de Radioaficionados Americana (ARRL-American Radio Relay League) y los Aficionados de Radio Paquete Tucson (TAPR-Tucson Amateur Packet Radio) revisaron el protocolo AX.25 para adaptarlo a los nuevos requerimientos y establecer un nuevo estándar de compatibilidad (nivel de enlace) entre todos los sistemas de Radio Paquete, sin limitar la evolución ni la investigación. Esta revisión tuvo lugar en 1.996 fruto de los trabajos de radioaficionados y adoptó el nombre de Amateur Packet-Radio Link Layer Protocol V.2.2.

Con el Radio Paquete se pueden prestar diferentes servicios:

- Conexiones entre ordenadores: Al igual que en otros modos digitales, se pueden realizar comunicaciones entre ordenadores para el envío y recepción de datos.
- Conexiones a una BBS o Base de Datos: Para extraer y dejar mensajería de interés general (boletines) o individual (mensajes personales). Las BBS Personales (PBBS-Personal BBS) se comunican entre sí para el envío de correo.
- Redes de computadores: Sistema de estaciones de Radio Paquete que pueden interconectarse para transmitir datos a grandes distancias. Algunos protocolos utilizados son NETROM, TheNET o ROSE.
- Agrupación de Radio Paquete para DX (DX Packet Cluster): Es una red de Radio Paquete que facilita las conexiones a gran distancia (DX) entre el conjunto de radioaficionados que la forman. Permite obtener y dejar información de DX, de forma que se tenga conocimiento en tiempo real de la actividad DX en una banda a una hora determinada.

- Transferencia de archivos: Con el SW adecuado, los radioaficionados pueden hacer transferencia de archivos binarios entre sí, utilizando el Protocolo de Control de Transmisión y el Protocolo de Internet (TCP/IP-Transmission Control Protocol/Internet Protocol) o YAPP.
- Comunicaciones vía satélite: permite la comunicación satelital entre radioaficionados. Algunos permiten administrar y transferir información entre buzones para una circulación global de mensajes con gran rapidez. Algunos utilizan el protocolo AX.25, y otros utilizan protocolos especiales desarrollados para comunicaciones vía satélite.
- Otros servicios a utilizar son los de ejecución (solicitud de un trabajo a una máquina y se obtiene el resultado) e impresión remota.

En HF se utiliza una señal FSK simple a una tasa de 300 Bd en condiciones ideales, con desplazamiento de 200 Hz. Esto permite lograr transmisiones de 15 a 20 cps, utilizando un transceptor común SSB. La modulación FSK simple de 300 Bd vía Ionosfera permite la presencia de distorsión multitrayecto. Dentro de los efectos que genera el multitrayecto esta la dispersión en el tiempo (3 a 5 ms generalmente), dado que la duración del pulso con una transmisión de 300 Bd es de 3,5 ms, la dispersión en el tiempo oculta completamente el bit de información. Además la presencia de ruido dentro del paquete hace que este sea repetido completamente.

2.4.7 G-TOR. Modalidad digital de HF desarrollada por Kantronics. El nombre Golay-TOR, viene del nombre del autor del método de corrección de errores utilizado (Golay). Provee una mayor capacidad que los modos AMTOR y PACTOR. Conserva de PACTOR la modulación FSK (marca y espacio), pero mejora el protocolo de enlace y su eficiencia. Se basa en los conceptos de la norma MIL-STD-188-110 compatible con sistemas de Establecimiento de Enlace Automático (ALE-Automatic Link Establishment).

El funcionamiento básico de G-TOR es el siguiente: detecta y corrige errores en recepción. Para ello se emplea la codificación Golay, que permite corregir errores en canales con alta tasa de fallos, como las presentadas en el HF, caracterizado por el alto ruido atmosférico, interferencias de estaciones cercanas geográfica y espectralmente, y fenómenos incontrolables como los desvanecimientos y el multitrayecto.

Al igual que en las modalidades AMTOR, PACTOR, el G-TOR utiliza los modos FEC y ARQ para su trabajo. Sin embargo, las diferencias principales entre esta y las modalidades anteriores son las siguientes:

- Utilización del método FEC Golay para la corrección de errores.
- Entrelazado de paquetes.

- Utilización del CRC para la detección de errores.
- Compresión Huffman y reducción de redundancia.
- Velocidades de datos de 100, 200 y 300 Bd, con cambio dinámico dependiendo de la calidad del enlace.
- Desplazamiento de 200 Hz con marca en 1.600 Hz y espacio en 1.800 Hz.
- BW de 500 Hz.

La transmisión en G-TOR se realiza en paquetes. Los modos de operación en esta modalidad son los mismos que en PACTOR: modo FEC para las llamadas y modo ARQ para la conexión y el establecimiento de un enlace. El modo FEC es similar al de AMTOR. En modo ARQ, la conexión se realiza a un indicativo válido, al igual que en PACTOR, y el cambio se efectúa mediante una secuencia especial de cambio, la cual es una trama en la que los primeros 16 bits de datos es el ACK de cambio. Una vez establecida la conexión en G-TOR, el TNC cambia tanto la velocidad como la compresión Huffman de modo dinámico, de acuerdo a la calidad del enlace. La codificación Golay es muy conocida y empleada en las comunicaciones, con tasas de error no tolerables, pero G-TOR implementa un modo híbrido ARQ completamente nuevo en el propio firmware de la TNC. La estructura de un paquete G-TOR se muestra en la siguiente figura:

Hdr	69	Bytes a	300	CRC
	45		200 Baud.	
	21		100	

Figura 19. Estructura de un paquete G-TOR.

Tal como se observa en la figura 19, un paquete de G-TOR consta de un primer byte de cabecera o control, 69, 45 o 21 bytes de datos dependiendo de la velocidad de comunicación (300, 200 o 100 Bd) y dos bytes de control CRC. El tiempo de transmisión de un paquete es de 1,92 s. Los tiempos de ciclo en ARQ para esta modalidad se muestran en la siguiente figura:

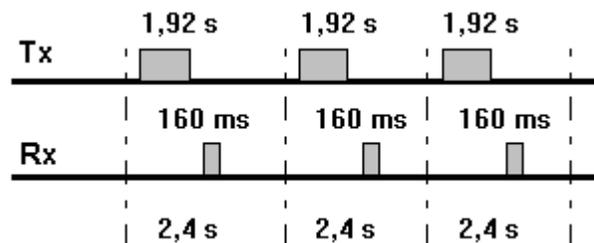


Figura 20. Tiempos de ciclo en ARQ para G-TOR.

Tal como se observa en la figura 20, el tiempo de ciclo completo para el G-TOR es de 2,4 s con una duración de 1,92 s para el paquete de datos, 160 ms para respuesta y un tiempo de guarda de 640 ms.

2.4.8 CLOVER y CLOVER II. CLOVER es el nombre dado a una serie de técnicas de modulación (formas de onda), diseñadas especialmente para la utilización en sistemas de comunicación de datos en HF. CLOVER II es la primera versión comercial desarrollada por los laboratorios de HAL Communications, en 1992. Actualmente existe una nueva versión de CLOVER, llamada CLOVER 2000, la cual se caracteriza por su alto rendimiento en velocidad. El modo CLOVER II utiliza un sistema de modulación de cuatro tonos, con una frecuencia de separación de 125 Hz y las técnicas DSP. Esto permite velocidades mayores que AMTOR o PACTOR. CLOVER 2000 utiliza un sistema de modulación de ocho tonos con separación de 250 Hz.

Las modulaciones CLOVER se caracterizan por los siguientes parámetros:

- Muy baja tasa de caracteres base: 31,25 bps (para todos los modos de CLOVER II) y de 62,5 bps (para todos los modos de CLOVER 2000).
- BW ocupado de 500 Hz, bajo un nivel máximo de rendimiento.
- Modulación diferencial entre pulsos.
- Modulación multinivel.
- Resistentes a la distorsión multitrayecto.

La tasa de caracteres base (31,25 bps), hace que este sistema resista a los efectos del multitrayecto, ya que el tiempo de transición de la modulación es mayor que el peor caso de dispersión de tiempo causado por la suma de señales de multitrayecto.

2.4.8.1 Formas de onda CLOVER. Modulación multinivel de tono, fase y amplitud, que provee una gran cantidad de modos de datos. El modo ARQ adaptativo de CLOVER, explora las condiciones de la Ionosfera y ajusta automáticamente el modo de modulación con el fin de lograr una máxima capacidad de transferencia de datos. Los diversos niveles de modulación (multinivel) PSK y ASK se utilizan en cada pulso, incrementando la capacidad de 125 a 750 bps en CLOVER II y de 250 a 3.000 bps en CLOVER 2000. Todos los niveles de modulación trabajan con su tasa de bits base. Para el caso de CLOVER II, una Modulación por Desplazamiento de Fase Binaria (BPSM-Binary Phase Shift Modulation), la cual presenta dos estados de fase (0° , 180°), la velocidad de datos efectiva en los cuatro tonos es de 125 bps ($31,25 \text{ bps} \times 4$). Para la Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura (QPSM-4-level Phase Shift Modulation), posee cuatro fases, donde un cambio de fase (0° , 90° , 180° , 270°), modula dos bits de datos en cada pulso para un total de 8 bits por cada trama de 8 pulsos. En el caso de la Modulación por Desplazamiento de Fase de Nivel 8 (8PSM-8-level Phase Shift Modulation), existen tres bits por cada cambio de fase. Para la

Modulación por Desplazamiento de Fase de Nivel 16 (16PSM-16-level Phase Shift Modulation) con cambios de fase de 22,5 grados, envía cuatro bits por cada cambio de fase.

CLOVER también utiliza modulación 2DPSM (diversidad de dos canales PSM) y Modulación por Cambio de Amplitud (ASM-Amplitude Shift Modulation) en los modos 8PSM y 16PSM, estos son: 8P2A (modulación 8PSM y 2-ASM), enviando cuatro bits por cambio de fase y amplitud, además la modulación 16PSM y 4ASM (16P4A-16 Phase, 4-Amplitude Modulation). Los términos PSM y ASM, corresponden a los términos PSK y ASK en el sistema CLOVER, utilizados para diferenciarlo de los otros sistemas. La tabla 4 muestra los diferentes modos con sus velocidades correspondientes.

NOMBRE	DESCRIPCION	TASA DE DATOS (bps)	
		CLOVER II	CLOVER 2000
16P4A	16 PSM, 4 ASM	750	3.000
8P2A	8PSM, 2 ASM	500	2.000
8PSM	8PSM	375	1.500
QPSM	4PSM	250	1.000
BPSM	BINARY PSM	125	500
2DPSM	PSM Diversidad (2 canales)	62,5	250

Tabla 4. Modos de modulación de CLOVER II.

2.4.8.2 CLOVER FEC. Todos los modos de CLOVER II utilizan codificación Reed Salomón FEC, el cual permite a la estación receptora corregir errores sin requerir una repetición de la transmisión.

2.4.8.3 CLOVER ARQ. La codificación de datos Reed Salomón es el principal método para corregir errores (llamada también modo Broadcast). En el modo ARQ, CLOVER emplea tres pasos para corregir errores. Primero, los parámetros del canal son medidos y luego se ajusta el formato de modulación para minimizar errores y maximizar la capacidad de datos. Este es llamado modo ARQ adaptativo. En el segundo paso utiliza codificación Reed Salomón para corregir un número limitado de errores de byte por bloque transmitido. Finalmente en el tercer paso, son repetidos los bloques de datos (repetición selectiva de bloques) en los cuales los errores exceden la capacidad del codificador Reed Salomón.

Se dispone de cuatro longitudes del bloque de datos (17, 51, 85, 255 bytes) y cuatro porcentajes de eficiencia de codificación Reed Salomón (60%, 71%, 90% y 100%), siendo la eficiencia la aproximación de la tasa real de bytes de datos, al total de bytes enviados. Una eficiencia del 60% corrige la mayoría de errores pero tiene una baja capacidad neta de datos. Una eficiencia del 100% deshabilita el

codificador y tiene la máxima capacidad, pero no corrige ningún error. Por consiguiente, se debe negociar entre el rendimiento de datos neto y el número de errores que se pueden corregir sin la necesidad de retransmitir completamente el bloque de datos. El encabezado reduce el rendimiento neto o eficiencia de una transmisión CLOVER. Al utilizar la eficiencia de la codificación FEC y los modos ARQ, se adiciona encabezados y se reduce la eficiencia neta.

Cuando dos estaciones CLOVER están enlazadas comparten la información acerca de las condiciones de la señal y los niveles de potencia de salida. CLOVER tiene gran habilidad para ajustar la potencia de salida de forma automática, para mantener una vía de comunicación estable. Por ejemplo, si la señal comienza a deteriorarse en el receptor, la estación transmisora incrementa la potencia hasta que las condiciones mejoren. Con unas excelentes condiciones, la potencia es disminuida hasta unos pocos vatios.

2.4.9 PSK31. Aparece como un nuevo modo con características similares al RTTY y con una mejor resistencia al ruido. PSK31 es un modo para realizar establecimientos de conexión en tiempo real y sin protocolo a nivel de enlace punto a punto. El emisor y los receptores se sincronizan automáticamente. Se basa en una modulación PSK a 31,25 Bd, de tal forma que el BW ocupado es de 40Hz en lugar de 300 a 500 Hz de otros modos. Esto permite utilizar los filtros más estrechos en el receptor con objeto de separar la señal de otras emisiones. Estas características permiten mejorar la calidad de los enlaces.

Emplea un alfabeto de longitud variable llamado Varicode, en el cual los códigos correspondientes a las letras comunes son de tamaño inferior (como el código Morse), no contienen más de un cero seguido y son separados entre sí por dos ceros consecutivos. Esto hace que la recuperación de la sincronización en caso de error sea muy rápida. El cero se codifica como cambio de polaridad. Consigue una velocidad real de 50 wpm. Existe la posibilidad, ante enlaces en los que los errores suceden en ráfagas, de activar un modo con modulación QPSK y utilizar un código convolucional en el emisor y el decodificador Viterbi correspondiente en el receptor. El aumento de velocidad que da la nueva modulación es absorbido por el decodificador, con lo que se obtiene una velocidad similar al caso anterior. Las frecuencias más utilizadas con modulación PSK31 son 3.579,15 KHz, 7.034,15 KHz, 10.139,15 KHz, 14.069,15 KHz, 21.079,15 KHz, 28.079,15 KHz. Todas en USB. El modo puede trabajar bajo sistemas operativos comunes como Microsoft Windows o Unix.

2.4.10 Coherent BPSK (C-BPSK). Este modo se utiliza para enlaces digitales en HF o para experimentación con señales débiles (Lower-Low Frequency Experimenters). Utiliza también BPSK, pero en este caso el usuario puede definir la velocidad desde 1 a 200 Bd. La velocidad más empleada es MS25, es decir 25 ms de longitud de carácter, 40 Bd. En esta configuración, el BW ocupado es mayor (80 Hz) que el de PSK31. Puede utilizar tres alfabetos, uno ASCII y dos con

resistencia a errores denominados ET1 (16 bits) y ET2 (24 bits). En estos últimos alfabetos un carácter se representa por 16 o 24 bits respectivamente en lugar de los 10 bits habituales, esto permite escoger de todos los 2^{16} o 2^{24} símbolos posibles, aquellos que tienen unas propiedades específicas que les permite ser reconocidos en caso de que haya errores en varios bits. Este modo requiere además la generación en el receptor y emisor de una portadora muy estable de 800 Hz, lo que añade una complejidad adicional al modo. Existe un único programa para este modo y es para el Sistema Operativo de Disco (DOS-Disk Operating System). La interfaz de usuario está totalmente basada en texto. Se puede considerar como Norteamericano, aun cuando se está popularizando últimamente en Europa. Este programa inicialmente se pensó para ser ejecutado sobre tarjetas conversoras analógico/digital y viceversa. Las frecuencias de trabajo son 14.081, 18.081 y 3.581 KHz.

2.4.11 MT63. Es básicamente un modo de banda ancha (1.000 Hz). El ancho del espectro es mayor que la del resto de los espectros mostrados previamente. Envía 64 tonos espaciados 15.625 Hz modulados con DBPSK. La velocidad por tono es de 10 Bd, lo que da un total de 640 Bd. Los datos enviados son caracteres ASCII de 7 bits, codificados utilizando funciones Walsh: 7 bits son codificados en bloques de 64 bits, pudiéndose recuperar hasta 16 bits corruptos. Cada bloque es extendido sobre 32 símbolos (3,2 s) y sobre todos los tonos con objeto de reducir los efectos negativos de interferencias localizados en el tiempo o en frecuencia. La sincronización se puede realizar en cualquier momento de la transmisión y con errores de sintonización de hasta 50 Hz. No se requiere ninguna aplicación específica para utilizarlo, basta cualquier programa terminal por puerto serie. El módem automáticamente se enlaza al detectar el tono de sincronismo. En el momento no existe ningún protocolo de nivel superior que utiliza este modo, por lo que el modo actual es el de manejo de código ASCII, pero es muy resistente a errores de ráfaga.

2.4.12 NEWQPSK. Es un modo adecuado para implementar AX.25 o TCP/IP en HF. En principio propone 15 portadoras separadas por 125 Hz moduladas en DQPSK (83,3 Bd cada una), lo que da un total de 2.500 bps. Tiene la posibilidad de modular en 8-PSK y 16-PSK, con el consiguiente aumento en prestaciones. Adiciona un preámbulo para sincronización rápida y FEC. Ensancha los bits en tiempo y frecuencia para mitigar el efecto de los errores en ráfaga. Existe únicamente para la DSP56002EVM, compatible con la mayoría de los programas para AX.25.

2.5 ESQUEMAS DE CODIFICACION Y MODULACION AVANZADOS EN HF

Existen dos métodos avanzados de transmisión de datos a través de un enlace de radio HF convencional: Transmisión de tonos Serial y Paralela. Estas técnicas están descritas en los estándares MIL-STD-188-110 y MIL-STD-188-141A.

Actualmente es muy común encontrar enlaces que utilizan modulación FSK, con un BW de 3 KHz y con Portadoras Telegráficas de Frecuencia de Voz (VFCT-Voice Frequency Carrier Telegraph), como los descritos en la tabla 5. En sistemas de canal simple, donde se transmiten 150 bps o menos, el tono de frecuencia central esta a 1.275 Hz, con una variación de frecuencia de $\pm 42,5$ Hz. Para una transmisión de 600 bps, la frecuencia de operación central esta en 1.500 Hz, con una variación de frecuencia de ± 200 Hz. Para 1.200 bps, el tono de frecuencia central esta en 1.700 Hz con una variación de ± 400 Hz.

Para cada sistema existen dos técnicas. El primer sistema, tono paralelo, transmite 16 tonos simultáneos y cada uno es modulado en fase diferencial (DPSK). El segundo método paralelo utiliza 39 tonos. En cada caso los tonos están dentro de una banda de 3 KHz. Para el sistema de tono serial existe dos técnicas, una utiliza modulación 8PSK y la otra utiliza modulación 8FSK.

CANAL	FRECUENCIA DE MARCA (Hz)	FRECUENCIA CENTRAL (Hz)	FRECUENCIA DE ESPACIO (Hz)
1	382,5	425	467,5
2	552,5	595	637,5
3	722,5	765	807,5
4	892,5	935	977,5
5	1.062,5	1.105	1.147,5
6	1.232,5	1.275	1.317,5
7	1.402,5	1.445	1.487,5
8	1.572,5	1.615	1.657,5
9	1.742,5	1.785	1.827,5
10	1.912,5	1.955	1.997,5
11	2.082,5	2.125	2.167,5
12	2.252,5	2.295	2.337,5
13	2.422,5	2.465	2.507,5
14	2.592,5	2.635	2.677,5
15	2.762,5	2.805	2.847,5
16	2.932,5	2.975	3.017,5
17	3.012,5	3.145	3.187,5
18	3.272,5	3.315	3.357,5

Con Diversidad de frecuencia, los pares a utilizar son:
Pares: 1(9), 3(10), 4(12), 5(13), 6(14), 7(15), 8(16).
Los canales 17 y 18 no se utilizan en HF.
Fuente: MIL-STD-188-342

Tabla 5. Plan de frecuencias para HF (VFCT).

2.5.1 Operación en tono paralelo. La primera técnica (estándar MIL-STD-188-110), opera con una velocidad que varia de 75 a 2.400 bps. El modulador acepta

datos binarios seriales y convierte el flujo de bits en un flujo de 16 tonos paralelos, con una separación de 110 Hz entre tonos sucesivos (el primer tono es de 935 Hz y el último es de 2.585 Hz). El intervalo de un elemento de señal en cada flujo de bits de datos es 13,33 ms y su velocidad de modulación es 75 Bd. El modulador provee una combinación de tonos separados, uno para la sincronización inicial (825 Hz), y si se requiere un tono para la corrección Doppler (605Hz).

Para velocidades de datos de 75, 150, 300 y 600 bps, cada tono es modulado en fase (marca = 135° o espacio = 315°). Para señales de datos con tasas de 1.200 y 2.400 bps, cada señal de tono es modulada en QPSK (cuatro fases), 45° , 135° , 315° , 225° ; en este caso cada dibit de la señal de salida serial es codificada dependiendo del significado lógico de marca o espacio de cada bit, en un cambio de fase. El cambio de fase de un tono es relativo a la fase del tono que precede inmediatamente, por esto es llamada FSK Diferencial (DFSK). La diversidad en banda es utilizada para las diferentes velocidades, excepto para 2.400 bps.

Un sistema con la técnica de 16 tonos paralelos, puede soportar hasta 6 ms de dispersión multitrayecto, ya que un elemento de señal (un bit), posee un ancho de 13,33 ms para todas las velocidades de datos utilizadas. La segunda técnica utiliza 39 tonos paralelos, cada uno con una Modulación Diferencial en Fase de Cuadratura (DQPSK). El tono 40 no modulado se adiciona para la corrección Doppler. La diversidad en banda es disponible para todas las velocidades de datos por abajo de 1.200 bps. Utiliza una codificación FEC empleando un código bloque Reed Salomón reducido (15,11), con propiedades de entrelazado incorporado en el módem. La duración de los tonos y el entrelazado son sincronizados automáticamente. Cada uno de los 39 tonos se asigna a un canal de 52,25 Hz. El tono de frecuencia más bajo es de 675 Hz y el más alto es de 28.112,50 Hz. El tono de corrección Doppler es de 393,75 Hz. La exactitud de frecuencia de un tono de datos debe mantenerse al rededor de $\pm 0,05$ Hz. Para operar por debajo de 1.200 bps debe utilizarse la diversidad de tiempo y en banda de frecuencia.

La tabla 6 muestra la probabilidad de errores de bit vs SNR para el módem de 39 tonos en un simulador de banda base HF a velocidades de 1.200 y 2.400 bps; asumiendo trayectos con un desvanecimiento Rayleigh aceptable, con 2 ms de dispersión multitrayecto.

2.5.2 Operación en tono serial. La primera técnica es descrita por el MIL-STD-188-110. Emplea una modulación M_ary PSK, en una frecuencia portadora (o tono). El módem acepta datos seriales binarios desde 75 hasta 2.400 bps y convierte este flujo de bits en una señal de salida modulada 8-PSK. El flujo de bits serial, antes de la modulación, es codificado con un código convolucional con una restricción de longitud de 7 ($k = 7$). Se utiliza un entrelazado con almacenamiento de 0,0 s; 0,6 s y 4,8 s (intervalos de entrelazado). El tono de la frecuencia portadora es $1.800 \text{ Hz} \pm 1 \text{ Hz}$.

SNR (dB) en BW de 3 KHz	PROBABILIDAD DE BIT ERRONEO	
	2.4000 bps	1.200 bps
5	8,6 E-2	6,4 E-2
10	3,5 E-2	4,4 E-3
20	1,0 E-3	9,0 E-6
30	1,8 E-4	2,7 E-6

Tabla 6. Probabilidad de error vs SNR.

La forma de onda (estructura de la señal) del módem tiene cuatro fases secuenciales de transmisión:

- Fase de sincronización del preámbulo.
- Fase de datos.
- Fase de Finalización del Mensaje (EOM-End of Message).
- Fase de codificación y entrelazado.

La longitud del preámbulo depende de la ubicación del entrelazado, presentando una duración de 0,0; 0,6 y 4,8 s. Este preámbulo permite al módem del receptor lograr sincronización de tiempo y frecuencia. Durante la fase de transmisión de datos, el mensaje se intercala con una secuencia conocida de datos del módem por ecualización del canal.

En el medio HF existe distorsión de amplitud y retardo de grupo. Por ejemplo, a 2.400 bps, 16 símbolos de una secuencia conocida (datos conocidos) son seguidos por 32 símbolos de datos de usuario (datos desconocidos). Antes de que el último bit de datos desconocidos sea transmitido, una secuencia especial de 32 bits se envía hacia el codificador, el cual ejecuta la función EOM, Informando al módem receptor de la finalización del mensaje. La secuencia EOM consiste del número hexadecimal 4B65A5B2. La fase final de transmisión se utiliza para resetear el decodificador FEC.

La tabla 7 muestra la probabilidad de error para varias velocidades vs SNR, utilizando la primera técnica de tono serial. La simulación se basa en la recomendación ITU 549-2.

El segundo tono serial es tratado en el estándar MIL-STD-188-141. El principal propósito del estándar es automatizar un sistema HF de baja tasa de datos, como es el caso de un enlace simple, una red en estrella con polling, o una gran red de computadores. Este sistema incorpora las funciones de: ALE y un método de sondeo automático que incluye el intercambio de información LQA entre miembros de una red.

TASA DE BITS	SNR (dB) en BW de 3 KHz	PROBABILIDAD DE BIT ERRONEO
2.400	10	1,0 E-5
1.200	11	1,0 E-5
600	7	1,0 E-5
300	7	1,0 E-5
150	5	1,0 E-5

Tabla 7. SNR vs Probabilidad de error.

La modulación es 8_ary FSK y los ocho tonos son: 750 Hz (000), 1.000 Hz (001), 1.250 Hz (011), 1.500 Hz (101), 1.750 Hz (110), 2.000 Hz (111), 2.250 Hz (101) y 2.500 Hz (100). Las transiciones de los tonos son en fase continua, con una tasa de baudios de 125 Bd, con una transmisión de 375 símbolos por segundo (1 Bd = 3 símbolos).

El sistema utiliza código bloque FEC con el código Golay (24, 12, 3) 1/2 tasa. O sea que un bit de dato se representa por dos símbolos codificados. En el modo de datos en texto, el modo de despliegue automático de mensajes y el modo básico ALE. La tasa de datos no codificados (tasa de datos de usuario) es 61,22 bps en los modos de texto de datos, el despliegue automático de mensajes y en el modo ALE. En el modo bloque de datos, la tasa de datos no codificados es 187,5 bps (375/2). La capacidad máxima de datos es de 53,57 bps en el modo texto de datos, el despliegue automático de mensajes y en ALE. La fuente de codificación es un subconjunto de ASCII.

El LQA está construida dentro del encabezado del protocolo, incluye información de la Relación de Errores de Bit (BER-Bit Error Ratio), Relación de Señal más Ruido más Distorsión a Ruido más Distorsión (SINAD-Signal-Plus-Noise-Plus-Distortion to Noise-Plus-Distortion Ratio) y el valor de Multitrayecto (MP-Multi-Path). El campo LQA consiste de 24 bits, incluyendo bits de encabezado, 3 bits de multitrayecto, 5 bits de SINAD y 5 bits de BER. El sistema incorpora un sondeo de prueba para la optimización y gestión de frecuencia.

2.6 RECOMENDACIONES ITU PARA LA TRANSMISION DE DATOS EN HF

Debido a la creciente demanda de transmisión de datos y dado que los enlaces HF por propagación ionosférica permiten comunicaciones a larga distancia, la asamblea de recomendaciones de la UIT, para satisfacer esta demanda ha considerado la utilización de los módems con modulación PSK y con Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM-Quadrature Amplitude Modulation). Además,

para compensar la naturaleza desfavorable del medio de transmisión, se pueden utilizar técnicas como diversidad, codificación, entrelazado y velocidad de datos variable (adaptable al canal), entre otras.

De otro lado, los progresos tecnológicos realizados en los últimos años, han dado como fruto el desarrollo de procedimientos de adaptación que permiten automatizar los enlaces de HF y mejorar su calidad. Por ello, la asamblea de recomendaciones de la UIT recomienda la utilización de sistemas adaptables de ALE en HF. Todos estos aspectos se tratan en las siguientes recomendaciones:

- Recomendación UIT-R F.763-4: Transmisión de datos por circuitos de HF que utilizan modulación PSK o modulación QAM.
- Recomendación UIT-R F.1110-2: Sistemas radioeléctricos adaptables para frecuencias inferiores a 30 MHz.
- Recomendación UIT-R 339-6: Anchuras de banda, relaciones señal/ruido y márgenes para el desvanecimiento en sistemas completos.

2.6.1 Recomendación UIT-R F.763-4. Esta recomendación plantea en su Anexo 1, la transmisión de datos a 2.400, 1.200, 600, 300, 150, 75 bps por circuitos de HF que utilizan telegrafía armónica multicanal y modulación PSK.

En este sistema el módem genera en transmisión una señal de audio compuesta, formada por un conjunto de 18 tonos paralelos en la banda de 300 a 3.000 Hz. De estos tonos, 16 tienen una separación de 110 Hz (935 a 2.585 Hz), modulados en QPSK con codificación diferencial, cada uno a una velocidad binaria de 75 Bd, lo que permite una velocidad de datos de 2.400 bps ($16 \times 75 \times 2$). El tono 605 Hz se utiliza para la corrección de errores de frecuencia de extremo a extremo, incluido el efecto Doppler. El tono 2.915 Hz (u 825 Hz) se emplea para la sincronización del sistema.

El combinador de doble diversidad puede aceptar entradas tanto de dos receptores que funcionen en el modo de diversidad de espacio, frecuencia o polarización como de un receptor que funcione en el modo de banda lateral inferior.

Cuando la velocidad de datos es un submúltiplo de la velocidad de transmisión, puede utilizarse varias formas de diversidad dentro de la banda. Por ejemplo, una velocidad de 1.200 bps permite diversidad doble (1.200×2), una velocidad de 600 bps diversidad cuádruple (600×4) y así sucesivamente, siempre con una velocidad de transmisión de 2.400 bps. La utilización de la máxima diversidad posible, dentro de la banda y entre canales independientes, resulta posible en función de la velocidad de transmisión de datos elegida. Se tienen velocidades de 75, 150, 300, 600 y 1.200 bps. El módem también permite el establecimiento del intervalo de entrelazado.

La señal de transmisión se compone de tramas cuya duración es 13,33 ms. Esta duración incluye un tiempo de guarda (4,2 ms) que se introduce con objeto de compensar los efectos de la propagación por trayectos múltiples.

El módem utiliza dos técnicas para reducir la degradación de la señal, debida en particular al ruido impulsivo y al desvanecimiento por interferencia:

- Codificación y corrección de errores.
- Entrelazado en el tiempo.

Se utiliza una forma de código de bloques cíclico BCH (16,8).

Las simulaciones para mostrar el rendimiento del módem utilizan el ruido Gaussiano, en términos de la probabilidad de bits erróneos P_e y en función de la SNR, con un BW de 250 a 3.000 Hz. Según las recomendaciones, el procedimiento seguido es tomar la salida del módem, sumarla con un ruido gaussiano, filtrarla y aplicarla a la entrada en recepción de otro módem, del que se retira a la salida la secuencia de prueba. Esta secuencia de prueba se debe introducir a un analizador de errores de datos para determinar la BER.

La figura 21 muestra los resultados de una simulación por computador del rendimiento del módem en un canal con desvanecimiento multitrayecto de 1 ms, utilizando una combinación de diversos tipos de técnicas de diversidad (dentro de banda y fuera de banda), códigos de corrección de errores y técnicas de entrelazado para velocidades binarias de 600, 1.200 y 2.400 bps.

La Recomendación F.763-4 también plantea que para la transmisión de datos a velocidades binarias de hasta 3.600 bps con módems de transmisión en serie, se debe dar preferencia al sistema descrito en su Anexo 2, donde el módem permite transmitir datos por un canal HF a 3 KHz. El módem recibe y reconstruye los datos digitales a una velocidad de 3.600 bps, utilizando modulación multinivel PSK ($M_{ary} = 2, 4, 8$), con FEC y ARQ, como modos de funcionamiento del módem. Genera una señal de audiofrecuencia analógica dentro de la banda de 300 a 3.300 Hz. Además, incorpora protección contra la propagación por trayectos múltiples, el efecto Doppler y el desvanecimiento.

En el Anexo 4 de esta recomendación se describen los sistemas de diversidad de modo/polarización destinados a mejorar la calidad de funcionamiento de los sistemas con modulación PSK en HF. En el Anexo 5 se describe el sistema para transmitir datos a velocidades binarias de hasta 4.800 bps utilizando módems de transmisión en serie. Este plantea que el módem permite transmitir datos con velocidades de información de hasta 4.800 bps utilizando la modulación 16QAM, en un BW de 300 a 2.700 Hz. El método de modulación es conmutado de acuerdo con la calidad del enlace, con modulación QPSK a 2.400 bps o con Modulación por Desplazamiento de Fase Bifásica (PSK-2) a 1.200 bps.

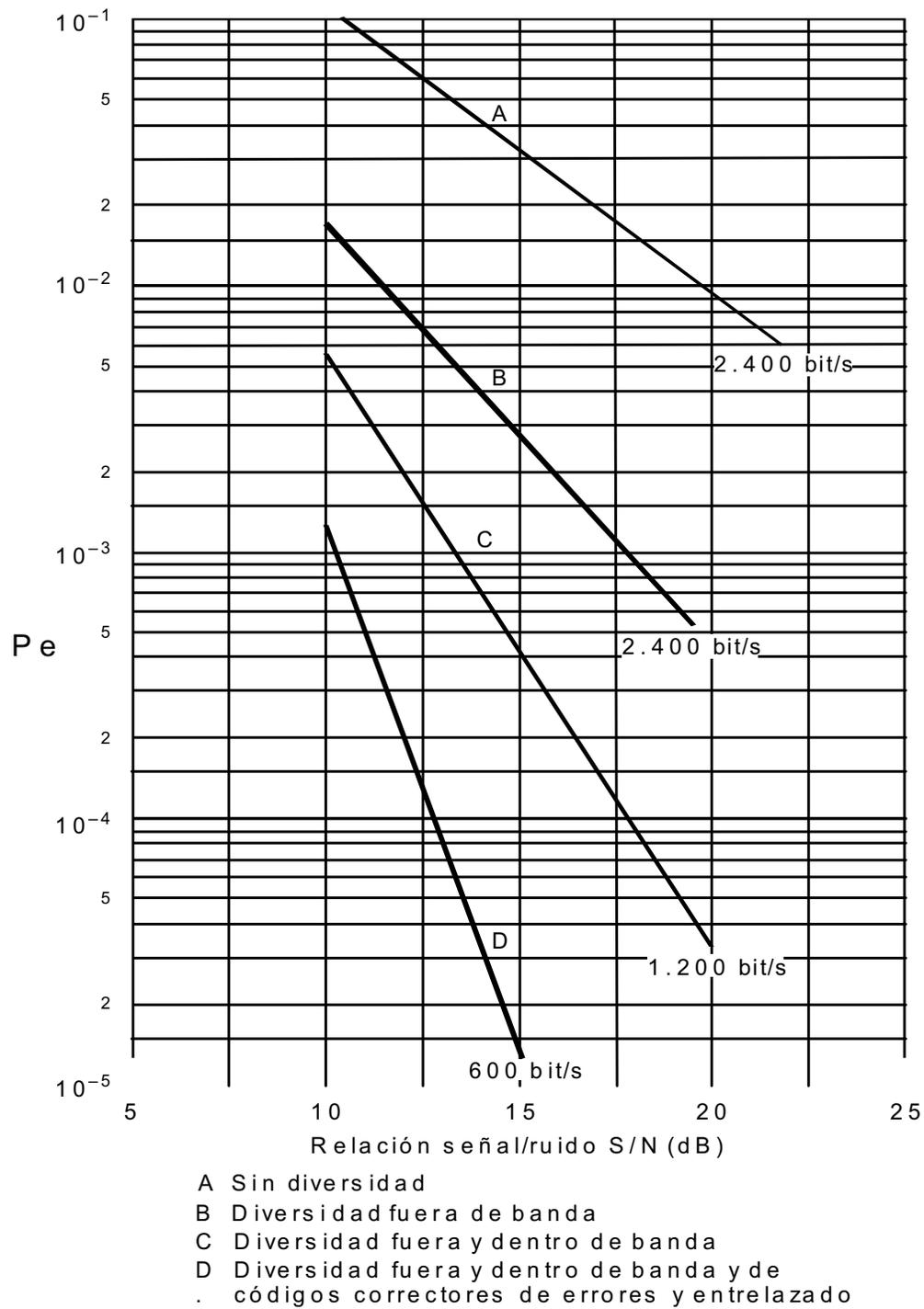


Figura 21. Probabilidad de bits erróneos en función de la SNR para un canal con desvanecimiento selectivo.

2.6.2 Recomendación UIT-R F.1110-2. Esta recomienda:

- Todo sistema adaptable en HF debe tener las características generales señaladas en el Anexo 1 de la misma.
- La asignación de frecuencia a estos sistemas se debe efectuar de acuerdo con los principios señalados en el Anexo 2 de la misma.
- En los Anexos 3 a 9 de esta recomendación, se describen diversos sistemas adaptables.

Esta recomendación es similar al MIL-STD-188-141B, el cual se menciona en el Capitulo 3 de este documento. La Recomendación UIT-R F.1110-2 plantea la automatización de la selección de la frecuencia a utilizar, de la llamada, del establecimiento del enlace, su terminación y la adaptabilidad durante una comunicación para mantener la calidad de la transmisión. También se plantea la asignación de frecuencias para sistemas adaptables.

2.7 FENOMENOS QUE AFECTAN LA TRANSMISION DE DATOS EN HF

Existen varios fenómenos que afectan la calidad de la señal recibida en un enlace de HF. Las transmisiones de datos son severamente afectadas principalmente por los fenómenos relacionados con el multitrayecto. Los efectos primordiales a distinguir son: desvanecimiento, dispersión de tiempo y de frecuencia. Estos fenómenos afectan las transmisiones analógicas pero en menor proporción, están estrechamente relacionados y son más fuertes si la frecuencia utilizada esta muy por debajo de la MUF, y mucho peor si el trayecto es largo. Un solo salto en la banda de 20 m, normalmente no sufre los efectos severos del multitrayecto, sin embargo, en un trayecto de distancia considerable en la banda de 80 m y en especial durante la noche, este genera graves problemas.

Los requerimientos de SNR dependen del tipo de información a transmitir. La recomendación UIT-R 339-6 indica las formas de onda típicas en HF (tipos de modulación) y los requerimientos de BW y SNR.

2.7.1 Desvanecimiento. Los enlaces en HF por señales de onda celeste y de NVI, experimentan desvanecimiento a causa de las diferentes características de la ionosfera, dando como resultado retardos en la señal y cambios en la frecuencia. Las principales formas de desvanecimiento son:

2.7.1.1 Desvanecimiento por interferencia. Se presenta por la combinación de dos o más componentes de la misma señal, que se propagan por diferentes trayectorias (desvanecimiento multitrayecto).

2.7.1.2 Desvanecimiento por polarización. Es causado por la Rotación Faraday. Las antenas en HF normalmente son de polarización lineal, lo que provoca que el nivel de campo resultante E (Campo Eléctrico) captado por la antena receptora esté influenciado por dicha variación elíptica.

2.7.1.3 Desvanecimiento por desenfoque. Se presenta debido a las irregularidades o cambios en las condiciones atmosféricas, las cuales causan desvanecimientos con periodos hasta de unos cuantos minutos.

2.7.1.4 Desvanecimiento por absorción. Es debido a la actividad solar. Este afecta a las bajas frecuencias, causando desvanecimientos que pueden durar desde unos pocos minutos hasta una hora.

Es importante conocer la profundidad del desvanecimiento, entendiéndose como la diferencia en dB entre niveles que pueden exceder los rangos tolerables de una señal en recepción. Puede ser de corta duración y muy profundo (hasta 14 dBs o más), o de periodos prolongados de baja profundidad (8 dB). En particular para una disponibilidad del 99% pueden requerirse hasta 22 dBs como margen de desvanecimiento.

El desvanecimiento selectivo influye principalmente en sistemas FSK, así como en un canal con baja SNR, determinando la BER de todo el sistema. La característica de simetría de la señal FSK es afectada por el desvanecimiento selectivo, a diferencia de la modulación PSK, la cual es bastante robusta frente a este efecto.

2.7.2 Dispersión. Estos son fenómenos que deterioran la señal en el receptor; entre ellos están: dispersión de tiempo y de frecuencia.

2.7.2.1 Dispersión de tiempo. En trayectos de onda celeste, esta dispersión es causada por el multitrayecto, el cual generara diferencias de tiempo en la propagación por diferentes trayectos de las componentes de la señal. Este es un fenómeno que genera efectos destructivos en las comunicaciones digitales en HF, si la extensión del retardo excede la mitad del ancho de tiempo (periodo) de un pulso. Por esta razón es conveniente para combatir este tipo de dispersión, extender el ancho del pulso disminuyendo la tasa de baudios a transmitir.

Como ejemplo se tiene una transmisión de una cadena serial de bits a 100 Bd, con un periodo de 0,01 s (10 ms) cada baudio. Si se considera un tiempo de dispersión típico de 5 ms (medio periodo), la comunicación se mantiene aunque con una BER no muy óptima.

Los tiempos de dispersión debidos a la interferencia multitrayecto pueden provocar tiempos de incertidumbre de 1 a 5 ms en la señal recibida. Los sistemas digitales FSK son muy susceptibles a esta distorsión; por esta razón la utilización de la modulación FSK generalmente se restringe a un ancho de pulso de 7 a 13 ms.

2.7.2.2 Dispersión de frecuencia (Dispersión Doppler- Doppler Spread). La frecuencia de la señal original es desplazada durante el trayecto entre el transmisor y el receptor. La práctica ha demostrado que la dispersión de frecuencia en enlaces HF casi siempre está presente cuando hay dispersión de tiempo. La dispersión y el desplazamiento Doppler se deben a las fluctuaciones de la Ionosfera, causando efectos desastrosos particularmente en sistemas FSK de banda estrecha, donde la desviación de frecuencia máxima tolerable es de aproximadamente 2 Hz; si este valor se excede, la BER se debe aproximar a un valor de 5×10^{-1} . Valores típicos de Doppler Spread en trayectos de latitudes medias son de 0,1 a 0,2 Hz. Otro fenómeno a tener en cuenta es la dispersión de fase de la señal, en sistemas PSK esta dispersión causada por la propagación, debe ser inferior a $11,25^\circ$.

Como ejemplo, en un sistema con modulación DPSK con una tasa de 100 bps, provee una correcta salida si el shift de frecuencia es menor de $\pm 12,5$ Hz; por consiguiente se debe aplicar el rastreo automático de frecuencia. Para niveles de modulación superiores de DPSK se requiere una mayor exactitud de frecuencia hasta de 1 Hz, dificultando la posibilidad de un rastreo rápido de frecuencia.

2.7.3 Ruido en el sistema receptor. Normalmente se refiere al ruido térmico como la principal manifestación de ruido en el sistema de radio, producido por el equipo receptor. Pero en un sistema HF el ruido externo resulta ser más dominante y por su grado de incidencia puede clasificarse así:

- Ruido debido a la interferencia de otros emisores.
- Ruido atmosférico.
- Ruido producido por el hombre y galáctico.
- Ruido térmico del receptor.

El procedimiento para el cálculo de ruido se trata en el Capítulo 4, sección 4.2.3.3 de este documento.

2.8 ATENUACION DE LOS EFECTOS DAÑINOS EN LA PROPAGACION

Es complicado solucionar problemas en la propagación HF con solo incrementar el nivel de potencia de la señal, por lo que es muy común utilizar métodos de diversidad. Este método se basa en tomar ventaja de las señales que no están relacionadas directamente con la señal recibida.

Existen tres tipos básicos de diversidad: espacio, tiempo, frecuencia y polarización. De estos se derivan otros tipos de diversidad.

2.8.1 Diversidad de espacio. La misma señal es recibida en dos o más antenas separadas un espacio específico, aproximadamente debe ser de seis veces la longitud de onda. Es difícil de utilizar debido a que la separación requerida (varios cientos de longitudes de onda) significa más superficie de terreno ocupado que el disponible para el receptor.

Las antenas receptoras que funcionan con el modelo de diversidad de espacio, deben ser separadas entre sí un mínimo de 300 m; los espacios permitidos son de cinco longitudes de onda a su frecuencia de operación más baja.

2.8.2 Diversidad de tiempo. La señal se transmite en varios tiempos. No es fácil de aplicar, debido a que el tiempo de coherencia es demasiado grande (de varios segundos incluso con desvanecimiento rápido).

2.8.3 Diversidad de frecuencia. La información es transmitida simultáneamente en diferentes frecuencias. También es conocida como diversidad en banda. La UIT recomienda al menos una separación de 400 Hz entre tonos redundantes FSK, en su recomendación 106-1. El estándar MIL-STD-188-342, sugiere un plan de modulación de portadora del canal de voz, según la tabla 4. Esta tabla muestra el plan de frecuencias de los diversos pares de tonos; en este caso los datos redundantes son transmitidos en pares de tonos FSK separados 1.360 Hz. Es factible desde el punto de vista técnico (la separación requerida de frecuencias a menudo es de solo unos cuantos KHz), pero la banda HF ya se encuentra bastante saturada y las agencias de reglamentación son reacias a dar cabida a múltiples canales para usos simultáneos en un enlace.

2.8.4 Diversidad de polarización. Las señales son recibidas en antenas con diferente polarización.

Otras técnicas que actualmente se están utilizando en HF son los esquemas de codificación y entrelazado, para la detección y corrección de errores. Esto unido a técnicas como ALE y LQA, hacen posible el intercambio de información de la calidad del enlace, como se describe en el Capítulo 3 de este documento.

3. CRITERIOS DE DISEÑO PARA REDES BASADAS EN HF

3.1 REQUERIMIENTOS PARA LA RADIO HF AUTOMATICA Y ADAPTABLE

3.1.1 Definición y alcance de los sistemas adaptables. Debido a las características de la banda de frecuencias de HF, la transmisión de datos es bastante crítica. Desde hace algunos años, se ha desarrollado SW para el seguimiento de las condiciones de propagación, por medio del modelamiento de los sistemas y la interpolación de las variaciones. Además se ha tenido en cuenta las habilidades de los radioaficionados, con el fin de confirmar según su experiencia los cambios en un enlace HF. Las principales características del medio son la vulnerabilidad a los bloqueos, la variación constante en la propagación, los desvanecimientos totales en la atmósfera ionizada, y el trabajo arduo por parte del operador.

Para reducir los efectos contrarios producidos en la transmisión, la tecnología ha desarrollado lo que se conoce como radio adaptable, por medio del control de un microprocesador, con un robusto modulador/demodulador, un conmutador de antena y acopladores, y la capacidad de corrección de errores. En este nuevo sistema, se han agregado también la selección y gestión de frecuencias, el establecimiento y mantenimiento del enlace y los protocolos de red para relevar al operador en el proceso de comunicación.

3.1.2 La radio HF automática y adaptable. La descripción del nuevo sistema de radio, se desarrolla por medio de niveles. El nivel bajo es el de transmisión, responsable del envío de mensajes punto a punto. Sobre él se encuentra el nivel de enlace, donde reside el sistema transceptor, y el nivel de red, responsable de la unión de varios radios en una red. En este nivel se maneja el concepto de ALE. El nivel superior es el del operador o función del sistema de nivel superior, responsable de generar y recibir el tráfico de mensajes o datos. La tabla 8 muestra cómo este nivel se relaciona con los demás niveles del modelo, además describe las técnicas modernas de adaptabilidad que se pueden agregar a los diferentes niveles.

Bajo el funcionamiento manual del sistema de radio HF convencional, el operador debe ajustar los parámetros del sistema para un máximo desempeño, debe supervisar las condiciones de la Ionosfera, hacer el rastreo de las condiciones de propagación y seleccionar las condiciones de operación (frecuencia), para una mejor propagación de la señal. Actualmente, las técnicas de automatización reducen la carga del operador por medio de la adición de subsistemas para la

gestión de frecuencia, establecimiento y mantenimiento del enlace. Con estas técnicas se reducen las funciones y el requerimiento de experiencia del operador de radio. La adición de automatización ubica a la radio HF en el tipo PTT en el mejor canal, siendo un dispositivo de comunicación multicanal que realiza varias funciones fundamentales.

Además de éstas técnicas de automatización, están las técnicas adaptables, que reducen las funciones del operador y hacen al sistema de radio más sensible a las condiciones de propagación continuamente cambiantes. La adaptabilidad es el proceso asociado con la conmutación automática de los parámetros y/o configuración del sistema, en respuesta a los cambios en las condiciones de propagación del canal con la variación del estado del tiempo y el ruido externo.

NIVEL	TECNICAS DE ADAPTABILIDAD QUE PUEDEN SER ADICIONADAS
Nivel de Sistema	Gestión y control de frecuencia a nivel del sistema.
Nivel de Red	Enrutamiento adaptativo, control de flujo, establecimiento de conexión, intercambio de datos.
Nivel de Enlace	Gestión y control de frecuencia.
Nivel de Transmisión	Tasa de datos, forma de onda, esquemas de codificación, potencia, tipo de antena, patrón de radiación de la antena.

Tabla 8. Técnicas de adaptabilidad y técnicas asociadas.

Las partes funcionales del sistema de radio HF adaptable pueden representarse según el modelo de referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI-Open System Interconnection) de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO-International Organization for Standardization). En la tabla 9 se describen los niveles del sistema con las principales funciones de adaptabilidad.

3.1.2.1 Nivel de adaptabilidad de transmisión. Nivel más bajo de adaptabilidad, corresponde a las características asociadas con la comunicación sobre un trayecto de transmisión único en una o más frecuencias. Las características incluyen la velocidad de datos, formas de onda, esquemas de codificación, potencia transmitida, patrón de radiación de la antena y valoración del rendimiento.

3.1.2.2 Nivel de adaptabilidad de enlace. Este nivel es importante en las comunicaciones punto a punto. Sus características incluyen funciones de gestión y control de frecuencia, sondeo vertical y oblicuo, exploración del canal y monitoreo de la ocupación y congestión, y la valoración del funcionamiento.

NIVEL	FUNCIÓN
Nivel de adaptabilidad del sistema Multi Medios	Gestión del sistema de alto nivel, gestión de frecuencia a nivel del sistema, valoración en ambientes hostiles, valoración del rendimiento del sistema.
Nivel de adaptabilidad de red Multi Modo	Esquemas de enrutamiento de mensajes, enrutamiento adaptable, control de flujo, gestión de protocolos, intercambio de datos, reconfiguración de red, valoración del rendimiento de red.
Nivel de adaptabilidad de enlace Punto a punto	Procedimientos de gestión de frecuencia, sondeo ionosférico, exploración de canales, monitoreo de ocupación, congestión, valoración del rendimiento del enlace.
Nivel de adaptabilidad de transmisión Frecuencia fija	Velocidad de datos, forma de onda adaptable, esquemas de codificación adaptable, control de potencia adaptable, dirección nula adaptable, valoración del rendimiento de transmisión.

Tabla 9. Niveles de adaptabilidad de comunicaciones de HF.

3.1.2.3 Nivel de adaptabilidad de red. En este nivel se involucra las redes multinodo, incluyendo las características de enrutamiento, enrutamiento adaptable, control de flujo, manejo protocolar y el intercambio de datos. Los protocolos utilizados en el sistema pueden ser fijos o adaptables. En este nivel el sistema tiene en cuenta las condiciones del canal y puede cambiar las características de transmisión, para el intercambio de mensajes e información de control con otros nodos. La gestión, el manejo de mensajes y la gestión del buffer están en función de las condiciones del canal. En cuanto a la arquitectura de red, esta puede ser fija o adaptable. Las principales funciones de este nivel son:

- Intercambio ordenado de mensajes o datos.
- Gestión de prioridades en la entrada y en los niveles de transmisión.
- Sincronización del proceso.
- Establecimiento de sesión entre los usuarios.
- Terminación de la sesión entre los usuarios.
- Establecimiento de enrutamiento y asignación de rutas de mensajes.
- Control de flujo y prevención de congestión.
- Transmisión y entrega de mensajes en secuencia.
- Direccionamiento de componentes de red y usuarios.

-
- Utilización eficaz de los recursos de red y los medios para la validación protocolar.
 - Gestión de recursos, monitoreo y protección.
 - Transparencia de niveles entre los usuarios y nodos de la red.
 - Transmisión fiable de mensajes, incluyendo control de errores y recuperación.
 - Pruebas de los recursos de red, como enlaces y rutas.
 - Seguridad y privacidad.
 - Conmutación de paquetes por segmentación y unión de mensajes.

3.1.2.4 Nivel de adaptabilidad del sistema. Este nivel se relaciona con las capacidades que permiten la comunicación multimedia, incluyendo gestión del sistema de alto nivel, gestión y control de frecuencia, valoración de las características del ambiente y valoración del rendimiento.

3.1.2.5 Evaluación del Canal en Tiempo Real (RTCE-Real Time Channel Evaluation). Se define como el proceso de medir los parámetros apropiados de un conjunto de canales de comunicación en tiempo real y utilizar los datos obtenidos para describir cuantitativamente los estados de los canales y las capacidades para las distintas clases de tráfico manejado. La clave para lograr grandes beneficios para el operador de un sistema de radio HF automatizada, es asegurar un adecuado suministro de datos en tiempo real, para propósitos de toma de decisiones. Cuando se establece un enlace de radio con manejo de tráfico de datos o voz, es posible para un receptor extraer información de RTCE sobre las características del enlace. Los datos obtenidos constituyen los parámetros del canal de comunicación, siendo importantes para una comunicación exitosa. Las decisiones en el trayecto del mensaje, la determinación del mejor canal, el empleo de traslado de mensajes directo o indirecto, y el ruido e interferencia a esperar, son generadas por el RTCE.

El análisis, aplicación y habilidad para responder a la información del RTCE hace parte de cada nivel de adaptabilidad. Esto implica la automatización de los procesos adaptables a utilizar por el sistema controlado. El sistema de gestión de frecuencia debe tener en cuenta las frecuencias de operación asignadas, niveles de potencia, los diversos tipos de antenas, parámetros del módem, la velocidad de datos y además debe emitir una recomendación automática de la frecuencia óptima de operación.

3.1.3 Soluciones a las necesidades del usuario. La radio HF puede ser una alternativa a los sistemas de comunicación por satélite, microondas, o un sistema convencional. Los requisitos de usuario incluyen la función básica de comunicación vía radio, en un canal específico con otros usuarios y redes de usuarios. El requisito básico es la codificación de la señal de entrada para realizar la comunicación con otros usuarios en frecuencias comunes y redes, sin controles de sintonización y ajuste. Si se agregan las características de automatización y adaptabilidad al sistema básico, junto con la propagación de largo alcance de HF,

la combinación se convierte en un mecanismo de comunicación que idealmente satisface varios aspectos de forma rápida, por lo que la función del nuevo sistema de radio es maximizar las habilidades del operador, automatizando la selección del mejor canal hacia el receptor deseado. Los aspectos de sondeo, elección, rastreo de trayecto para conectividad y direccionamiento indirecto deben satisfacer las necesidades del operador para comunicarse a grandes distancias y aumentar al máximo el número de usuarios posibles en los canales proporcionados.

3.1.4 Principios y componentes de los sistemas de radio HF automáticos y adaptables. Los ítems específicos atribuidos a la automatización y adaptabilidad incluyen:

- Llamada selectiva.
- Exploración multicanal de frecuencias.
- Evaluación del trayecto en tiempo real.
- Sondeo del trayecto en tiempo real.
- LQA.
- ALE.
- Retransmisión automática.
- Control de potencia.
- Salto de frecuencia.

3.2 ESTABLECIMIENTO DE ENLACE AUTOMATICO (ALE)

3.2.1 Contexto. Actualmente se han desarrollado una serie de estándares para HF, caracterizados y especificados según protocolos y parámetros para ALE, en redes de computadores, enlaces con protección, módems de alta velocidad y parámetros básicos de HF. El sistema ALE es bastante robusto, permite lograr automáticamente el establecimiento de comunicaciones de HF en SSB, e iniciar automáticamente comunicaciones punto a punto o punto a multipunto. El dispositivo de control de ALE puede programarse para explorar en una o más frecuencias, escogiendo la mejor frecuencia de funcionamiento y conmutando inmediatamente la operación de voz o datos bajo el establecimiento del enlace. Este sistema tiene la posibilidad de establecer canales ya seleccionados, cuya calidad se ha especificado a través de algoritmos de LQA, permitiendo procesos de establecimiento de enlaces con una mayor probabilidad de éxito, con ayuda de valores de la LQA almacenada en los sistemas de memoria.

Con el fin de lograr el proceso de identificación de llamada, se adiciona dentro de las señales a transmitir, la información de identificación de la estación llamante y la estación llamada. Algunos aspectos opcionales incluyen la protección de enlaces, por medio de métodos de seguridad que impiden el acceso a la red a usuarios no autorizados, y la transmisión y recepción de datos. Las funciones de

establecimiento y gestión de enlace, se realizan por medio de la transmisión de información en los canales de HF de las dos estaciones. La alta fiabilidad se obtiene por triple redundancia de transmisión de datos de ALE, por entrelazado y utilizando el método Golay para la corrección FEC. El diagrama en bloques de un sistema de radio HF adaptable, se muestra en la figura 22; el controlador de ALE es el encargado de proporcionar la automatización en los procesos de enlace, el cual puede incorporar las funciones de red ALE y las funciones de protección de enlace.

3.2.2 Transmisiones ALE y el formato de palabra. La forma de onda utilizada es una señal 8_ary FSK. Cada tono tiene una duración de 8 ms, en un rango de frecuencia de 750 Hz a 2500 Hz y una separación de 250 Hz entre tonos adyacentes. Cada tono representa tres bits, produciendo una velocidad de datos de 375 bps. La palabra estándar de ALE está formada por 24 bits ordenados, con un campo de 3 bits seguidos por tres campos de 7 bits cada uno, de caracteres ASCII. La función de cada palabra es designada por el código de inicio y se relaciona con las capacidades básicas de ALE. Existen ocho tipos de palabras estándar del sistema: TO, THIS IS, THIS WAS, DATA, REPEAT, THRU, COMMAND y FROM. Cada campo de caracteres ASCII de 7 bits se utiliza para especificar un carácter de dirección individual o un texto ASCII, dependiendo del inicio.

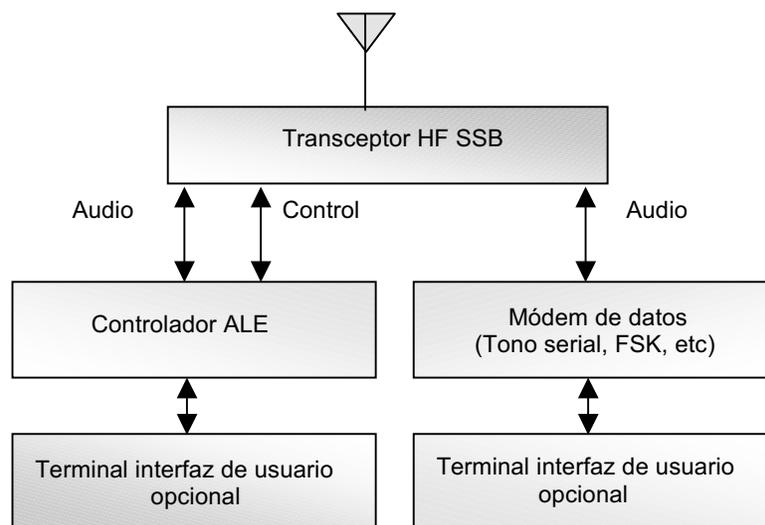


Figura 22. Diagrama en bloques del sistema de radio HF adaptable.

3.2.3 Protocolos.

3.2.3.1 Exploración. Toda estación ALE explora continuamente un conjunto de canales preseleccionados, escuchando las llamadas y preparándose para responder. El tiempo mínimo de mora en cada canal es el recíproco del porcentaje de exploración y los canales son barridos continuamente en el mismo orden. Los

receptores exploran de 2 a 5 canales por segundo dando un tiempo de mora de 200 a 500 ms. Cuando un transmisor desea capturar un receptor explorante, transmite una señal que será reconocida por el receptor. La duración de la llamada de exploración debe ser lo suficientemente larga para asegurar que el receptor se encuentre escuchando los diferentes canales y detecte la señal antes de que esta se deje de transmitir.

3.2.3.2 Llamada selectiva. Esta llamada involucra el intercambio de tramas entre las estaciones de la red. La estructura general de una trama ALE consiste de una o más direcciones de destino, una sección del mensaje y una terminación que contiene la dirección de la estación que la envía. Las operaciones fundamentales de establecimiento del enlace entre dos estaciones son:

- La estación llamante direcciona y envía una trama de llamada a la estación llamada.
- Si la estación receptora escucha la llamada, envía una trama de respuesta a la estación llamante.
- Si la estación llamante recibe la respuesta, determina el establecimiento del enlace con la estación llamada. Entonces la estación transmisora envía una trama de aceptación a la estación llamada.

3.2.3.3 Llamada individual. Los sistemas ALE tienen un conjunto de protocolos para enlaces de canal único y multicanal. Toda estación cuando no está en operación, se encuentra escuchando continuamente el medio. El protocolo consiste en la llamada en una sola dirección (individual), la respuesta y la aceptación.

3.2.3.4 Sondeo. Es una transmisión unidireccional de señalización de una estación hacia otra para determinar la medida de la calidad del canal. La transmisión no se dirige a cualquier estación o colección de estaciones, y solo lleva la identificación de la estación que envía el sondeo.

3.2.3.5 Operaciones de estación múltiple. Las operaciones de una llamada se inician cuando esta se enruta a una dirección única que es implícita a un nombre del grupo de estaciones preestablecidas. En el proceso, todas las estaciones que pertenecen a la red escuchan las llamadas y envían sus tramas de respuesta en los intervalos de tiempo preestablecidos. La estación llamante envía una trama de aceptación para completar el proceso.

Una llamada de grupo funciona de forma semejante, excepto que en la llamada se nombra un grupo arbitrario de estaciones. Debido a que se ha enviado la dirección de red no preestablecida, cada estación debe ser nombrada individualmente. Las estaciones llamadas responden en intervalos específicos, determinando en estos su posición, e invirtiendo el orden de la estación nombrada en la llamada.

3.2.4 Mensajes telegráficos. Las estaciones ALE también tienen la capacidad de transferir información telegráfica o mensajes, en una sección de la trama. Estos mensajes incluyen los modos de Despliegue Automático de Mensajes (AMD-Automatic Message Display), Mensajes de Datos de Texto (DTM-Data Text Message) y el Modo de Bloque de Datos (DBM-Data Lock Mode). Estas funciones permiten comunicar mensajes telegráficos a las estaciones u organizar los códigos de una estación seleccionada, permitiendo a la estación la transmisión y recepción de mensajes simples de texto ASCII utilizando sólo el equipo de la estación ALE.

3.2.5 Análisis de la Calidad del Enlace (LQA). Los sistemas ALE soportan el intercambio de información LQA entre estaciones. Los procesos de LQA entregan tres tipos de medidas: BER, SINAD y el valor de multitrayecto. Con esta información las estaciones pueden seleccionar el mejor canal para iniciar una llamada, o buscar en memoria los enlaces que han presentado el mayor LQA, con el fin de seleccionarlo para una comunicación.

La medida del LQA se obtiene recibiendo los sondeos desde otras estaciones, determinando así la medida para un enlace desde la estación de sondeo hasta la estación receptora. Otro método para obtener este valor es iniciar un sondeo bidireccional, diseñado para medir y transferir el valor del LQA, con una llamada de no enlace. Los sondeos bidireccionales producen las medidas buscadas para una ruta respecto a la estación de referencia. Un tercer método de obtención se realiza durante el proceso del enlace.

3.2.6 Configuraciones de la red. Las estaciones de funcionamiento múltiple requieren de redes de radio HF con varios tipos de configuraciones de red, enlaces individuales, redes y grupos. La configuración más simple es un enlace que comprende dos estaciones y una sola ruta entre las dos. La configuración en estrella y grupo de estrellas consiste de más de un enlace en la red.

3.2.7 Direccionamiento. Los sistemas ALE despliegan una dirección digital basada en la palabra de 24 bits estándar (tres caracteres) y el subconjunto de caracteres Básico 38. Las estaciones ALE tienen la capacidad y flexibilidad para conectarse a las redes con estaciones individuales, con una estación predefinida o con grupos de estaciones. Además proporciona y soporta tres conjuntos de caracteres jerárquicos; el subconjunto Básico 38, el subconjunto Expandido 64 y el conjunto Total 128. El subconjunto Básico 38 incluye las mayúsculas alfabéticas, los dígitos y los símbolos de sistema @ y ?. El subconjunto Expandido 64 consiste de todos los caracteres ASCII, incluyen todo el alfabeto en mayúsculas, los dígitos decimales, los símbolos @ y ?, más otros 26 símbolos utilizados. El conjunto Total 128 incluye todos los caracteres, símbolos y funciones del código ASCII.

3.2.7.1 Direcciones de estación individuales. El elemento fundamental de una dirección individual de estación es la palabra de enrutamiento, conformada por tres caracteres, que puede extenderse a palabras múltiples para incrementar la capacidad y flexibilidad en la red interna. Una dirección que se asigna a una sola

estación es llamada dirección individual, la cual consiste de tres caracteres o menos, y es llamada de tamaño básico, pero si excede este valor es llamada de tamaño extendido. Los tres caracteres en la dirección individual proporcionan una dirección Básica 38. Las direcciones extendidas proporcionan campos de dirección más largos que los tres caracteres, a un límite superior de 15 caracteres, que permiten direcciones de Red Digital de Servicios Integrados (ISDN-Integrated Services Digital Network).

3.2.7.2 Direcciones de estación múltiple. Un requisito común en las redes de HF es direccionar e interoperar con múltiples estaciones. Un grupo organizado de estaciones con una dirección común es llamado red y una dirección común es una dirección de red. Un grupo no organizado de estaciones, sin una dirección común organizada es llamado grupo.

3.2.7.2.1 Direcciones de red. Un grupo organizado de estaciones es una red administrada bajo conocimiento de las estaciones miembros, incluyendo sus identidades, capacidades, requerimientos, localizaciones y conectividad. El propósito de una llamada de red es el establecimiento de contacto con múltiples estaciones, organizadas por medio de una dirección de red asignada a todos los miembros de la red en común, además de sus direcciones individuales. La estructura de dirección es idéntica a las direcciones de estación individuales. Estas direcciones son asociadas con un identificador de intervalo de respuesta, que permite a las estaciones responder al controlador de red sistemáticamente.

3.2.7.2.2 Direcciones de grupo. Es un grupo de estaciones no organizado. Generalmente se conoce poco sobre las estaciones, excepto sus direcciones individuales y las frecuencias de exploración. Los mecanismos para el direccionamiento de un grupo ALE proporcionan los medios para crear un nuevo grupo. Este mecanismo utiliza un protocolo estandarizado que es compatible con toda estación automatizada, independientemente de su tipo, red y otras características. El propósito de una llamada de grupo es establecer contacto con múltiples estaciones organizadas de forma rápida y eficaz, con la utilización de una combinación de sus direcciones individuales en una secuencia basada en el protocolo. En el modo de direccionamiento sincrónico del protocolo ALE de tercera generación, se define una estructura formada por espacios de dirección de 11 bits: los cinco Bits Menos Significativos (LBS-Least-Significant Bit) de la dirección contienen el número de grupo del nodo, y los seis Bits Más Significativos (MSB-Most-Significant Bit) contienen el número de miembro de nodo dentro del grupo, tal como se muestra en la figura.

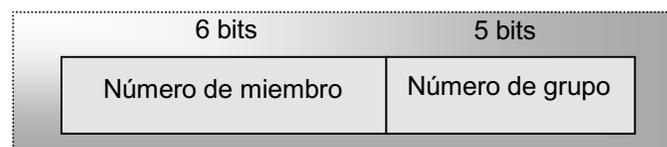


Figura 23. Estructura de dirección de modo sincrónico.

3.2.7.3 Modos de direccionamiento especial. La cantidad de direcciones disponibles en el sistema ALE y la flexibilidad de su asignación, se incrementa con la inserción de caracteres en la dirección. Esto permite longitudes de dirección que no son múltiplos de tres caracteres compatibles, por medio de la inserción del símbolo @ en posiciones vacías, dentro de los campos de dirección. Los principales modos son:

- **Allcall:** es una transmisión que no solicita respuesta y no designa ninguna dirección específica. Este mecanismo se utiliza en emergencias, transmisión de datos y rastreo para conectividad.
- **Anycall:** es una transmisión que requiere respuestas sin designar una dirección específica. Es requerida para emergencias, reconstitución de sistemas y creación de nuevas redes. Una estación ALE puede utilizarla para generar respuestas desde estaciones no específicas, por lo que puede identificar nuevas estaciones y su conectividad.

Para el auto-test, mantenimiento y otros propósitos, las estaciones deben utilizar y responder a sus propias Auto-Direcciones. Para pruebas del sistema, mantenimiento, estados del buffer y otros propósitos, las estaciones pueden utilizar la Dirección-Nula la cual no es dirigida, aceptada o respondida por ninguna estación.

3.3 TECNOLOGIA DE TERCERA GENERACION EN LA RADIO ALE DE HF

3.3.1 Protocolo de mensajes de tercera generación. La tecnología de tercera generación que automatiza la radio HF, proporciona avances significativos en los módems, el establecimiento del enlace, la gestión de red y la capacidad de transmisión de datos. MIL-STD-188-141A es el estándar de radio HF automática conocido como ALE; la nueva versión se conoce como MIL-STD-188-141B. El Apéndice C de la nueva versión define el protocolo de mensajes de HF sincrónico de tercera generación (3G) unificado, que se utiliza para el despliegue de formas de onda de tono serial en el establecimiento y mantenimiento de enlaces, y en el mejoramiento en el manejo del enlace para una rápida transferencia de datos. El protocolo de mensajes unificado de 3G, llamado HF de tercera generación (3G-HF), se propone para las redes de HF con alto tráfico de mensajes de voz y/o datos. La tecnología MIL-STD-188-141B busca soportar tráfico de datos en redes fijas con centenares de estaciones. La restricción que esto impone sobre el enlace, la entrega de mensajes y el mantenimiento de la tabla de enrutamiento, mejora el funcionamiento de la topología en estrella y las pequeñas redes fijas igualmente.

3.3.1.1 Contexto. La radio HF ha desempeñado un papel crucial en las comunicaciones militares; sin embargo, este papel ha cambiado por el incremento de usuarios de esta banda en Internet, que en el área militar. La utilización de las aplicaciones de Internet (como e-mail) en medios de transmisión inalámbricos incrementa los desafíos técnicos para la comunicación por HF, la cual no proporciona mecanismos eficaces de acceso a los canales, y como resultado tiende a degradarse debido a las colisiones y congestión por el alto tráfico de red. El sistema ALE y los estándares de enlace de datos utilizan formas de modulación muy diferentes (8_ary FSK vs PSK de tono serial), produciendo una incompatibilidad de funcionamiento entre el subsistema de enlace y el subsistema de entrega de mensajes. Los protocolos de HF actuales requieren métodos complejos para la adaptación de la forma de onda y/o velocidad de datos según las condiciones del canal. La arquitectura de los protocolos y los servicios es provista dentro del estándar para prestar integridad y colaborar con la especificación del comportamiento de las operaciones requeridas en las formas de intercambio de Unidades de Datos Protocolares (PDU-Protocol Data Units).

En una red 3G-HF se especifica únicamente la Capa de Red (NL-Network Layer), la Capa de Enlace de Datos (DLL-Data Link Layer) y la Capa Física (PL-Physical Layer). La especificación de 3G-HF sólo se aplica a DLL y PL. La DLL consiste de un Gestor de Conexión (CM-Connection Manager), un Gestor de Tráfico (TM-Traffic Manager), un Protocolo de Enlace de Datos (DLP-Data Link Protocols), y un Protocolo de Enlace de Circuito (CLP-Circuit Link Protocol). La figura 24 muestra el concepto de la arquitectura para 3G-HF.

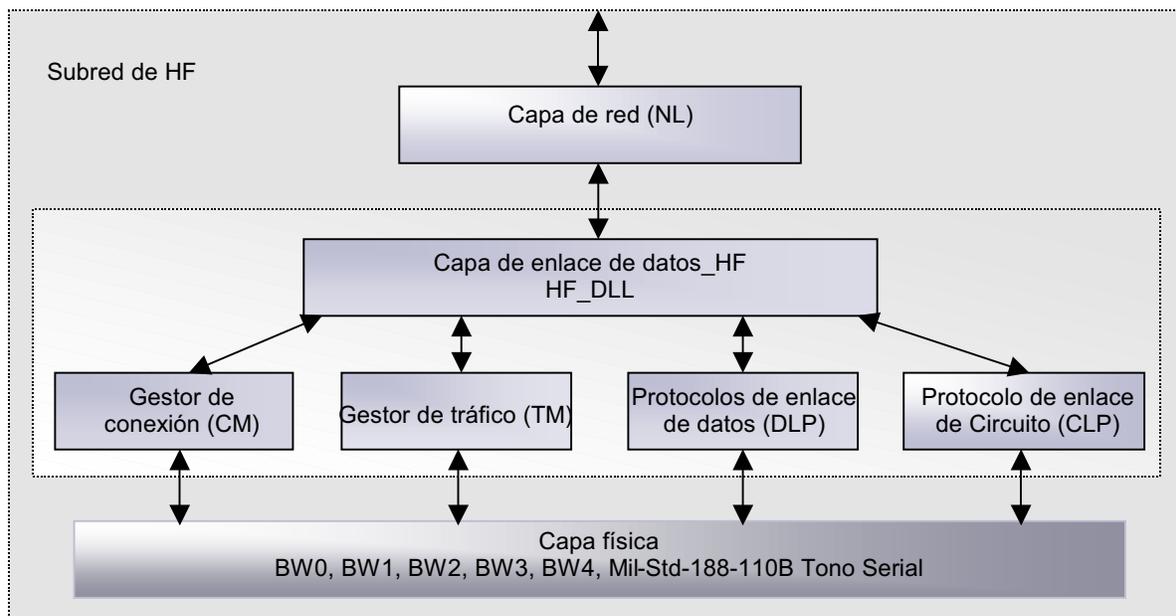


Figura 24. Vista conceptual de la arquitectura 3G.

3.3.1.2 Formas de onda. El sistema 3G-HF utiliza una familia de formas de onda para la transmisión de señales de tráfico de datos y control. Las formas de onda son definidas para varios tipos de señalización requeridos en el sistema, para reunir los requisitos distintivos de su carga útil, duración, sincronización de tiempo, adquisición y operación de demodulación bajo ruido, desvanecimiento y multitrayectoria. Las señales utilizan la modulación de tono serial 8_ary PSK de 2.400 bps, utilizada también en el módem de tono serial de MIL-STD-188-110A. La modulación de bajo nivel y las técnicas de demodulación requeridas para el sistema son similares a aquéllas de los módems MIL-STD-188-110A. La tabla 10 proporciona una apreciación de las características de las formas de onda.

3.3.1.3 Administrador de conexión. Es el responsable de la fase de establecimiento automático de la conexión. 3G-ALE fue diseñado para el establecimiento rápido y eficiente de enlaces punto a punto y punto a multipunto (transmisión y multidifusión). Utiliza el esquema de Acceso Múltiple por Detección de Portadora (CSMA-Carrier Sense Multiple Access) para compartir los canales de llamada y monitoreo anticipado de los canales de tráfico, utilizándolos para evitar interferencia.

3.3.1.4 Exploración. Los receptores de 3G-ALE tienen la capacidad de examinar la lista asignada de canales llamantes y de escuchar las llamadas 2G o 3G. Sin embargo, 2G-ALE es un sistema asincrónico, ya que una estación llamante no hace ninguna conjetura de si una estación destino estará escuchando en cualquier canal particular. El sistema 3G-HF incluye un modo asincrónico similar; sin embargo la operación sincrónica proporciona un funcionamiento superior, bajo condiciones de una moderada o alta carga de red. Además de lograr un alto rendimiento bajo funcionamiento sincrónico, todos los receptores exploran la frecuencia de cambio de red 3G-ALE al mismo tiempo. Para la asignación de grupos de miembros de red en la supervisión de los canales en cada exploración, las llamadas dirigidas a las estaciones son distribuidas en tiempo y/o frecuencia, reduciendo la probabilidad de colisiones entre llamadas, aspecto importante bajo condiciones de alto tráfico.

3.3.1.5 Direccionamiento. Una de las funciones de la capa de subred es la traducción de las direcciones de la capa superior (como las direcciones IP) dentro de cualquier esquema de direccionamiento particular en las subredes locales. Las direcciones en PDUs de 3G-ALE son de 11 bits, en una red que opera en modo sincrónico, las direcciones se dividen en grupos de ventanas de 5 bits y una de 6 bits dentro del grupo principal.

Cuando se desea dar alcance a todos los miembros de la red con una sola llamada, estos pueden asignarse al mismo grupo, pero no se aprovecha las ventajas de las técnicas de evasión de congestión de las llamadas 3G. Para soportar un volumen de llamadas pesado, los miembros de la red deben distribuirse en los múltiples grupos existentes, produciendo una propagación simultánea de llamadas sobre las frecuencias disponibles.

Forma de onda	Aplicación	Duración de una señal completa	Carga útil	Preámbulo	Codificación	Formato de datos
BW0	PDU (CDU) de establecimiento de conexión	613.33 ms 1472 símbolos PSK	26 bits	160.00 ms 384 símbolos PSK	Porcentaje=1/2 K=7 Convolutacional	Función Walsh ortogonal 16
BW1	PDU (TUS) de establecimiento de tráfico; PDU de aceptación de enlace de datos de alta velocidad	1.30667 s 3136 símbolos PSK	40 bits	240.00 ms 576 símbolos PSK	Porcentaje=1/3 K=9 Convolutacional	Función Walsh ortogonal 16
BW2	PDU de enlace de tráfico de datos de alta velocidad	$640+(n*400)$ ms $1536+(n*960)$ símbolos PSK n=3,6,12 o 24	$n*1881$ bits	26.67 ms 64 símbolos PSK	Porcentaje=1/4 K=8 Convolutacional	32 no conocido 16 conocido
BW3	PDU de enlace de tráfico de datos de baja velocidad	$373.33+(n*13.33)$ ms $32n+896$ símbolos PSK n=64, 128, 256 o 512	$8n+25$ bits	266.67 ms 640 símbolos PSK	Porcentaje=1/2 K=7 Convolutacional	Función Walsh ortogonal 16
BW4	PDU de aceptación de enlace de datos de alta velocidad	640.00 ms 1536 símbolos PSK	2 bits	Ninguno	Ninguno	Función Walsh ortogonal 4

Tabla 10. Apreciación de las características de las formas de onda.

3.3.1.6 Notificaciones. Entre las funciones de las PDUs del sistema, esta el transportar el estado de la estación transmisora. Para cumplir con la función, se han establecido 3 bits del campo de Estado de Estación para transportar el estado actual de la estación transmisora. Las estaciones pueden notificar a otras estaciones sobre el cambio de estado para reducir los efectos de los protocolos de enrutamiento del nivel superior.

3.3.1.7 Gestión de canales llamantes. La asignación de canales en la lista de exploración puede ser estática o dinámica por medio del Protocolo de Gestión de Red Simple (SNMP-Simple Network Management Protocol), lo que provee un significado directo para los programas de predicción de propagación. En la sección 3.5.3 de este capítulo se trata sobre la gestión del sistema.

3.3.1.8 La ventana sincrónica.

3.3.1.8.1 Estructura de una ventana sincrónica. La duración nominal de cada ventana sincrónica es de 4 s. En la figura 25 puede observarse la estructura de una ventana sincrónica. En la tabla 11 se muestra la probabilidad para la selección de los intervalos de la ventana sincrónica. La estructura de tiempo dentro de cada bloque de tiempo de la ventana es:

Intervalo 0: Tiempo de escucha y sintonización. Al inicio de cada periodo de ventana, cada receptor prueba una frecuencia de tráfico al rededor del nuevo canal de llamada, intentando detectar el tráfico. Este tiempo precede a los intervalos de llamada para que las estaciones tengan el estado del canal de tráfico reciente para utilizarlo durante un establecimiento de conexión. Durante este intervalo se conmutan las radios a la nueva frecuencia de recepción, se sintonizan los acopladores y la estación llamante sintoniza la frecuencia en la que se establecerá la comunicación durante la ventana.

Intervalo de llamada: El resto del tiempo de la ventana es dividido en 4 intervalos equivalentes. Estos intervalos son utilizados para el intercambio sincrónico de PDUs en canales de llamada. Aproximadamente 800 ms por intervalo permiten una PDU de 26 bits en 600 ms, 70 ms de propagación y 100 ms para una sincronización de incertidumbre, y el establecimiento de tiempo del Control Automático de Ganancia (AGC-Automatic Gain Control).

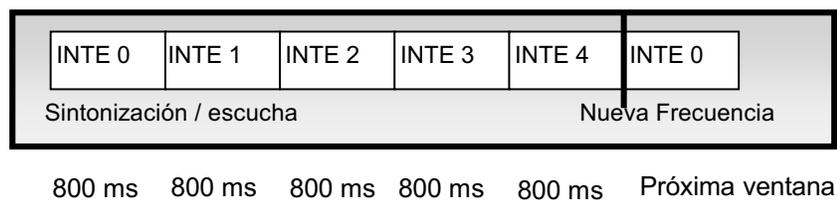


Figura 25. Estructura de una ventana sincrónica.

3.3.1.8.2 Generalidades de la llamada sincrónica. El protocolo de llamada sincrónico de 3G-ALE encuentra los canales convenientes para el tráfico y transición a la máxima velocidad posible. Esto minimiza la ocupación de los canales de llamada, lo cual es importante en cualquier sistema CSMA. Las llamadas 3G-ALE indican el tipo de tráfico a transportar y los principales canales de tráfico que soportan la calidad del servicio. Cuando una estación intenta establecer un enlace, la estación llamante calcula la frecuencia a ser explorada

por la estación llamada durante la próxima ventana y selecciona un intervalo de llamada dentro del tiempo de esta. Durante el intervalo 0, la estación llamante escucha en un canal de tráfico recientemente liberado para evaluar su ocupación. Si no se producen llamadas en el intervalo 1, entonces escucha en el canal de llamada durante los intervalos que preceden a su llamada. Si detecta un establecimiento de conexión, aplaza la llamada; si no lo detecta hace el aplazamiento dentro de su intervalo, enviando una PDU de llamada y escuchando posibles respuestas en el próximo intervalo. Cuando una estación recibe una PDU de llamada, responde en el próximo intervalo con una PDU de establecimiento de conexión, el cual puede designar un buen canal de tráfico para las respuestas de la estación, después de lo cual las dos estaciones ponen a punto los canales de tráfico e inician el protocolo de tráfico descrito en la llamada. Si la llamada no resulta en el enlace, el llamante intentará de nuevo durante la próxima ventana en el siguiente canal de llamada, seleccionando un intervalo e iniciando el establecimiento con el envío de una PDU de llamada. Si la estación llamante no tiene éxito después de llamar en todos los canales de llamada, aborta el intento de enlace para evitar la ocupación de canales.

Prioridad de llamada	Intervalo 1	Intervalo 2	Intervalo 3	Intervalo 4
Instantánea	50 %	30 %	15 %	5 %
Rápida	30 %	50 %	15 %	5 %
Prioridad	5 %	15 %	50 %	30 %
Rutina	5 %	15 %	30 %	50 %

Tabla 11. Probabilidad de selección de intervalo.

En general, dentro del proceso de la llamada sincrónica, cuando una estación recibe una PDU de sondeo, responde en el próximo intervalo con una PDU de establecimiento de conexión, el cual puede indicar un buen canal de tráfico para las transmisiones a la estación que responde. Posteriormente las estaciones procederán a la negociación del canal de tráfico para el establecimiento de la nueva conexión, seguido por el tráfico descrito en la llamada.

3.3.1.9 PDUs de 3G-ALE. El contenido de diversas PDUs utilizadas por el administrador de conexión se muestra en la figura 26. Las PDUs utilizadas en una llamada punto a punto son la de sondeo y de establecimiento de conexión.

3.3.1.9.1 PDU de sondeo (Prueba). La PDU de sondeo transporta la información necesaria a la estación llamada para que determine si desea responder y escuchar durante el chequeo del canal de tráfico. Informa sobre la identificación de la estación llamante, la prioridad de la llamada, determina los recursos necesarios si la llamada es aceptada y si la calidad del canal de tráfico es la requerida.

		6	3	6	5	4
PDU de prueba	10	Usuario llamado	Tipo de llamada	Usuario llamante	Grupo llamante	CRC
		6	3	7	8	
PDU de aceptación	00	ID de enlace	Comando	Contenido	CRC	
		6	3	6	5	4
PDU de notificación	10	111111	Estado llamante	Usuario llamante	Grupo llamante	CRC
		3	3	3	7	8
PDU de transmisión	10	110	Conteo	Tipo de llamada	Canal	CRC
		5	7	5	8	
PDU de exploración de llamada	10	11111	Usuario llamado	Grupo llamado	CRC	

Figura 26. PDUs de 3G-ALE.

3.3.1.9.2 PDU de establecimiento de conexión (Aceptación). Es utilizada por estaciones llamantes y llamadas. Se envía después de que una PDU de sondeo ha determinado las identidades de las dos estaciones en un establecimiento de enlace punto a punto, y las características del tráfico que se empleará en el enlace. El campo de Identificación (ID-Identification) de enlace contiene 6 bits de los 11 bits de las direcciones de las estaciones llamante y llamada.

3.3.1.9.3 PDU de notificación. Esta formado por los campos del número de usuario llamante y por el número de grupo llamante, conteniendo las direcciones específicas de las estaciones transmisoras, para ser enviadas en la PDU. El campo del estado del llamante, es codificado para manejo reservado del sistema en las funciones de gestión.

3.3.1.9.4 PDU de transmisión. Es utilizada en la transmisión de llamadas sincrónicas. El campo de conteo es utilizado también en llamadas sincrónicas, y en llamadas de modo asincrónico de ALE. El campo de tipo de llamada describe el tráfico a enviar:

- Circuitos de voz analógica si la estación receptora recibe solo audio directamente.
- Circuitos de módem HF, si el dispositivo interviene en los procesos de recepción de tráfico.
- Circuitos de alta calidad, si el módem HF no interviene en los procesos de recepción de tráfico.

- Paquetes de datos de 3G-HF, si el enlace utiliza el control de acceso al medio con las herramientas automatizadas.

3.3.1.9.5 PDU de exploración de llamada. Es muy similar a la PDU de prueba, con la diferencia que permite un direccionamiento hacia un solo receptor o un grupo de receptores. Su finalidad es el determinar las condiciones del establecimiento.

3.3.1.10 Establecimiento de enlaces punto a punto. En este tipo de enlaces se debe identificar la frecuencia o par de frecuencias utilizadas en el tráfico, con el fin de minimizar la ocupación del canal. Una estación inicia el protocolo de establecimiento para recibir una petición y establecer un enlace con otra estación, pasando por diferentes fases. Para el establecimiento se debe cumplir la *Fase de Exploración*, en la cual las estaciones (se encuentran libres) exploran los canales asignados. Si la estación necesita establecer un enlace entra en la *Fase de Prueba*. En esta fase se envían PDUs de prueba en intervalos seleccionados y se escucha las respuestas (una PDU de establecimiento). Si durante la escucha se recibe una PDU de prueba se entra en la *Fase de Respuesta* en la cual se puede presentar un comando de *Aborto de Establecimiento* o de *Inicio de Comunicación*. Con la recepción de un comando de *Aborto* termina el intento de enlace y se retorna a la *Fase de Exploración*. La recepción de un comando de *Inicio de Comunicación* hace que la estación llamante entre en la *Fase de Tráfico*, iniciándose el intercambio de información. En general el proceso termina en cuanto se haya identificado la frecuencia conveniente.

- **Llamadas Unidifusión.** En algunas situaciones es deseable para la estación llamante designar el canal de tráfico para un enlace punto a punto. En estos casos se utiliza el tipo de llamada unidifusión, e indica que la estación llamada no debe responder, pero debe escuchar una posible PDU de establecimiento desde la estación llamante en el intervalo que sigue a la PDU de prueba, por lo que las dos estaciones prosiguen a la Fase de Tráfico.
- **Llamadas Multidifusión.** Se emplea con una separación de 6 bits del campo de dirección de multidifusión. El protocolo de multidifusión es similar al protocolo unidifusión: el llamante envía una secuencia de llamada/inicio de PDU de tráfico hacia las estaciones llamadas en un canal de tráfico donde ellas ponen una interrupción y escuchan el tipo de tráfico asociado con la dirección de multidifusión.

3.3.1.11 Llamadas multidifusión. Estas llamadas emplean un número de usuario reservado en cada grupo de la ventana utilizada. Los controles de 3G-ALE deben ser programados para reconocer direcciones de multidifusión a las que ellos se subscriben, ya que estas direcciones son reservadas dentro de la red, y no en la norma protocolar.

3.3.1.12 Administrador de tráfico. El establecimiento de tráfico se logra utilizando la forma de onda BW1. El protocolo TM se utiliza para coordinar el intercambio de tráfico en el establecimiento de conexión utilizando el protocolo CM. Siguiendo con el fin de la fase del Establecimiento de Conexión (CSU-Connection Set-Up), las estaciones participantes entran en la fase de Establecimiento de Tráfico (TSU-Traffic Set-Up), en la que el protocolo TM es utilizado para establecer un enlace de tráfico. Una vez se ha establecido la conexión, las estaciones determinan las identidades de las estaciones que participarán en la conexión, según la topología de conexión: punto a punto, multidifusión o emisión; el modo de enlace: paquete o circuito y la frecuencia de HF que se utilizará para la señalización en la conexión.

Durante la fase TSU las estaciones intercambian PDUs de TM para determinar qué protocolo de enlace de datos, forma de onda y/o formas de modulación serán utilizados para enviar tráfico en la conexión, la prioridad del tráfico a enviar y el mejor tiempo de sincronización requerido para el protocolo de enlace de datos de alta y baja velocidad, para el tráfico de paquetes.

3.3.1.13 Protocolos de enlace de datos. Para los enlaces de datos se proporcionan dos protocolos. Uno es para mensajes grandes y/o canales en buenas condiciones, y el segundo para mensajes cortos y/o canales de pobres condiciones. Los dos protocolos utilizan la combinación de memoria y no requieren adaptación del porcentaje de datos, simplificando así los protocolos, pero incrementando el bajo rendimiento de casi todas las condiciones de los canales y las SNR.

3.3.1.13.1 Protocolo de enlace de datos de alta velocidad (HDL-High-rate Data Link). Son utilizados para proporcionar el reconocimiento de la entrega punto a punto de datagramas desde la estación transmisora a la estación receptora, a través de un enlace de radio HF establecido con ARQ. Este protocolo satisface mejor la entrega de grandes datagramas bajo buenas condiciones del canal de HF.

En una transferencia HDL, las estaciones transmisora y receptora alternan las transmisiones, la estación transmisora envía una PDU HDL_DATA conteniendo la carga útil de paquetes de datos, y la estación receptora transmite una PDU HDL_ACK conteniendo la aceptación de los paquetes de datos recibidos sin error. Si una estación falla al recibir una PDU, envía una PDU para informar el error en la recepción. El número de PDUs HDL_DATA, HDL_ACK y HDL_EOM, es determinado exactamente en el tiempo del enlace de datos acordado durante la fase de establecimiento de tráfico. En la figura 27 se observa el proceso.

El fin de una transferencia de datos se logra cuando la estación transmisora ha enviado una PDU HDL_DATA conteniendo toda la carga útil de datos en los datagramas entregados, y la estación receptora los ha recibido sin errores y confirmado su entrega exitosa.

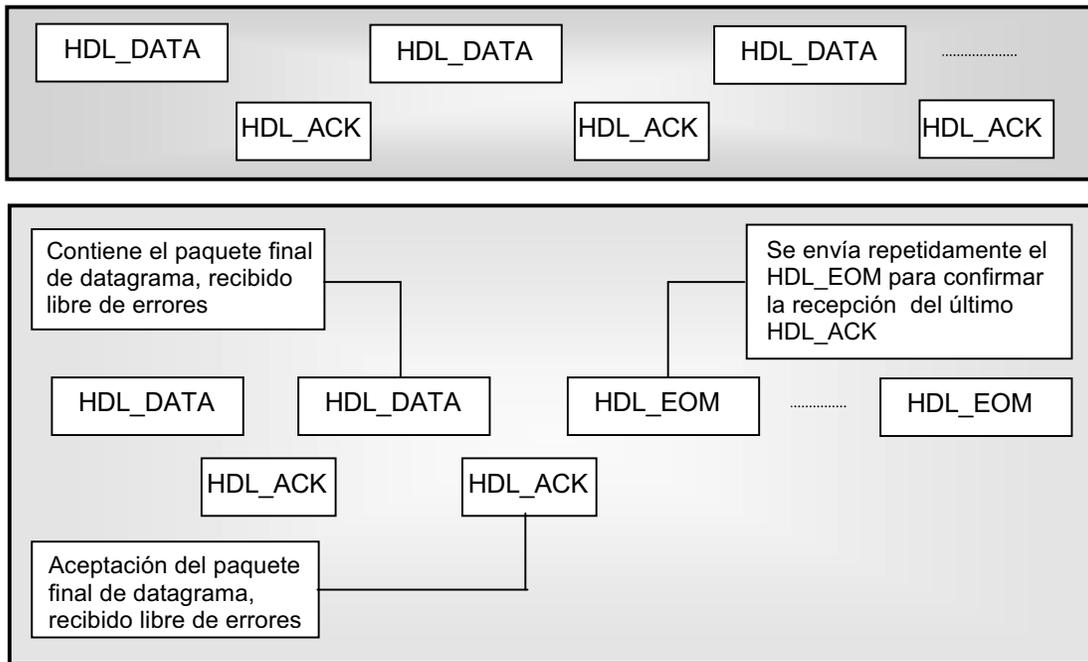


Figura 27. Transferencia de datos HDL.

3.3.1.13.1.1 PDU de enlace de datos de alta velocidad. La figura 28 describe el formato y contenido de la PDU de enlace de datos de alta velocidad. Cada PDU HDL_DATA es una secuencia de 24, 12, 6, o 3 paquetes de datos en los que cada una está compuesta de 1.881 bits de datos de carga útil (1.864 bits de datos de usuario más 17 bits de secuencia adicionados por el enlace de datos). Durante la fase del establecimiento de tráfico, el proceso del usuario determina el número de paquetes de datos por PDU HDL_DATA para la entrega de datos, reduciendo la PDU para que el datagrama encaje dentro de él. Una vez se determina el número de paquetes para la entrega del datagrama, se comunica a la estación receptora en la secuencia del establecimiento de tráfico. De esa forma cada PDU HDL_DATA contendrá el mismo número de paquetes hasta que se entregue el datagrama completo. Para transmitir las PDUs HDL_DATA se utiliza la forma de onda BW2.

La PDU HDL_ACK se utiliza para enviar el ACK de la estación receptora para el envío de las PDUs HDL_DATA; cada bit en el campo de máscara de bit ACK, reconoce un solo paquete de datos correspondiente de la PDU HDL_DATA. El contenido de la PDU HDL_ACK es protegido por un chequeo CRC de 15 bits. La PDU HDL_EOM es transmitida en la dirección de envío, en lugar de una PDU HDL_DATA cuando la estación transmisora recibe una PDU HDL_ACK libre de errores, indicando que el datagrama del usuario se ha entregado a la estación receptora libre de errores. Para transmitir las PDUs HDL_ACK y HDL_EOM se

utiliza la forma de onda BW1. Los bits marcadores en el comienzo de cada PDU son utilizados para distinguir los dos tipos de PDUs.

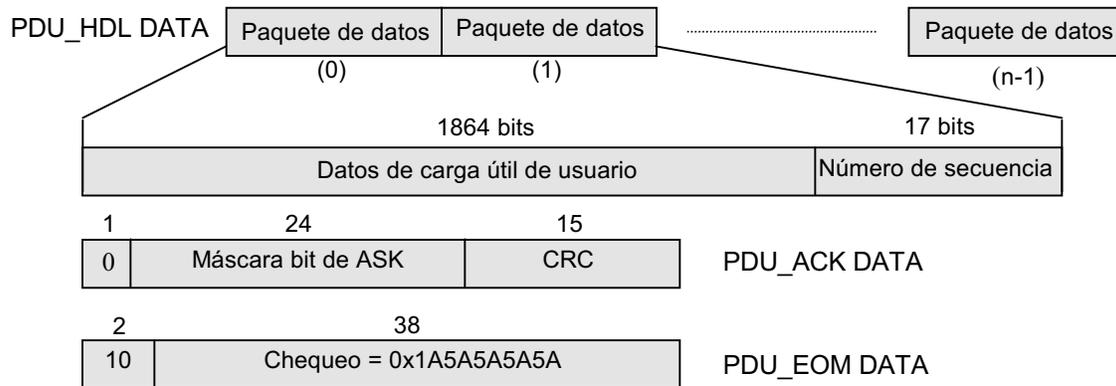


Figura 28. PDUs de enlace de datos de alta velocidad.

3.3.1.13.1.2 Procesamiento ARQ de alta velocidad. El proceso se muestra en la figura 29. Cada paquete de datos en la PDU HDL_DATA se extiende adicionando un CRC de 32 bits, seguido por una secuencia de siete bits ceros. La secuencia resultante de paquetes extendidos es codificada con FEC, utilizando un codificador convolucional, que produce cuatro bits de salida (Bitout0, Bitout1, Bitout2, Bitout3), por cada bit de entrada. Como cada paquete es codificado, los bits de cada codificador de salida son acumulados en un bloque, formando cuatro bloques de bits (Eblk0, Eblk1, Eblk2, Eblk3). Por cada transmisión de un paquete de datos en una PDU HDL_DATA, se transmite uno de los bloques, comenzando con Eblk0. Cada vez que el paquete de datos se recibe con errores, se envía un bloque diferente de bits. La transmisión de los bloques, proporciona información adicional utilizada para descencriptar el paquete.

La secuencia de bits codificados es modulada utilizando un proceso de modulación similar al de la forma de onda del protocolo MIL-STD-188-110A de 4.800 bps. Esto produce una secuencia de tramas de símbolos conocidos/desconocidos, formadas por 32 símbolos cada una, seguida por 16 símbolos conocidos, y se anexa al inicio de la secuencia de la trama una secuencia de guarda definida por el Control del Nivel de Transmisión (TLC-Transmit Level Control) y AGC en la relación TLC/AGC, y una secuencia de 64 símbolos conocidos, utilizados por el ecualizador.

3.3.1.13.2 Protocolo de enlace de datos de baja velocidad (LDL- Low-rate Data Link). Este protocolo proporciona la entrega punto a punto de datagramas a través de un enlace de radio HF establecido. El datagrama aprobado por la entidad protocolar es apto para todas las longitudes de datagramas bajo condiciones pobres del canal de HF, y bajo todas las condiciones del canal para datagramas cortos.

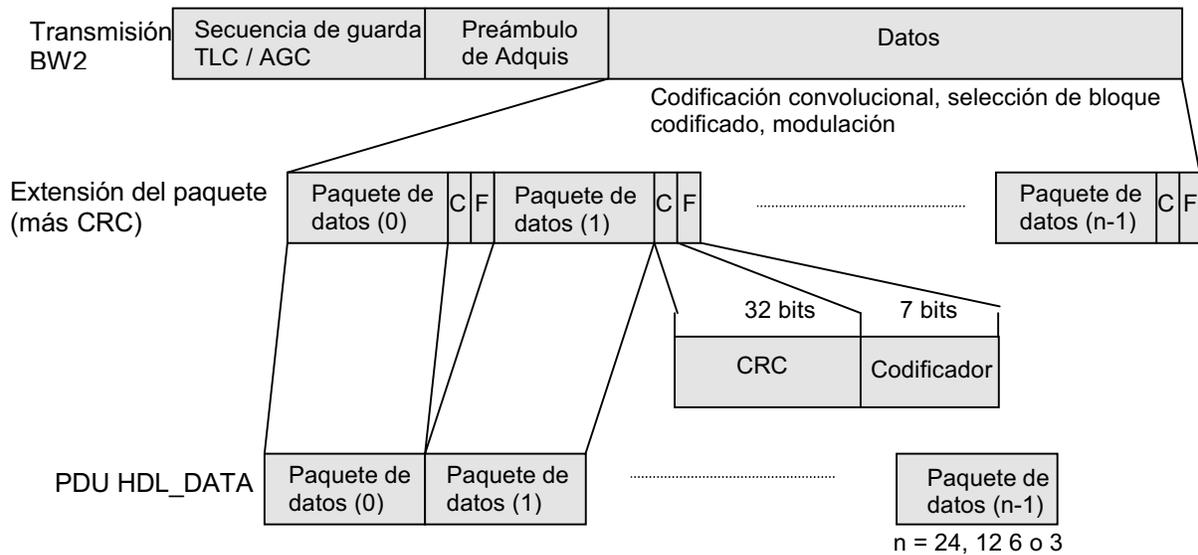


Figura 29. Codificación y modulación de BW2 de la PDU HDL_DATA.

La transferencia de datos por LDL se inicia después de haberse establecido la conexión del enlace de datos; posteriormente se hace la negociación de cual LDL será utilizado, y la sincronización del tiempo de transmisión del enlace de datos. En una transferencia LDL, las estaciones transmisora y receptora alternan las transmisiones de trama; la estación transmisora transmite las PDUs LDL_DATA que contienen paquetes de datos de carga útil, y la estación receptora transmite PDUs LDL_ACK que contienen una aceptación informando si los paquetes de datos fueron recibidos sin error o no. Si una estación tiene problemas al recibir una PDU, envía una nueva PDU para informar sobre el error. Las veces que puede emitirse las formas de onda transportando PDUs LDL_DATA, LDL_ACK, y LDL_EOM son determinadas por el tiempo del enlace de datos precisado en la fase del establecimiento de tráfico.

El final de la transferencia de datos se logra cuando la estación transmisora ha enviado la PDU LDL_DATA, conteniendo todos los datos de carga útil en el datagrama entregado, y la estación receptora ha recibido estos datos sin errores y ha reconocido su entrega exitosa. Cuando la estación transmisora recibe una PDU LDL_ACK indicando que se han entregado los contenidos completos de datagramas con éxito, envía una PDU LDL_EOM repetida muchas veces dentro de la duración de una PDU LDL_DATA, indicando a la estación receptora que la transferencia de datos será finalizada. En la figura 30 se observa el proceso, el cual es similar al de HDL.

3.3.1.13.2.1 PDUs de enlace de datos de baja velocidad. Cada PDU LDL_DATA transporta un paquete de datos compuesto de una carga útil de 512, 256, 128, o 64 bytes de datos de usuario, seguidos por una secuencia de 17 bits y un campo de control de 8 bits agregados por el enlace de datos de baja velocidad. Durante la fase de establecimiento de tráfico, el proceso del usuario determina el

número de bytes de datos por PDU LDL_DATA, reduciendo su tamaño para acomodar el datagrama dentro de la PDU a utilizar. Cuando ya se ha determinado el número de bytes de datos por PDU LDL_DATA, se establece la comunicación con la estación receptora en la secuencia del establecimiento de tráfico. Con el anterior proceso cada PDU LDL_DATA transmitida contiene el mismo número de bytes de datos hasta que el datagrama sea entregado totalmente. En la figura 31 puede observarse las PDUs de baja velocidad.

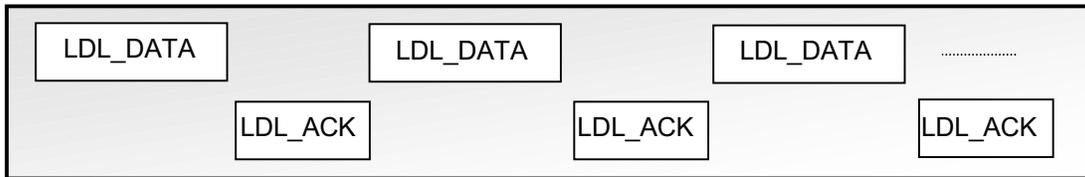


Figura 30. Transferencia de datos LDL.

La PDU LDL_ACK se utiliza para confirmar la recepción de datos enviados por el transmisor. Cada PDU LDL_ACK contiene la aceptación para el envío inmediato de la PDU LDL_DATA; el bit único en el campo ACK acepta el paquete de datos en la PDU LDL_DATA. El bit de datagrama rcvd se envía cuando la estación receptora determina que ha recibido todo el contenido del datagrama sin errores, para que la transferencia de datos pueda ser terminada. La PDU LDL_ACK se transmite utilizando la forma de onda BW4, por lo que no se incluye el CRC en la PDU. Cuando la estación transmisora recibe una PDU LDL_ACK libre de errores indica que el datagrama se ha entregado totalmente a la estación receptora, por lo que se transmite la PDU LDL_EOM, utilizando la forma de onda BW4.

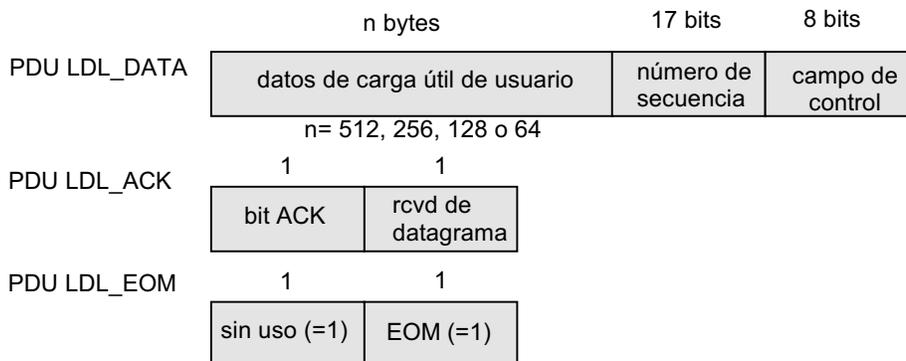


Figura 31. PDUs de enlace de datos de baja velocidad.

3.3.1.13.2.2 Procesamiento ARQ de baja velocidad. En la figura 32 se observa el proceso. Esta PDU se extiende por adición de 32 bits CRC, seguidos por una secuencia de siete bits ceros. La sucesión de los datos resultantes es una codificación FEC utilizando un codificador convolucional, que produce dos bits de salida (Bitout0 y Bitout1), por cada bit de entrada. Como cada paquete es codificado, los bits de salida del codificador son acumulados en bloques,

produciendo dos bloques de bits codificados (EBIk0 y EBIk1). Por cada vez que un paquete de datos se transmite, se envía uno de los dos bloques, comenzando con EBIk0. El contenido original del paquete puede ser recuperado desde cualquier bloque de bits recibidos sin errores. Cada vez que un paquete de datos decodificado presenta errores, se transmite un bloque diferente de bits codificados. La transmisión de bloques diferentes de bits para cada paquete proporciona información adicional utilizada en la decodificación de paquetes.

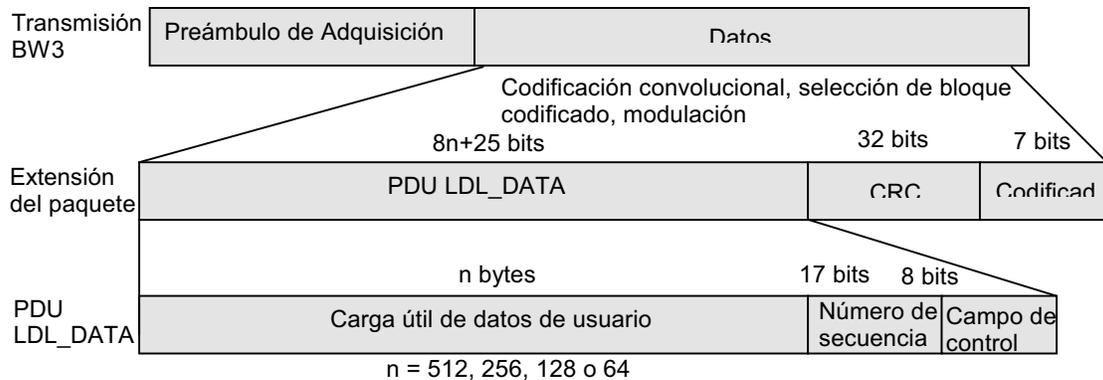


Figura 32. Codificación y modulación de BW3 de la PDU HDL_DATA.

3.3.1.14 Desempeño del enlace de datos. Se define y se mide en términos del valor del rendimiento, en bps. El rendimiento logrado depende de las condiciones del canal de HF, del tamaño del datagrama y de otros factores. Los parámetros que pueden ser seleccionados por el usuario o adaptados automáticamente, también juegan un papel importante determinando el rendimiento, incluyendo velocidades de transmisión del módem, tamaño de la trama, paquetes, etc.

3.3.1.15 Protocolo de enlace de circuito.

3.3.1.15.1 Generalidades. Para monitorear y coordinar el tráfico de un enlace establecido, el Controlador de Enlace de Circuito (CLC-Controller Link Circuit), proporciona un mecanismo de control de acceso simple, de escuchar antes de transmitir. La transmisión de nuevo tráfico saliente es inhibida cuando el CLC detecta que el enlace del circuito está ocupado, debido al tráfico existente recibido desde otra estación, o por un tráfico proveniente de la estación local. Cuando un enlace de circuito está ocupado, el CLC inhibe la transmisión de nuevo tráfico durante un intervalo backoff. El CLC se emplea solo en enlaces de circuito simplex (la señalización de las estaciones se transmite en una sola frecuencia).

3.3.1.15.2 Comportamiento. El comportamiento del sistema se caracteriza por el cambio en diferentes estados predefinidos, dependiendo de la operación que se esté realizando. Según su comportamiento, los estados y cambios de estados son: Estado Ocioso, en el cual el CLC no monitorea el tráfico ni controla el acceso al enlace. Cuando se establece un enlace de circuito, el CLC pasa al Estado Listo e

inicia el monitoreo del tráfico en el enlace. Del Estado Listo puede ir al Estado de Transmisión o Recepción, cuando detecta el tráfico saliente o entrante respectivamente. Cuando el tráfico finaliza, procede hacia al Estado Backoff, donde espera durante un intervalo backoff antes de regresar al Estado Listo. Si se pierde la señal durante la recepción de señalización entrante del módem, el CLC ingresa en al Estado Signal Reacq, donde permanece hasta que se requiera la presencia de cualquier señal entrante, o se presenta un evento ReacqTimeout provocando que el CLC decida que el tráfico entrante ha terminado, procediendo al Estado Backoff. Si se observa la ocurrencia de cualquier otro evento, el CLC permanecerá en su estado actual.

3.3.1.15.3 Modelamiento. El apéndice C de MIL-STD-188-141B define un esquema de ALE sincrónico para el acceso al medio y los protocolos de enlace de datos sincrónicos a utilizar, para el transporte de datos cuando se establece el enlace. Con los protocolos de ALE, el sistema determina la probabilidad del enlace y el tiempo necesario para establecerlo dadas las condiciones del canal, la optimización y la aplicabilidad del canal seleccionado. Con los protocolos de enlace de datos, el rendimiento de datos se define como una función del tamaño del mensaje y las condiciones del canal. Para las redes de HF, el enlace de datos, la utilización de los protocolos de alto nivel, la velocidad y el retardo en la entrega de mensajes se definen como una función de la tasa de generación y tamaño del mensaje, el número de nodos de red, las condiciones de propagación y el ancho de banda disponible. Los protocolos de enlace de datos de ALE proporcionan una visión del funcionamiento de una red de radio HF, pero son insuficientes para predecir el funcionamiento en las redes que contienen más de dos nodos, cuando estos no responden por los efectos de fallas arbitrarias, colisiones, mecanismos de evasión de colisiones, enrutamiento de mensajes y asignación del ancho de banda entre ALE y los protocolos de enlace de datos.

3.3.1.15.4 Modelamiento de la capa física. La simulación de un flujo de datos es una ejecución muy prolongada en el tiempo cuando se realiza en un PC. Como resultado, se requiere algún tipo de modelo simplificado del funcionamiento, para detección y demodulación para cada forma de onda constitutiva, pero el modelo del rendimiento de la onda requiere un modelo de propagación, por lo que es necesario especificar ciertas características necesarias en el sistema.

Propagación. El modelo de propagación debe proporcionar la SNR media y la información del retardo de propagación, como una función del tiempo durante el día, frecuencia, posición del nodo, tipo y orientación de la antena. El programa de Predicción y Análisis de las Comunicaciones Ionosféricas (IONCAP- Ionospheric Communications Analysis Program) es la mejor opción para proporcionar tal información.

Colisión. Teniendo un perfil de SNR para cada forma de onda, es necesario determinar los resultados de detección y demodulación, así como definir el modelo de colisión para el perfil de la SNR de un par de nodos para la señal, la

interferencia y las variaciones en los tiempos de llegada. El modelo de colisión es el siguiente:

$$\text{SNR seff(dB)}(n) = 10 \text{ Log} \left\{ \text{SNR}(s) / \sum_{i=0}^{M-1} \text{SNR} l_i(n) \right\}$$

Donde SNRseff es la SNR eficaz instantánea de deterioro de la señal deseada, la SNRs es la relación de señal a ruido instantánea de la señal deseada, SNRli es la SNR instantánea de interferencia y M es el número de interferencias que existen durante la recepción de la señal deseada. La dispersión de tiempo (retardo de multitrayectoria) se integra antes del cálculo. El perfil de la SNR eficaz se utiliza para predecir los resultados de la detección y demodulación de la forma de onda.

3.3.1.15.5 Modelamiento del comportamiento de la forma de onda. Los modelos del comportamiento de la forma de onda deben desarrollarse para determinar los resultados de la detección y demodulación basados en el perfil de la SNR eficaz. Esta tarea se ejecuta con las ondas BW0 y BW1. En cuanto a la aplicación de la simulación de los protocolos de mensajes de 3G-HF, el enfoque del esfuerzo hacia la simulación se concentra en la gestión de conexión de 3G y la dirección de tráfico, ya que son los protocolos menos explorados hasta el momento. El funcionamiento de las redes de HF de interés en la velocidad de entrega y retardo de mensajes, son una función de la tasa de generación de mensajes, tamaño, número de nodos de red, condiciones de propagación y ancho de banda disponible.

3.4 GUIA PARA LA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA

3.4.1 Introducción. Para la implementación de un sistema de radio HF con ALE, se debe tener en cuenta factores comunes en la implementación de una red de computadores, más los requerimientos básicos de los sistemas de comunicaciones por RF, especialmente en la banda de frecuencias de HF. Inicialmente es necesario establecer si el sistema es apropiado para la aplicación a desarrollar, posteriormente los requerimientos básicos de soporte, los servicios a prestar, ubicación de las estaciones, requerimientos de propagación, planeamiento para el diseño de la red, preparación del lugar, costo de los equipos, implementación y prueba del sistema, y la capacitación del personal,

3.4.2 Guía para la implementación de una red HF. En la siguiente lista se observa los principales pasos a tener en cuenta para el análisis, diseño, implementación y prueba de una red HF con ALE.

- Definición y análisis de requerimientos. Muestra si el medio de comunicación es apropiado o no para la aplicación.

-
- Esquemas de Troncales/enrutamiento. Proporciona información sobre el número y tipos de canales necesarios para la implementación del sistema.
 - Plan de frecuencias. Lista de frecuencias que soportan los enlaces del sistema
 - Requerimientos del personal de trabajo. Análisis y capacitación necesaria para el personal requerido en los nodos en la red.
 - Requerimientos de soporte. Requerimientos básicos para la selección de los sitios de ubicación de las estaciones de la red.
 - Requerimientos de usuarios locales. Requerimientos específicos de los usuarios de la red.
 - Tipos de tráfico requeridos (voz, datos, imagen).
 - SNR requerida. Determinación de la SNR necesaria para garantizar la calidad del servicio.
 - Velocidades de datos. Para determinar las especificaciones de los equipos y el diseño.
 - Fiabilidad. Para determinar las especificaciones de los equipos y el diseño.
 - Selección del equipo. Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.
 - Estimación de costos. Los estudios de costos deben considerar los costos de ingeniería, adquisición de la zona de ubicación, preparación, equipos, instalación y prueba del sistema.

3.4.3 Resumen de estándares aplicables. Para el diseño de un sistema o para el estudio de fiabilidad, pueden utilizarse los estándares militares y civiles existentes, de los cuales los principales son:

- Estándares de Telecomunicaciones Federales, FED STD de Telecomunicaciones referidos al HF y al sistema ALE.
- Estándares de procesamiento de información Federal (FIPS)
- Estándares militares, MIL STD referidos al HF y al sistema ALE.
- Estándares de Ingeniería DISA (DCA) referidos al HF y al sistema ALE.
- Estándares del Departamento Militar (Ordenes Técnicas / Manuales de la Armada, Marina y la Fuerza Aérea, Regulaciones o Directivas de Correo / Campamento / Estación) TO, FM y NAVELEX.
- Estándares Americanos (ANSI, IEEE, TIA / EIA, NEC).
- Estándares Internacionales (Recomendaciones NATO, UIT-R) y STANAG.

3.5 GESTION DE REDES DE RADIO HF

La gestión de redes de radio HF tiene por finalidad satisfacer a los usuarios finales del sistema, proporcionando soluciones rentables a sus requisitos de comunicación. Para cumplir con estos objetivos, se debe realizar gestión por parte del administrador de la red, el cual tiene como principal responsabilidad el funcionamiento continuo de la red, trabajar con los operarios del sistema para implementar los detalles del sistema, poner a punto las especificaciones de la red

para que el trabajo sea más fácil, trabajar con el ingeniero de red para establecer el esquema físico de la red, establecer los parámetros y procedimientos de la red ALE, garantizar el establecimiento y mantenimiento del conjunto de frecuencias y su asignación, el establecimiento y mantenimiento de las direcciones de las estaciones y los parámetros asociados; además debe involucrarse con el establecimiento de los procedimientos operacionales y la disciplina necesaria para una operación fácil. De otro lado, el administrador debe encargarse de la capacitación y asistencia a los usuarios, programando sus equipos para asegurar su complacencia con los procedimientos y operaciones de funcionamiento de la red y finalmente con la responsabilidad de la solución de problemas operacionales como congestión e interferencia.

3.5.1 Gestión de frecuencia. La gestión tradicional en los sistemas de redes de radio HF es un proceso difícil debido a la variabilidad impredecible de las condiciones de propagación ionosférica, por lo que los métodos de gestión son ineficaces cuando se tiene que especificar frecuencias de comunicación útiles, sobre todo en métodos basados en las características climatológicas. Para la gestión de frecuencia es recomendable aplicar sondeos de incidencia oblicua, utilizados durante más de 20 años por los militares para la gestión de frecuencias de enlaces fijos, los cuales están asociados a otro conjunto de datos de entrada, que proporcionan información sobre la situación ionosférica. Estos datos junto con los programas de predicción como el Programa de Análisis de Cobertura de la Voz de América (VOACAP-Voice of America Coverage Analysis Program), proporcionan una herramienta dinámica de gestión.

El sistema evalúa la banda de HF por medio de sondeos, descartando frecuencias específicas que de momento no son operacionales. Además, el sistema evalúa la calidad del canal de un conjunto preseleccionado de frecuencias que han sido autorizadas para la transmisión de voz y datos. Este procedimiento es un método importante de predicción a largo plazo, por lo que es fundamental para la predicción en el tiempo y en la extrapolación de la información de propagación a otros canales de frecuencia.

3.5.2 Gestión del administrador de red. En el campo de la gestión de redes, el administrador de red cumple un papel muy importante, ya que debe garantizar el funcionamiento correcto de la red, desde su implementación, puesta en marcha y la operación continua día a día. En el proceso de la definición de los objetivos y requerimientos, el administrador debe identificar las necesidades conceptuales de la red, establecer el alcance global de la red, la calidad de los servicios a incluir, el tipo de tráfico a manejar y las características de comunicación como la localización de nodos, recursos, rendimiento, seguridad, disponibilidad, mantenimiento, crecimiento, dirección y control de red, entre otros. En el Anexo B de este documento se describe las actividades de gestión por parte del administrador de red.

3.5.3 Gestión general de red.

3.5.3.1 Requisitos de gestión de redes de HF. Los recursos a ser gestionados en una red de HF automatizada incluyen equipos de comunicación como transceptores, módems, controladores de ALE y Controladores de Nodo HF (HFNC-Automated HF Node Controller). En la figura 33 puede observarse un ejemplo de gestión de red. La figura 34 muestra una estación de gestión de red y un nodo de red de HF controlado. La estación de gestión se muestra utilizando enlaces HF para controlar el nodo, pero puede emplear adecuadamente una red de área extensa (WAN), módems de línea alámbrica u otro tipo de enlaces.

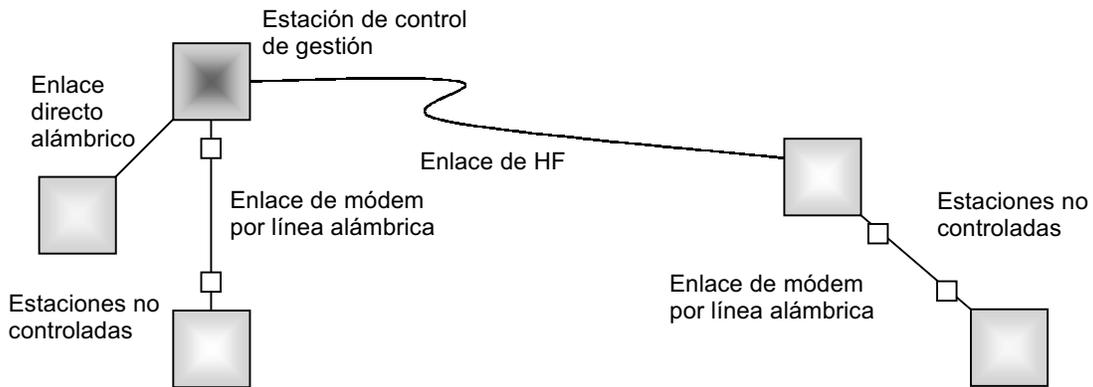


Figura 33. Gestión de red.

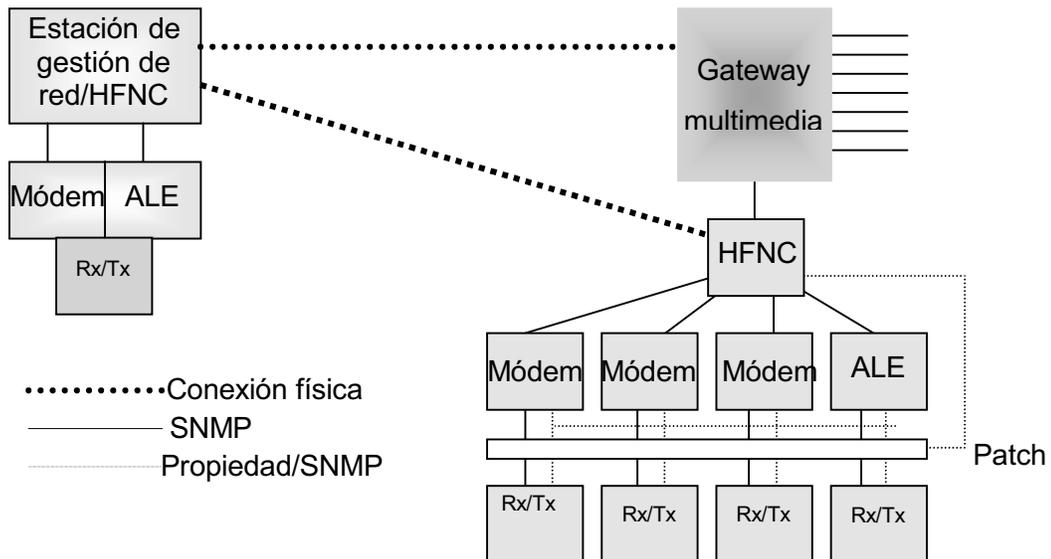


Figura 34. Gestión de nodos de red de HF.

3.5.3.2 Aplicabilidad del SNMP para la gestión de redes de HF. La versión dos de SNMP (SNMPv2) satisface mejor los requerimientos necesarios en HF,

soportando la funcionalidad, compatibilidad y desempeño. El control remoto no es muy bien soportado por el método de SNMP, pero todas las acciones de control pueden ser implementadas como efectos secundarios para la programación de un controlador automatizado. Por ejemplo, la rotación una antena ocurre como un efecto lateral de actualización de una variable que especifica la dirección de la antena. Así, todas las funciones de gestión de red pueden ser soportadas por SNMP. Además SNMP establece escasas conclusiones sobre la fiabilidad de los trayectos de comunicaciones en los elementos manejados, pero los dispositivos de HF poseen características utilizables en la capa de red. De esta manera, el SNMP se aísla de la interface directa al medio de HF.

En cuanto a las estaciones de gestión de red, estas monitorean y controlan los componentes de la red por medio de agentes en cada elemento. La información de gestión se envía en mensajes SNMP, por lo que las estaciones de gestión y los agentes deben ejecutar el protocolo SNMP. La ejecución del protocolo no genera sobrecargas en el sistema, permitiendo así que todos los elementos en la red puedan ser gestionados directamente. Sin embargo, debido a la velocidad relativamente baja de mensajes para redes de radio HF, se debe poseer una capacidad de procesamiento adecuada para funcionar como una estación de gestión de red.

Debido a que la versión inicial de SNMP no proporciona la capacidad de autenticación necesaria para la gestión de redes de HF, el estándar MIL-STD-187-721C conocido como HNMP, se basa en la versión 2 de SNMP, con las siguientes variaciones:

- Los identificadores de objetos para objetos definidos en la Base de Información de Gestión de HF (HF MIB-HF Management Information Base), son codificados para la transmisión, utilizando un esquema de codificación que reduce los costos operativos.
- Es obligatorio un esquema de Autenticación de Número de Identificación Personal (PIN-Personal Identification Number Authentication), mientras que es opcional el esquema de autenticación SNMPv2 MD5.
- Los intervalos de retransmisión en programas de gestión de red son ajustados con el fin de permitir un tiempo para el establecimiento de enlace y para la transmisión de peticiones y respuestas sobre módems que pueden lograr velocidades considerables.

La figura 35 muestra a HNMP utilizando el Protocolo de Datagrama de Usuario (UDP-User Datagram Protocol) como protocolo de la capa de transporte, IP como protocolo de la capa de Internet, y el protocolo de Intercambio de Mensajes Automático de HF (AME-Automatic Message Exchange) como el protocolo de la capa de Red. También la figura muestra la integración de los protocolos IEEE.802 como una ilustración de la utilización de HNMP sobre una red de área local de Ethernet, así como con otros protocolos de LAN y WAN semejantes. Cuando no

se requiere la interoperación con estaciones de gestión exteriores de la red de HF local, puede eliminarse UDP e IP para reducir el encabezamiento en los mensajes de gestión de red.

API ICACION	HNMP		
PRESENTACION			
SESION			
TRANSPORTE	UDP		
INTERNET	IP		
RED	AME		
ENLACE DE DATOS	HFDLP	ALE	IEEE 802.2
FISICO	Módem 110A	Módem de ALE	IEEE 802.3 (CESMA:CD)
	Radio 141A		

Figura 35. Protocolos de interrelación.

Los objetos estándar para la gestión de redes de HF son definidos en la HF MIB. Este módulo contiene grupos de objetos para las radios (y el equipo de RF), controladores de ALE, protección de enlace, módems de datos y controladores de red. Estas estructuras de datos son definidas utilizando una sintaxis abstracta de tal forma que los detalles de cómo los datos son almacenados por componentes de red individuales son ocultados. Una estación de gestión integra módulos de MIB de los elementos que gestiona, resultando en un acceso a un conjunto amplio y dinámico de datos de gestión. HNMP además incluye PDUs GetRowsRequest y GetRowsResponse. El funcionamiento de GetRows es similar al funcionamiento de los GetBulk de SNMPv2, sólo que la respuesta a un GetRows es una nueva PDU. Una respuesta de GetRows sólo incluye el objeto ID del primer objeto en cada fila, seguida por los valores de todos los objetos pedidos en esa fila. El rendimiento de HNMP, puede medirse según los bits transferidos para ejecutar operaciones comunes.

3.5.3.3 Control de acceso. El acceso a la información de gestión de elementos de red en HNMP es controlado en dos niveles. El primer nivel es un modelo administrativo que restringe los objetos en cada elemento que es accesible a otras partes y a las operaciones que puedan ser realizadas por esas partes. El segundo nivel es la autenticación de mensajes, que es la determinación de sí un mensaje realmente viene desde la parte nombrada en el mensaje. Los mecanismos de autenticación manejan la autenticación común, la autenticación de PIN y la autenticación criptográfica.

3.5.3.4 Protección de enlace. La Protección de Enlace (LP-Linking Protection) tiene por finalidad prevenir el establecimiento de enlaces no autorizados o ilegítimos, a través de un proceso de autenticación (definido en el estándar federal FED-STD-1049/1). En la figura 36 se muestra el diagrama de bloques en radios protegidas. La LP se logra por mezcla de palabras ALE bajo una clave privada que se cambia con intervalos diarios o prolongados, utilizando información aleatoria conocida (frecuencia, tiempo, fecha, etc). La LP en un sistema de radio involucra la adición de funciones del Módulo de Control de Protección de Enlace (LPCM-Linking Protection Control Module), que implementa el protocolo LP, y un mezclador encargado de mezclar las palabras ALE bajo el control del LPCM. La seguridad del sistema se basa en la incapacidad de un adversario de engañar al LPCM, para determinar la clave utilizada en la mezcla de palabras ALE. El tráfico especial (clasificado, como el de gestión) debe ser encriptado por un dispositivo encriptador gráfico de alto nivel, y los datos resultantes pueden enviarse a través del controlador ALE o vía un módem de datos separado.

3.5.3.5 Gestión Proxy. Cuando los elementos no implementan HNMP, pueden ser manejados utilizando agentes proxy, que traducen los mensajes de HNMP estándar a los mensajes entendidos por los elementos no HNMP (externos). Como la gestión HNMP está en fase de desarrollo, son pocos los elementos de red que implementan inicialmente HNMP. Los agentes proxy son necesarios para extender la capacidad de gestión a los equipos de la actual generación. Como regla general, el agente proxy para cualquier elemento de la red externo, debe residir en el controlador de bajo nivel que tiene una ruta de control al elemento, con frecuencia un HFNC.

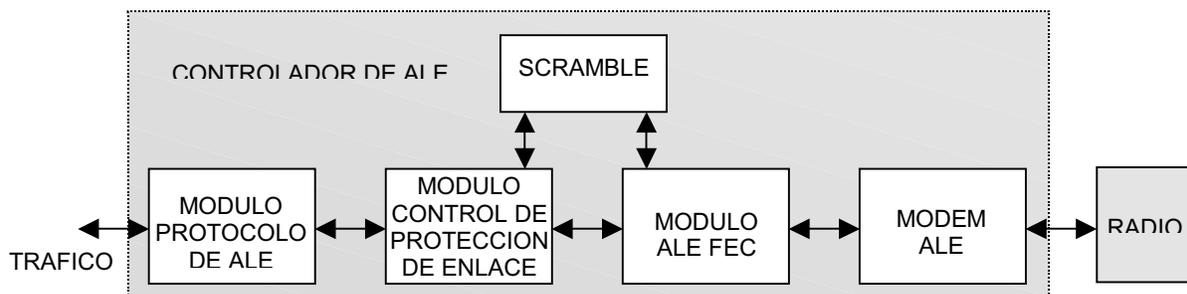


Figura 36. Flujo de datos en una radio protegida.

3.6 METODOS DE PREDICCIÓN DEL RENDIMIENTO

La predicción del rendimiento en las telecomunicaciones es una guía importante para los requerimientos en las comunicaciones militares, comerciales y particulares. La predicción se basa en las leyes naturales de la física y puede fundamentarse en las tendencias y patrones de datos almacenados, de allí que el

método de predicción soporta el desarrollo de modelos cuasi empíricos y climatológicos.

La predicción ha mejorado gracias a la evolución de los computadores, al desarrollo de sensores avanzados y a la telemetría, logrando crear aplicaciones para PC. Además el advenimiento de la comunicación satelital ha impulsado un adelanto significativo en la perspectiva global, especialmente apreciable en los informes meteorológicos y su incidencia en las telecomunicaciones, logrando mejores resultados en las predicciones que permiten reforzar la vulnerabilidad del HF ante la variabilidad ionosférica, con la ayuda de la tecnología de detección remota ionosférica (sistema de sondeo HF). En la tabla 12 se muestra las principales dificultades presentadas en el modelamiento de las herramientas de predicción ionosférica.

3.6.1 Requerimientos del sistema.

3.6.1.1 Requerimientos de transmisión. Como se discutió anteriormente, en los sistemas de telecomunicaciones, el HF es el más influenciado por las variaciones del medio. Esta amplia variabilidad puede producir rasgos positivos o negativos en las comunicaciones y transmisiones punto a punto, y puede requerir mucha flexibilidad en la elección del conjunto óptimo de parámetros del sistema para tener éxito en el alcance a un receptor deseado.

Otro aspecto es la variabilidad de la distancia del salto, ya que esta puede ser grande. Los servicios de transmisión militares proveen operación a través de la incorporación de técnicas de gestión de frecuencia; la eficiencia del empleo espectral (dependiendo de la MUF a la LUF cubierta) es mejorada por la utilización de la diversidad, que puede compensar parcialmente el desvanecimiento y la interferencia intersimbólica. Otro aspecto son los elementos fenomenológicos del medio de propagación, como las alturas ionosféricas y las frecuencias críticas que en el extremo determinan la cobertura de transmisión para una frecuencia específica.

1	Utilización de FOTs con bajos periodos de servicio
2	Las predicciones ignoran las tormentas eléctricas
3	El modelo de la E esporádica no es la conveniente
4	Diferencia existente entre la base de datos y las observaciones
5	La SNR es mal modelada y regida en una medición incorrecta
6	La interferencia de otros usuarios no se considera correctamente
7	Deficiencias en las características ionosféricas mapeadas

Tabla 12. Dificultades en el modelamiento de la predicción.

La predicción de la cobertura de transmisión depende de la habilidad de predecir las condiciones ionosféricas. Estas predicciones comprenden la explotación de modelos de estructura ionosférica, que son acoplados a algún algoritmo de propagación de ondas de radio apropiado. Normalmente, la geografía para la predicción es conocida y las condiciones ionosféricas son prescritas por el modelo, después de una o más entradas de parámetros de control que se han especificado. Los modelos que han sido tomados para las necesidades del servicio punto a punto no siempre son satisfactorios para la determinación de la cobertura de transmisión, y la mayoría de los modelos entran en esta categoría.

La Voz de América (VOA-Voice Of America, componente de la Agencia Internacional de Radiodifusión IBB) ha desarrollado un sistema para la cobertura de transmisión que traza la capacidad en relación con un método computacional de la UIT-R llamado HFBC-84. El Instituto para las Ciencias de la Telecomunicación (ITS-Institute for Telecommunication Sciences) del Departamento de Comercio Americano, ha desarrollado tres programas como parte de sus Programas de Predicción de Propagación PC-HF basado en Windows. Dos de estos programas, VOACAP y el Programa Mejorado de Análisis y Predicción de Circuitos de Comunicaciones Ionosféricas (ICEPAC-Ionospheric Communications Enhanced Profile Analysis and Circuit Prediction Program), son descendientes directos de IONCAP, y el tercero es una aplicación de la Recomendación 533 de la ITU-R. VOACAP y la mencionada recomendación fueron desarrollados para aplicaciones en transmisión. Los tres programas de la ITS incluyen el área de cobertura y las versiones para la transmisión punto a punto.

3.6.1.2 Proceso de gestión del espectro. Para la planificación del espectro se utilizan varios métodos, la ITU-R ha establecido que los canales de onda celeste de HF son un valioso recurso, por lo que ha generado métodos que pueden ser aplicados para optimizar la comunicación. Los métodos de predicción del HF sugeridos por la ITU-R, son muy significativos para el establecimiento de las recomendaciones en la planificación espectral. Dentro del gobierno, existen organismos asesores encargados de supervisar la utilización del espectro de radio. El proceso de asignación es dependiente de la utilización espectral basada en la tecnología existente, por lo que es recomendable que la gestión del espectro y los conceptos de asignación de frecuencia, compartición de recursos y los sistemas de redes deben influir el proceso en el futuro. Para examinar el impacto de un nuevo esquema de gestión del espectro, es necesario tener un grupo de frecuencias en una base temporal, ya que se ha demostrado que no se crea casi ninguna interferencia durante la prueba o experimentación.

3.6.2 Predicción y pronóstico. En el proceso de predicción ionosférica se distinguen las predicciones a corto y largo plazo. Las predicciones a largo plazo pueden basarse en modelos climatológicos desarrollados de los archivos históricos de la actividad solar y/o magnética especificada, estación, estado del tiempo, área geográfica involucrada, etc. En este tipo de predicción se presentan

dos fuentes de error; una elevación debido a la estimación imprecisa del parámetro de manejo, como el número de las manchas solares y la variabilidad ionosférica no considerada propiamente para el modelo. Las predicciones a largo plazo son necesarias en la planificación de la transmisión por HF, básicamente en la gestión del espectro. En cuanto a las predicciones a corto plazo, involucran escalas cortas de tiempo (segundos, minutos, días), siendo una valoración ionosférica de tiempo real. En el HF, los sistemas con RTCE como las sondas oblicuas, pueden proporcionar una valoración en tiempo real, siendo útiles en los sistemas de comunicación de radio HF adaptables.

Uno de los parámetros más importantes en la predicción de la propagación en las comunicaciones por HF es la densidad electrónica máxima de la Ionosfera, dado que determina la cobertura de la comunicación en una frecuencia de transmisión específica. La frecuencia crítica dada por foF2, puede relacionarse a la densidad electrónica máxima de la capa F2 y foF2, junto con el ángulo de elevación, determinando la MUF para una distancia de transmisión específica. La distorsión y atenuación experimentadas por las perturbaciones en la propagación, son una complicación adicional.

La tabla 13 provee una estimación de tiempo y frecuencia de ocurrencia para cada tipo de perturbación.

EFEKTOS	PERIODO DE TIEMPO (s)	FRECUENCIA (Hz)
Ciclo solar	11 años (3.5×10^8)	2.9×10^{-9}
Estación	3 meses (7.9×10^6)	1.3×10^{-7}
Ciclo diurno	24 h (8.6×10^4)	1.2×10^{-5}
TID de gran escala	1 h (3.6×10^3)	2.8×10^{-4}
Desvanecimiento de onda corta	0.5 h (1.8×10^3)	5.6×10^{-4}
TID de pequeña escala	10 min (6×10^2)	1.7×10^{-2}
Desvanecimiento Faraday	0.1 - 10 s	10 - 0.1
Desvanecimiento de interferencia	0.01 - 1 s	100 - 1

Tabla 13. Variaciones temporales de los efectos del HF.

3.6.3 Componentes de los programas de predicción de onda celeste. El objetivo de un modelo de predicción de rendimiento del HF es proporcionar una estimación de como trabajará un sistema bajo un conjunto de circunstancias determinadas, que se traducen como una medida de la fiabilidad del sistema. La figura 37 muestra los principales componentes de un programa de predicción de onda celeste.

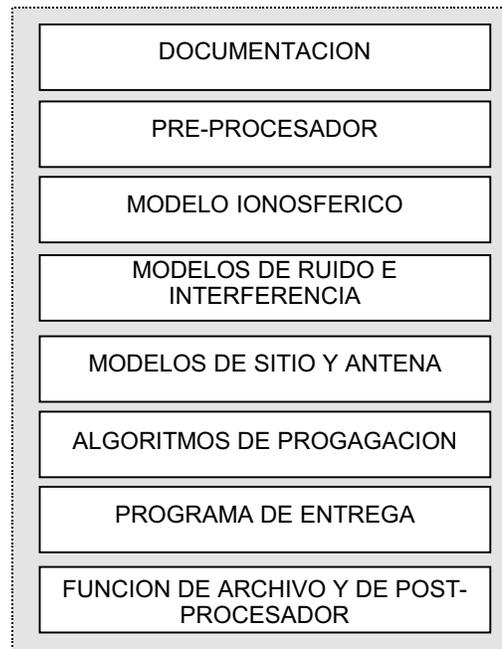


Figura 37. Componentes de un Programa de Predicción de Onda Celeste.

Los componentes del modelo de predicción incluyen:

- Documentación: Incluye la base teórica, guía de usuario, datos de interface I/O y la información específica de la máquina.
- Rutina del preprocesador: Permite al analista determinar una estrategia de cómputo eficaz, y la estructura del modelo ionosférico.
- Base de datos o coeficientes de los que el modelo ionosférico depende.
- Modelos de ruido e interferencia con bases de datos asociadas.
- Modelos de antena, factores de sitio y sus bases de datos asociadas.
- Procedimientos o reglas para la propagación.
- Conjunto de productos de salida.

Los modelos requieren en sus entradas la geometría del trayecto, el día del año (mes/estación), el estado del tiempo y el conjunto de tablas para manejar el comportamiento ionosférico. Además el terreno confirmado, la información de la situación, la configuración/tipo de antena y los datos del sistema necesarios. En la tabla 14 se presentan algunos modelos de predicción de propagación de onda celeste.

3.6.4 Introducción a los modelos de predicción más utilizados. Los grupos de estudio (SG-Study Groups) de la UIT-R involucrados en la propagación del HF y los problemas de comunicación en este medio, son el SG-3 y el SG-9, respectivamente. La sección 3L investiga el modelado del HF, y la sección del SG-10 trabaja en la transmisión del HF. Los modelos más utilizados en PC son:

IONCAP. Reemplazado por ICEPAC o VOACAP. Fue parte de una cadena de programas desarrollado por la ITS y sus organizaciones predecesoras. Este programa introdujo mejoras en la descripción ionosférica, modificación en las ecuaciones de pérdida, revisión de estadísticas de pérdida para considerarlas sobre la MUF, una nueva metodología para el modelamiento a larga distancia y la revisión de los modelos de ganancia de antena.

MODELO	ORIGEN	REFERENCIA
Método SPIM	Francia	Rawer(1952) Halley(1965)
Método CRPL	Estados Unidos	Circular 462 de la NBS (1948)
Método DSIR	Reino Unido	Piggott (1959)
Método USSR	Rusia	Kasantsev (1947, 1956)
Modelo FTZ	Alemania	Ochs (1970)
REC533 (CCIR)	CCIR	Rec. 533 ITU-R
CCIR-252-2	CCIR/UIT	Rpt. 252-2 (CCIR, 1970)
Complemento CCIR-252-2	CCIR/UIT	Complemento Rpt. 252-2 (CCIR, 1982 ^a)
CCIR-894-1	CCIR/UIT	Rpt. 894 (CCIR, 1986A)
HFBC84	WARC/UIT	ITU (1984A)
ITSA-1	ITS-Boulder	Lucas y Haydon (1986)
ITS-78	ITS-Boulder	Barghausen (1969)
HFMUFES4	ITS-Boulder	Haydon (1976)
IONCAP	ITS-Boulder	Teters (1983)
AMBCOM RADARC	SRI ITS-Boulder NRL-EE. UU	Hatfield (1980) Lucas (1972) Headrick (1971) Headrick y Skolnik (1974)
ICEPAC	ITS-Boulder	Manual de http://elbert.its.blrdoc.gov/f.html
VOACAP	ITS-Boulder	Manual de http://elbert.its.blrdoc.gov/f.html
REC533	ITS-Boulder	Manual de http://elbert.its.blrdoc.gov/f.html

Tabla 14. Modelos de predicción de propagación de onda celeste.

VOACAP. Este programa predice el funcionamiento de los sistemas de transmisión de HF y las propiedades que son útiles en la planificación y

funcionamiento de las transmisiones para las cuatro estaciones climatológicas, la actividad de las manchas solares, las horas del día y la localización geográfica.

ICEPAC. IONCAP fue desarrollado por la ITS, se convirtió en uno de los modelos de predicción de propagación de HF más aceptados y ampliamente utilizados. Pero demostró un pobre funcionamiento en la región polar y la aplicación de algunas estructuras del perfil de densidad electrónica desactualizadas. Para corregir estos problemas, IONCAP fue transformado en ICEPAC agregando el modelo del perfil de la Conductibilidad Ionosférica y la Densidad Electrónica (ICED-Ionospheric Conductivity and Electron Density), la cual es un modelo estadístico de las características del hemisferio norte, reconoce los procesos físicos que existen en todas las regiones de la Ionosfera, contiene algoritmos para la zona sub-auroral, la zona auroral y el casco polar. El programa es similar a VOACAP.

REC 533: Desarrollado por la ITU-R. Este programa reemplaza al 894-1 de la UIT-R y al HFBC894. Provee métodos de predicción para reforzar los medios operacionales y mejorar la exactitud. Trata con MUFs básicas de los diversos modos de propagación evaluadas en términos de la capa ionosférica correspondiente a las frecuencias críticas y en términos de la longitud del salto. Sus algoritmos se documentan en la Recomendación P.533-5 de la ITU-R. El procedimiento aplica un análisis de trayecto del rayo para longitudes cercanas a 7.000 Km, la formulación empírica se basa en el modo compuesto de datos medidos a más de 9.000 Km, y una transición en una distancia de 7.000 a 9.000 Km.

3.6.5 Parámetros ionosféricos utilizados en los modelos de predicción. Algunos parámetros ionosféricos requieren ciertas distribuciones estadísticas, la capa E esporádica y la capa F2 necesitan este tratamiento, por lo que se encuentran disponibles las distribuciones estadísticas para la foF2 y E esporádica. La única altura ionosférica que es procesada explícitamente con modelos de predicción es la de hF2, pero su variabilidad proviene de fuentes imprevisibles, como las TIDs, que son una fracción significativa de la variación diurna. La base para la estimación de hF2 en el modelo 252 de la UIT-R son los datos de la altura virtual (h'FF2), reconociendo que hF2 (no virtual) es la altura de F2 máxima, hmaxF2; con lo que la relación de Shimazaki dice:

$$h_{\max F2} = 1490/M(3000)F2 - 176$$

Los mapas de foF2 y M(3000)F2 han sido de mayor importancia en la predicción de la propagación del HF durante varios años. Son empleados en varios modelos ionosféricos para proporcionar una distribución global de la densidad electrónica y la altura de la capa F2 en otras aplicaciones. El modelo del Reporte 340-1 de la UIT-R, es un atlas de los coeficientes ionosféricos que definen a foF2 y M(3000)F2. El Complemento uno de la UIT-R, es una actualización del Informe 340, que reemplaza los coeficientes de foF2. Las mejoras incluidas son el

reemplazo de la dependencia lineal de foF2 con el número de las manchas solares por una dependencia polinómica, y una representación de Fourier de la variación anual para que cualquier día pueda examinarse en términos de su media mensual. Los coeficientes de la UIT-R son referidos como los coeficientes de New Delhi. En la siguiente tabla se presenta un resumen de los conjuntos de coeficientes existentes.

Coeficiente y época	Autor	Localidad de la plenaria	Designación computacional	Aplicación
CCIR 1966	Jones-Gallet	Oslo	Cubierta Roja	Largo plazo
CCIR 1971	Jones-Obitts	New Delhi	Cubierta Azul	Corto plazo
URSI 1988	Rush	N/S	N/A	Largo plazo

Tabla 15. Conjuntos de coeficientes ionosféricos.

Otro parámetro importante a manejar es la figura de ruido, por lo que es importante estimar el impacto de las fuentes de ruido externas en la operación del sistema, la configuración de antena y el ancho de banda de ruido con el que la señal debe competir. Los factores a tener en cuenta son el factor de ruido, la SNR asociada con los equipos y la ubicación en la que estos parámetros son calculados.

3.6.6 Técnicas de predicción a corto plazo. Los métodos de predicción a corto plazo involucran la medida de un parámetro ionosférico o geofísico que es aplicado a un modelo o algoritmo empírico. Los métodos de predicción a largo plazo proporcionan al ingeniero operador una guía muy útil, pero esa variabilidad ionosférica con escalas de tiempo de decenas de minutos presenta un desafío considerable. Ciertamente los modelos de predicción oblicuos no tienen capacidad de pronóstico intrínseca a corto plazo. Se debe anticipar una pequeña correlación entre el mundo real no filtrado y las predicciones extraídas del modelo promedio. Un resumen de los métodos a corto plazo se proporciona en el Informe 888-1 de la UIT-R. Aun que los modelos a largo plazo no tienen capacidad para evaluar la variabilidad a corto plazo de forma estadística, el talón de Aquiles del pronóstico a corto plazo es que existe un peligro en el que los modelos a largo plazo pueden ser utilizados inadecuadamente por los analistas. La desviación en las predicciones a corto plazo (pronóstico), puede traer consigo el proceso de actualización del modelo con un parámetro geofísico externo, un parámetro ionosférico o una combinación de los dos.

La predicción a largo plazo del comportamiento ionosférico depende críticamente de la representación fiable de los datos ionosféricos y una correlación conocida con la actividad solar, que deriva de otro proceso de predicción. Debido a la falta de una representación exacta o modelo de la Ionosfera, estos modelos con un solo parámetro como el número de las manchas solares, no son confiables. Así, los métodos a largo plazo para la predicción proporcionan guías incompletas.

La Recomendación 371 de la UIT-R trata la opción de índices para las predicciones a largo plazo de la Ionosfera. Recomienda que las predicciones para fechas mayores de un año en adelante del periodo actual, deben ser tratadas de forma diferente que en periodos menores. Si las predicciones son para periodos mayores a 12 meses, entonces el número de las manchas solares de dicho periodo será utilizado en la predicción de todos los parámetros ionosféricos, incluyendo la foF2, M(3000)F2, foF1 y FoE.

3.7 LA RADIO HF EN LA INFRAESTRUCTURA MUNDIAL DE INFORMACION

3.7.1 Incorporación al Internet. Los continuos avances en la infraestructura de la información internacional han permitido el alcance de conceptos de ciencia ficción en el ambiente cotidiano de la sociedad. Hace sólo unos años, la rápida comunicación asincrónica proporcionada por el e-mail se volvió un argumento decisivo para la compra de un computador para el hogar. Hoy en día, los usuarios de PCs contemplan a los agentes personales en la búsqueda nocturna de sitios fuentes de información para reproducir un periódico electrónico personalizado para la publicación en las primeras horas de la mañana.

El desarrollo de las nuevas capacidades se debe al progreso de las redes de computadores, incluyendo las redes de telefonía y el Internet. Sin embargo, algunos usuarios de éstas fuentes de información no pueden recibir un adecuado servicio por las redes existentes. Muchos de estos usuarios podrían utilizar la tecnología de la radio HF para ingresar a la autopista de la información. Debido al pequeño BW disponible de los canales de datos de HF, el enrutamiento de tráfico de Internet a través de este tipo de redes involucra circunstancias especiales:

- **Voz o datos hacia localidades remotas.** En la actualidad el HF proporciona servicio de voz económico hacia localidades muy remotas por medio de enlaces de radio por línea de vista o línea terrestre, como se observa en la figura 38. Con la adición de la automatización del HF moderno, pueden unirse los sitios remotos en las redes HF, con gateways múltiples en la infraestructura de información para mejorar la robustez en la conectividad.
- **Voz o datos para las plataformas móviles.** En las comunicaciones para las plataformas móviles además de la línea de vista, el HF proporciona una alternativa económica a las comunicaciones por satélite. El sistema ALE ha permitido solucionar los problemas de conectividad a nivel de enlace, que anteriormente afectaron al HF. Los HFNC integran terminales de voz y datos individuales, y las redes en grandes plataformas con un elevado BW, fortalecen la infraestructura fija de forma económica. Como posible aplicación, en la figura 39 se muestra una LAN marítima, que puede enlazarse de forma dinámica utilizando radios UHF, VHF y HF (apropiada para cada enlace), con troncales

de largo alcance transportando información con una combinación optimizada de satélite y radio HF.

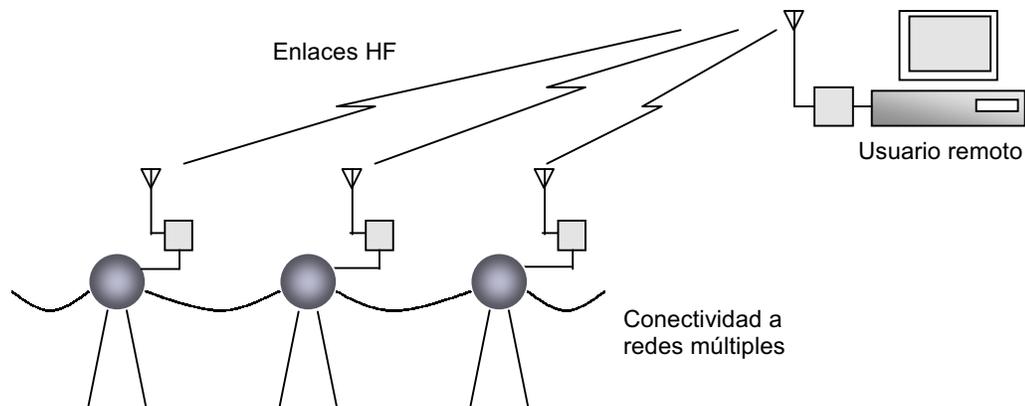


Figura 38. Servicio de voz o datos hacia localidades remotas.

- **Conexión de emergencia a redes separadas.** Los desastres naturales o artificiales pueden destruir segmentos de las redes backbone. Una red de soporte de estaciones de radio HF automatizadas puede establecer rápidamente el servicio dentro y fuera de las áreas de emergencia. Las limitaciones respecto al BW exigirán la aplicación de los respectivos mecanismos de prioridad y preferencia para gestionar la utilización de los enlaces de HF. En la figura 40 se muestra un sistema de redes para satisfacer los requerimientos en una conexión de emergencia.

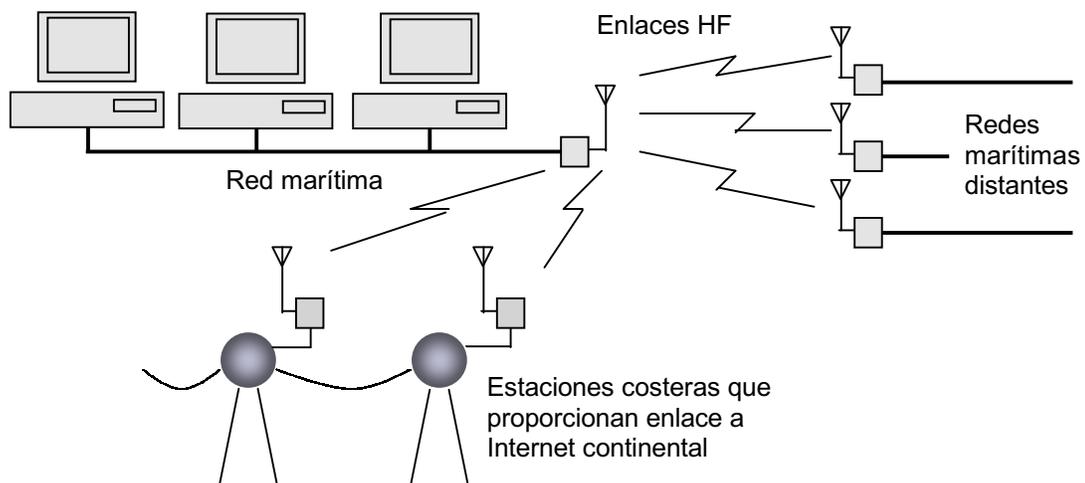


Figura 39. Plataformas móviles.

- **Conexión a las redes de rápido despliegue.** En las áreas de desastre, zonas lejanas, áreas comunes de aplicación y hasta las zonas de combate, la

transportabilidad, bajo costo y la gran cobertura de la radio HF, la convierten en un medio de rápida respuesta. Para la unión de las redes HF al Internet con capacidad automatizada, los equipos pueden utilizar herramientas de comunicación comunes como e-mail para facilitar la transición en las operaciones de campo. Un ejemplo del sistema se muestra en la siguiente figura.

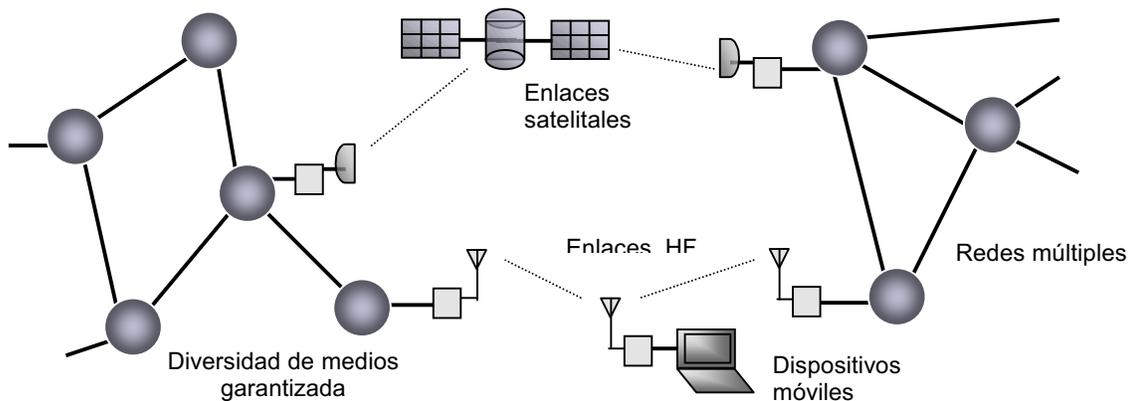


Figura 40. Conexión a redes.

3.7.1.1 Compatibilidad. Para que la radio HF pueda extender la infraestructura de información, se necesita asegurar que su tecnología sea compatible con la arquitectura de Internet. En los sistemas de HF, uno de los aspectos más importantes de este medio que lo distingue de los medios de comunicación de Internet más populares, es que la propagación es muy inconstante sobre una amplia gama de escalas de tiempo, presentándose multitrayectoria en la escala de los milisegundos, el desvanecimiento en la escala de segundos a minutos, la variación diurna en la escala de las horas y las perturbaciones ionosféricas y la actividad de las manchas solares en la escala de los días a los años.

Internet es la tecnología que interconecta diferentes redes y subredes en una sola red sin uniones físicas. El componente más importante es el protocolo IP que proporciona servicio de datagrama a los protocolos de extremo a extremo de alto nivel. Debido a que no se garantiza que los datagramas enviados salgan de la red en orden o sin duplicación, los protocolos de la capa superior proporcionan la calidad esperada de servicio al usuario. Así, la arquitectura protocolar de Internet se encuentra preparada para cumplir con las condiciones de la propagación en HF, aunque dichos protocolos no soportan totalmente los enlaces de HF. Por ejemplo, el protocolo TCP asume que los paquetes están perdidos sólo como resultado de la congestión, así, TCP trabaja mejor con un protocolo de enlace fiable.

3.7.1.2 Limitaciones del funcionamiento. Dado que las redes de HF e Internet son compatibles en varias partes del nivel fundamental de interoperabilidad, se debe examinar los problemas de funcionamiento y congestión que se presentan

en las redes de HF debido al ancho de banda restringido de los enlaces. Aun que los módems de datos de HF existentes poseen ya velocidades de datos considerables, el rendimiento actualmente es bajo, en orden de magnitud menor que las velocidades logradas con los módems de línea alámbrica. Los módems de HF operando en enlaces de onda celeste en latitudes medias, logran bajo rendimiento de datos de usuario, por lo que no soportan aplicaciones de multimedia, haciéndolos aplicables solo para texto. La conexión de HF al Internet está mejorando el rendimiento de datos por medio del incremento del ancho de banda por enlace, la eficiencia de datos del módem, el volumen de información (reducir la redundancia) en el flujo de bits y los procesos de comprensión, que pueden ser variantes del algoritmo de Lempel-Ziv, aplicado a muchos archivos y en los comandos de compresión de Unix, con alta velocidad de compresión. Para las aplicaciones de HF, se puede lograr un 50% de mejor compresión utilizando una implementación tal como la utilidad gzip. De éstos resultados de compresión, es claro que el acceso al Internet vía radio HF demuestra satisfactoriamente las aplicaciones para texto o PostScript, debido a que la compresión adicional mitiga las bajas velocidades de datos de HF contra los módems de líneas alámbricas.

3.7.1.3 Interfaces de HF con Internet. La interfaz del sistema HF al Internet está básicamente formada por un equipo encargado de ejecutar los protocolos de Internet, junto con el equipo básico de soporte del sistema. En la figura 41 se muestra una interfaz para conectar una red de HF al Internet; un PC o gateway ejecuta el SW de los protocolos de Internet básicos que enrutan los paquetes de información entre cualquier enlace de datos establecido; una tarjeta Ethernet y un HFNC, trabajan como gateway entre los nodos asequibles vía Ethernet y los nodos asequibles desde la estación de HF.

3.7.2 Capacidades de los nuevos estándares para la automatización del HF. El estándar MIL-STD-188-141B incluye la tecnología de tercera generación para el establecimiento de enlaces de radio HF, las funciones de capa de red para soportar el enrutamiento, las funciones de topología, supervisión y las funciones de la capa de aplicación como correo electrónico y la gestión de red.

3.7.2.1 Controladores de nodo HF (HFNC). La funcionalidad de la capa de red de una estación de HF automatizada reside en los HFNC. La figura 42 muestra la organización conceptual de la automatización de la radio HF física, el enlace de datos y la funcionalidad de la capa de red. La tabla de enrutamiento es una lista de estaciones próximas de destino para el enrutamiento de mensajes entrantes. La matriz de calidad del trayecto es una tabla actualizada dinámicamente de calidad de trayectos de voz y datos agregados a varios destinos.

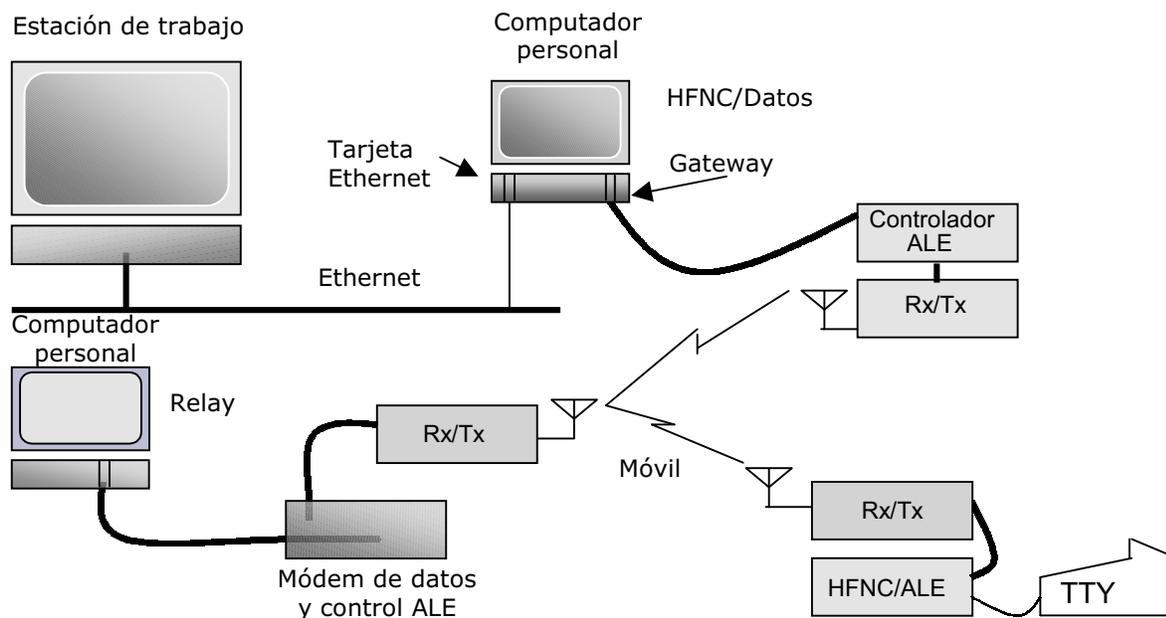


Figura 41. Gateway Internet de radio HF.

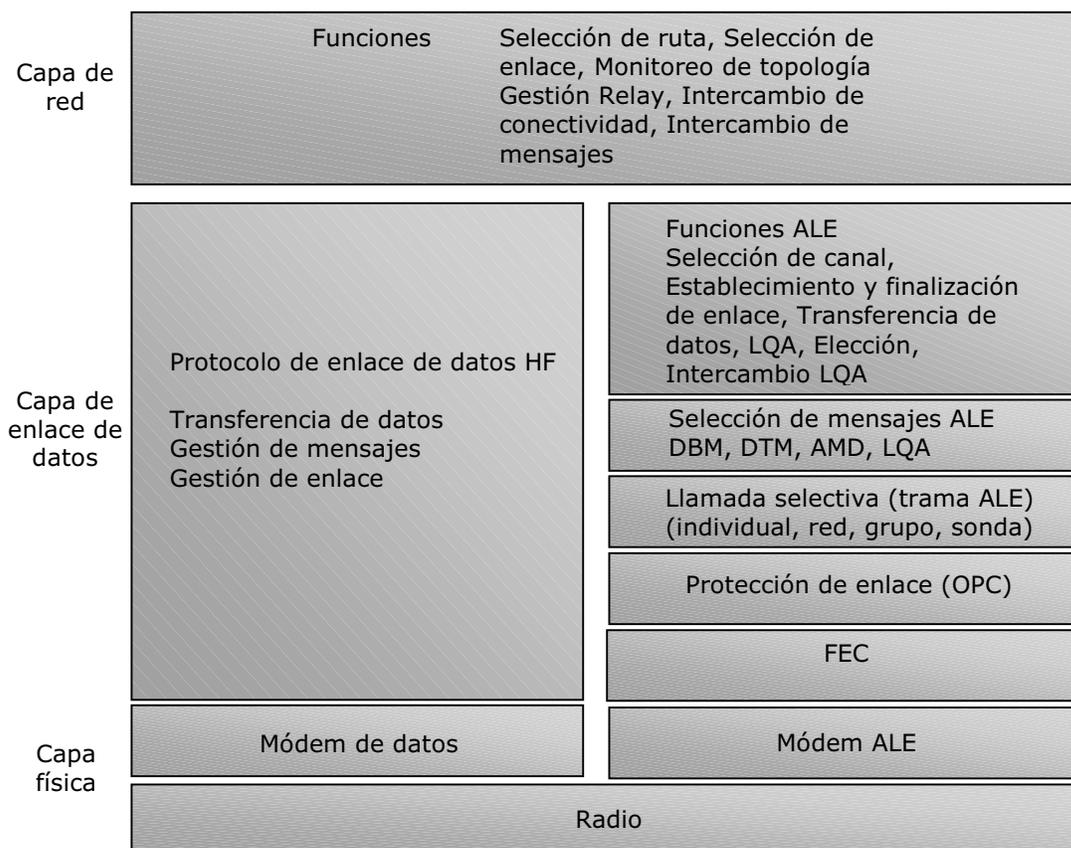


Figura 42. Visión general de la automatización del HF.

La funcionalidad del HFNC se subdivide en cuatro niveles diferentes de capacidades. Para el soporte de control del sistema en Internet, el nivel cuatro maneja los protocolos necesarios para garantizar un funcionamiento rápido y eficaz en entornos de múltiples redes. Las redes HF para aplicaciones de Internet emplean Gateways con mayores capacidades de enrutamiento en los puntos de interfaz con otros medios de comunicación, y para la conexión con otras redes con la adición de una tabla de enrutamiento, el almacenamiento y envío, la matriz de calidad del trayecto y el protocolo de intercambio de conexión. La tabla 16 muestra los niveles del HFNC, con sus respectivas funcionalidades.

3.7.2.2 Protocolos de capa de red. El conjunto de protocolos de la capa de red soportan el intercambio automático de mensajes, el intercambio de conexión, gestión de retransmisión y la supervisión del estado de red. Entre los protocolos principales se encuentra el Intercambio Automático de Mensajes (AME-Automatic Message Exchange), que proporciona el servicio de datagrama sin conexión simple y soporta el enrutamiento interno de datagramas como el protocolo de Internet. El protocolo de intercambio de conexión, distribuye los datos de calidad del trayecto (LQA). El protocolo de gestión relay de HF se utiliza para controlar los repetidores remotamente y para determinar la conectividad, y el protocolo de estado de la estación de HF soporta las notificaciones basadas en el mecanismo para rastrear el estado de las estaciones miembros de red.

Nivel Funcional	Capacidades
Nivel 1 HFNC Mínimo (Sin tabla de enrutamiento) (Sin matriz de calidad del trayecto)	Controles de radio ALE Soporte para datos remotos Intercambio automático de mensajes Almacenamiento y envío nulos Protocolos de Internet (opcional) Controles de HF módems de datos (opcional)
Nivel 2 HFNC Básico (Sin matriz de calidad del trayecto)	(Todas las capacidades del Nivel 1 de 1 HFNC) selección de ruta utilizando la tabla de enrutamiento estática Almacenamiento y envío de mensajes Tabla de enrutamiento Control de repetición (opcional) Monitoreo de conectividad Control múltiple de radios y módems (opcional)
Nivel 3 HFNC Adaptativo	(Todas las capacidades del Nivel 2 de HFNC) Matriz de calidad del trayecto Intercambio de conectividad Enrutamiento adaptativo
Nivel 4 Gateway para múltiples medios	(Todas las capacidades del Nivel 3 de HFNC) Enrutamiento por medios alternos Protocolos de Internet (obligatorio) Gateway de Internet

Tabla 16. Niveles de funcionalidad del HFNC.

3.7.2.3 Gestión de Redes HF. Debido a la complejidad producto del desarrollo de los equipos necesarios para extender los servicios de Internet, se requiere de un protocolo de estandarización para controlar remotamente las estaciones y los problemas presentados. La hostilidad de los medios de HF esclarece los desafíos al desarrollo de un mecanismo para supervisar fiablemente y controlar las estaciones de radio distantes. El MIL-STD-187-721C describe un protocolo de soporte, y mantiene la compatibilidad con la arquitectura de gestión de red, el estándar de Internet SNMP, y su variación para redes HF, el estándar HNMP. En la sección 3.5.3 de este capítulo se describe la gestión general de las redes HF.

3.8 EVEREST/TCM para la Próxima Generación de Módems de HF.

3.8.1 EVEREST. El esquema EVEREST, es una técnica rápida, eficiente y bastante exacta para predecir el valor de la BER. Puesto que no inserta ningún bit extra en el flujo de datos, mantiene un rendimiento total del canal. La idea básica de EVEREST es que la distribución de la variable de decisión del demodulador, lleva más información sobre la condición del canal que la salida digital del módem. Otro esquema de análisis de la calidad del enlace tiene en cuenta los errores de bit después que la variable de decisión ha sido cuantizada. Examinando la variable de decisión antes de la cuantización, EVEREST puede observar si la señal recibida está atenuada en su mayor parte cerca de los umbrales de decisión o lejos de ellos; puede por consiguiente, predecir que porcentajes de error serán altos o bajos con pocas medidas. Un beneficio adicional es que el monitor del canal no necesita insertar bits conocidos en el flujo de bits, para que pueda detectar errores; incluso no los necesita cuando recibe bits con error. Además puede estimar las características del canal y predecir el porcentaje de error. Pero el corto tiempo requerido para evaluar un canal puede percibirse como una debilidad, ya que la evaluación puede ser falsa si las medidas se hacen durante los periodos anómalos en el canal, aspecto que debe fomentar aun más la investigación para determinar la longitud de la medida de muestreo necesaria para reducir la probabilidad de error en un nivel aceptable.

3.8.2 TCM. La Modulación de Codificación de Enrejado (TCM-Trellis-Coded Modulation), es una técnica para incrementar el rendimiento de datos en un canal con ancho de banda fijo. TCM condujo a la revolución de los módems de línea telefónica que produciría dispositivos económicos de gran velocidad. La esencia de TCM es la utilización de múltiples señales por símbolo, tal que las últimas señales recibidas de un canal ayudan a reducir los errores en la interpretación de cada nueva señal. El sistema es especialmente susceptible a los errores de los cambios de fase, además para ser aplicado a un módem de HF, requiere un ecualizador adaptable sofisticado.

4. APLICACION DEL SISTEMA. ESTUDIO Y GUIA COMPLETA DE DISEÑO DE UNA RED DE HF E-mail

4.1 INTRODUCCION

A continuación se realiza el diseño de una red HF con ALE, especificando concretamente el servicio de correo electrónico (e-mail), que puede ser utilizado por un gran número de usuarios, garantizando una alta disponibilidad.

El estudio se orienta hacia el desarrollo de una red e-mail HF, haciendo mayor énfasis en la transmisión de datos y los protocolos que la soportan. La aplicación específica del e-mail HF, surge como una modificación del correo electrónico de Internet, para ser utilizado en trayectos de propagación de ondas de radio HF, entre los posibles usuarios ubicados en una región o área definida.

El sistema además posee una capacidad Gateway, para la conexión con otras redes e Internet, así como la conexión con otros grupos de usuarios. Para el desarrollo de la red HF se ha tenido en cuenta ciertas regiones del departamento del Cauca, en las cuales por muchas razones que se exponen más adelante, la comunicación por radio HF es una buena alternativa.

Los cálculos de predicción HF se desarrollan con la utilización del SW VOACAP de la ITS.

4.2 GUIA DE ANALISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA

Los pasos de ingeniería para el desarrollo de un sistema de radio HF incluyen los siguientes niveles:

1. Análisis de requerimientos para el sistema de comunicaciones, con el objeto de establecer si la utilización del sistema de radio HF es factible.
2. Determinación de los costos para respaldar la financiación del proyecto.
3. Análisis de ingeniería.

4.2.1 Análisis de requerimientos para el sistema de comunicaciones. Este debe establecer si la utilización del sistema de radio HF es factible. Cuando el sistema de radio HF cumple con las necesidades para el establecimiento de las

comunicaciones, se debe desarrollar un sistema preliminar y un estudio de viabilidad para analizar y definir los requerimientos. Un análisis riguroso de las expectativas y requisitos para el nuevo sistema debe mostrar que el medio seleccionado es apropiado o no para la aplicación.

Para el desarrollo de la red se sugiere tener en cuenta las siguientes poblaciones: Popayán, Rosas, Miranda y Guapi. La elección de las anteriores poblaciones como puntos de la red, obedece a los siguientes aspectos:

- Rosas se encuentra ubicada en una región montañosa, que además se caracteriza por ser muy húmeda, de espesa vegetación, alto índice de lluviosidad y de elevado ruido atmosférico. Por estos aspectos, Rosas es un buen sitio para comprobar el sistema de radio HF con ALE, puesto que posee muchos factores que imposibilitan la utilización de otros mecanismos de propagación convencionales.
- Popayán como capital del departamento, posee la infraestructura necesaria de la sociedad caucana, brindando a toda la región los diferentes servicios que necesita. Debido a que las telecomunicaciones son un factor muy importante en el desarrollo de las poblaciones, es necesario la aplicación de sistemas de comunicaciones adecuados. El sistema de radio HF es muy práctico en geografías complicadas como la caucana.
- Guapi es una población costera, que debido a sus características geográficas son altamente afectados los sistemas de telecomunicaciones convencionales. El bajo nivel de recursos económicos, la marginalidad general de la región y los escasos medios de comunicación con el centro del Departamento, hacen que la radio HF sea una buena posibilidad.
- Miranda se encuentra ubicada en la parte norte del departamento, en una región ligeramente plana. En términos generales, la elección de esta población obedece a razones de un mayor cubrimiento del Departamento.

Continuando con la definición de análisis y requerimientos, para el desarrollo de la red, los factores que soportan la utilización de la radio HF son:

- **Distancia.** La distancia entre los puntos terminales debe ser adecuada para la propagación por HF, donde no sea posible la aplicación de sistemas de radio en LOS con repetidores, o por microondas. La propagación por HF, como se sabe, soporta distancias considerables, excepto en condiciones muy desfavorables. En la aplicación, las distancias de separación entre los sitios elegidos son pequeñas, pero debido a su geografía, los enlaces en LOS son afectados de forma considerable.

En la tabla 17 se ilustra las distancias de separación de las poblaciones elegidas (Miranda, Guapi, Rosas), referenciadas a la ciudad de Popayán.

LOCALIDAD	DISTANCIA A POPAYAN (Km)
Miranda	106
Guapi	600
Rosas	38

Tabla 17. Distancia de separación de los sitios involucrados en la red.

- **Disponibilidad.** La disponibilidad del sistema HF no es tan alta como en otros sistemas (satélite, fibra óptica, microondas), debido a la susceptibilidad ante perturbaciones atmosféricas. Además se debe considerar que tres puntos de la red se encuentran ubicados en una región con un alto índice de pluviosidad y tormentas eléctricas, incrementando el ruido atmosférico.
- **Terreno.** El terreno no regular como montañas, océanos, fronteras internacionales entre los puntos terminales pueden imposibilitar la utilización de otros sistemas, haciendo que la comunicación por HF sea una alternativa viable. En la red, los puntos que la conforman poseen una geografía muy variada, siendo en algunos apta, así como otros de características adversas a otros sistemas de telecomunicaciones. Este aspecto posibilita a la radio HF, como aplicable en todos los casos.
- **Tráfico.** La radio HF es utilizada para comunicación de voz o datos a bajas velocidades. Esta alternativa es viable si la cantidad de tráfico a ser transportado es lo suficientemente pequeño para ser satisfecho por uno o dos canales de HF. El servicio básico de la aplicación es e-mail, por lo que la velocidad no es un factor que presente un alto inconveniente.
- **Costos.** Los costos de instalación, mantenimiento y operación del sistema son menores que en cualquier otro sistema de comunicaciones que podrían satisfacer los requerimientos. Para la red, como el servicio es social, puede disponerse de edificaciones existentes, las cuales pueden necesitar algunas modificaciones; en casos extremos se necesitará la construcción total, así como la adquisición o alquiler del sitio. Los mayores costos se encuentran relacionados con la compra de los equipos, sin descartar los costos de ingeniería, instalación y prueba del sistema. Pero en general, el establecimiento de la red es más económico con el sistema de HF con ALE que con otros sistemas de comunicaciones.
- **Ciclo solar.** Las predicciones para la propagación de largo alcance son favorables para el conjunto de frecuencias planeadas a utilizar, según datos internacionales recomendados y los resultados de los métodos aplicados.
- **Conjunto de frecuencias.** Las frecuencias adecuadas para el sistema de HF pueden obtenerse fácilmente, de tal forma que exista interacción con otras

unidades que ya utilizan altas frecuencias. Se puede emplear una amplia gama, teniendo en cuenta las frecuencias de mejor respuesta en la región.

- **Sitio de ubicación de la estación.** Para determinar el sitio de ubicación para las estaciones de la red, el principal factor a tener en cuenta es el tipo de antena a utilizar, considerando los obstáculos cercanos presentes en el frente de la antena, obstáculos lejanos, área requerida para evitar la interferencia con otras antenas. Estos factores inciden en la preparación necesaria para los sitios de ubicación. En el sistema a implementar, la ubicación de las estaciones en las poblaciones seleccionadas del Cauca no presenta mayor problema, ya que existen muchos sitios donde se puede realizar la ubicación, teniendo en cuenta su facilidad, disponibilidad, interacción con el medio y su aplicabilidad.
- **Diseño preliminar del sistema.** Una vez que se ha determinado que el HF es una solución viable a los requerimientos de la comunicación, entonces se debe dirigir un diseño general del sistema y el estudio de viabilidad.

En términos generales, se desea establecer una red inalámbrica para proporcionar el servicio de E-mail HF entre la ciudad de Popayán y las poblaciones Guapi, Miranda y Rosas. La unión de los puntos, debido a la simplicidad del sistema, se puede realizar en estrella sin generar complejidad en los requerimientos. El nodo principal de la estrella se debe ubicar en la ciudad de Popayán, por tener una mayor infraestructura de servicios, conectando las demás poblaciones como se muestra en la siguiente figura.

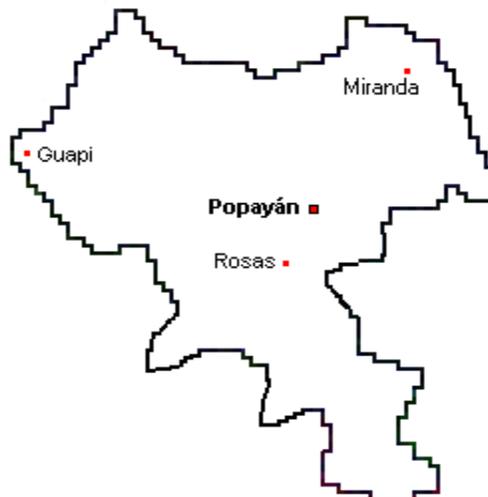


Figura 43. Ubicación geográfica de los puntos de red.

4.2.1.1 Esquemas de Troncales/enrutamiento. Los esquemas de troncales y enrutamiento en el análisis de diseño, proporcionan información sobre el número y tipos de canales necesarios para interconectar cada una de las estaciones dentro del sistema de red HF. El ingeniero de implementación debe trabajar con el

administrador de la red para identificar todas las estaciones o nodos a ser incluidos en la red, así como sus situaciones geográficas.

El diseñador de esquemas de troncales/enrutamiento debe considerar la localización física de cada nodo y la relación con otros nodos en la red; debe identificar cualquier obstáculo físico que puede estar presente en los trayectos entre los nodos; debe conocer el equipo localizado en cada nodo, su potencia y las características de antena, y conocer todas las rutas de propagación entre las diferentes estaciones involucradas (onda celeste, NVI, onda terrestre y línea de vista). El administrador de red necesita conocer las características y el volumen de tráfico de comunicaciones que se envía entre los nodos en diferentes momentos del día. Debe conocer las interfaces de comunicaciones que se conectan a cada punto y cómo la pérdida de una o más de estas interfaces, puede afectar el tráfico de mensajes a través de la red. También debe conocer sobre la prioridad de mensajes a través de cada nodo, así como la importancia de cada miembro de la red, en la misión total de ésta. Si los mensajes son enviados a través de nodos intermedios donde la cobertura no puede ser universal, entonces debe considerarse el enrutamiento especial en el análisis de tráfico realizado por el administrador.

En el sistema de E-mail HF, existe una estación principal que trabaja como servidor o nodo central. Para el caso de la red se ha elegido la ciudad de Popayán como punto central, debido a la infraestructura que posee. Teniendo en cuenta que la red es conformada por cuatro puntos, el número de canales necesario es tres. La topología aplicable al sistema es una configuración en estrella. Como en la ciudad de Popayán debe ubicarse el servidor de la red, la pérdida de esta estación ocasionará la caída total del sistema; por lo que es necesario disponer de un equipo alterno en standby, el cual entra en funcionamiento si el equipo principal falla.

4.2.1.2 Plan de frecuencias. La planeación debe realizarse al inicio del proyecto, para adquirir una lista adecuada de las frecuencias para soportar cada enlace en el sistema de radio, con el fin de garantizar un buen desempeño, en cualquier momento del año y a lo largo de todo el ciclo solar. Los programas de predicción de frecuencia como IONCAP, ICEPAK, o VOACAP son ideales para determinar los requerimientos de frecuencia en diferentes condiciones.

En el norte de la ciudad de Popayán, hace algunos años existía una ionosonda, ubicada en el sector de Las Guacas. Según los datos obtenidos, se determinó que las frecuencias más utilizables en la región son las ubicadas en la banda de 2 a 6 MHz, por lo que las frecuencias de los canales a utilizar deben ubicarse en esta banda, siendo estas comprobadas con la aplicación de VOACAP. Además, para trayectos cortos se debe utilizar frecuencias bajas. Según información del Ministerio de Comunicaciones, la comunicación de datos por circuitos HF, no está regulada, y actualmente no se encuentra en proceso de regulación. Por tal razón se sugiere que las organizaciones de carácter gubernamental, no gubernamental y

privado, utilicen las frecuencias en las cuales operan normalmente, para la transmisión de datos. Los radioaficionados también pueden transmitir datos utilizando sus frecuencias normales de trabajo.

4.2.1.3 Requerimientos del personal de trabajo. Para asegurar que cada estación en la red opere y se mantenga apropiadamente, se debe realizar al inicio de la planeación, el análisis del número, la capacitación y experiencia del personal requerido para proveer de operarios a cada nodo en la red durante el periodo de servicio (8 h/día, 12 h/día, 24 h/día, 5 días/trab, o 7 días/trab). Se debe determinar si el personal disponible es especializado, si se requiere la utilización de nueva tecnología que necesita de capacitación del personal; quien proporcionará la capacitación y si la organización de capacitación es interna, externa o una combinación de los dos.

Para la implementación del sistema, en la ciudad de Popayán y en las poblaciones de Miranda, Guapi y Rosas existe la liga de radioaficionados del Cauca, los cuales podrían manejar fácilmente el sistema. Además entidades militares como la Policía Nacional y el Ejército colombiano presentes en los puntos de la red, poseen equipos de HF y están en la capacidad de manejo de tecnologías digitales, al igual que la Cruz Roja, la Defensa Civil y otras organizaciones no gubernamentales.

4.2.1.4 Requerimientos de soporte. El diseñador del sistema debe seleccionar un sitio que tenga rutas de acceso adecuadas, suministro de agua y potencia eléctrica, combustible para los generadores, correo, facilidades médicas, albergue adecuado y áreas para la compra de víveres. Este lugar se localizará cerca de una ciudad o pueblo con facilidades, a excepción de las zonas de difícil acceso, donde el sistema es la mejor solución. Además la construcción de una estación de radio HF, o la ampliación de un sitio existente, requiere valoraciones de impacto medioambiental.

En la implementación, las estaciones deben ser ubicadas en el casco urbano de las poblaciones implicadas, aprovechando que todas poseen servicio básico de energía eléctrica, acueducto, hospitales, albergue, áreas de compras, estaciones de venta de combustible, recreación, educación, etc. Los análisis de impacto medioambiental, deben ser realizadas por las autoridades competentes, teniendo en cuenta que la radio HF no produce efectos dañinos considerables en su entorno.

4.2.1.5 Requerimientos de usuarios. Los requisitos de los usuarios incluyen características específicas para el lugar; estas son:

- Mensajes especiales o de prioridad necesaria para el sitio.
- Licencias especiales o contratos de construcción, y declaraciones de impacto medioambiental.
- Niveles de potencia de los equipos.

Como requerimientos básicos para la red, están los niveles de potencia de los equipos que serán instalados en la población, las licencias de construcción ya sea total o parcial, y el impacto medioambiental. En cuanto al servicio e-mail, se debe garantizar la seguridad de la información.

4.2.1.6 Servicios requeridos (voz, datos, imagen). Los requerimientos para la prestación de servicios especifican que tipo de tráfico debe ser capaz de manejar la estación de HF, siendo voz y/o datos, u otras formas de información, como imagen, facsímil o voz encriptada. Cada uno de estos tipos de tráfico indica las partes adicionales de equipo que deben ser considerados por el ingeniero del sistema. Los servicios que debe prestar el sistema de E-mail HF, básicamente son de texto; pero con la funcionalidad de los buzones de correo se puede manejar el servicio de envío de archivos.

4.2.1.7 Relación de señal a ruido requerida. Los modos de comunicaciones (voz, datos, etc) establecen la SNR requerida. La Recomendación 339-6 de UIT-R puede utilizarse para determinar la SNR necesaria, según la calidad solicitada de servicio (calidad normal, calidad comercial marginal, o calidad comercial aceptable).

4.2.1.8 Modulación de datos. El tipo de servicio a brindar informa sobre la velocidad de datos a tener en cuenta en el diseño del sistema, determinada según los requerimientos iniciales. En las comunicaciones se transmite información por medio de envíos de formas de onda variantes en el tiempo. Estas formas de onda pueden utilizar técnicas analógicas o digitales de modulación. Las principales características de un sistema se expresan en términos de la distorsión, porcentaje de error, ancho de banda, costo, etc.

Esta información suministra al diseñador del sistema las especificaciones de los equipos. La mayoría de los módems de HF modernos son capaces de manejar varias velocidades de datos. Debe tenerse especial cuidado en asegurar que el equipo opere en conjunto con las mismas velocidades de datos y utilice los mismos tipos de modulación. De la experimentación, los protocolos militares sobre comunicación de datos, MIL-STD-188-110A, muestran un alto rendimiento en enlaces de radio HF utilizando modulación 8-PSK, al igual que los sistemas de modulación Clover.

4.2.1.9 Disponibilidad de circuito requerida. Los circuitos de HF pueden proporcionar una disponibilidad de circuito del 80% (19,2 h/día) al 95% (22,8 h/día). Los equipos modernos adaptables como ALE, operan cerca del extremo superior de la máxima disponibilidad.

4.2.1.10 Tiempo de vida del sistema. El tiempo que se espera que el nuevo sistema de HF esté en servicio, tiene un impacto en la selección del equipo. Si el servicio sólo es para un periodo corto de tiempo (varios días, meses, años), puede ser posible operar con equipo transportable. Para tener una larga duración se

requiere equipos instalados permanentemente. En un sistema de prueba, el tiempo esperado de funcionamiento está determinado por la duración de la experimentación necesaria que establezca su funcionalidad. Para la aplicación del proyecto, se selecciona los componentes del sistema con un tiempo de vida útil de 10 años.

4.2.1.11 Puesta en marcha del sistema. La fecha para la cual la red debe estar funcionando, puede establecerse en la presentación original de requerimientos. Algunas de las fases de la implementación del sistema pueden retardar el tiempo de entrega, por lo que el cronograma de actividades debe subdividirse en tareas, para determinar una fecha operacional.

4.2.2 Estimación de costos. El costo total del proyecto para el desarrollo de nuevas capacidades o la extensión del sistema de radio HF, incluye incrementos directos en el costo del equipo.

4.2.2.1 Costos de inicio.

- **Costos de gestión del proyecto.** La estimación de costos debe incluir el costo de las labores directas e indirectas para el administrador del proyecto y el personal, durante todo el tiempo de supervisión y dirección.
- **Costos de ingeniería del sistema.** La estimación de costos debe incluir los costes de las labores directas e indirectas del ingeniero del sistema y de cualquier personal asignado durante la revisión de los requerimientos del proyecto y el tiempo dedicado en el trabajo de diseño del sistema.
- **Costos de adquisición de la zona de ubicación.** Si el terreno para la nueva estación de HF no es propio, debe adquirirse a través de compra o arrendamiento. Éstos costos incluyen todos los costos asociados con la adquisición del terreno, compra, cuotas legales, arrendamiento anual y cualquier impuesto aplicado.
- **Costos de preparación del sitio.** Incluyen los costos asociados con la nivelación del terreno, construcción de cercos, excavación de zanjas para los cables de antena y la construcción de muelles de concreto para las torres de antena.
- **Construcción o modificación de edificaciones.** Para la instalación de una estación, debe construirse una nueva edificación. Si la instalación ya existe, entonces puede ser necesario construir cuartos adicionales para alojar las nuevas capacidades.
- **Construcción o modificación de los sistemas primarios y auxiliares de potencia.** Hace relación con los requerimientos de potencia del sistema, la

compañía de red eléctrica local, y la construcción para dar soporte a los equipos de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire. Si la instalación ya existe, la potencia puede ya estar proporcionada, pero en muchos casos el sistema de distribución debe ser mejorado con transformadores y circuitos interruptores adicionales. El plan de ingeniería también puede requerir la instalación de una fuente auxiliar de potencia, para la utilización en emergencias.

4.2.2.2 Costo de los equipos. El costo de los equipos puede o no ser el mayor del proyecto y depende de cuántos circuitos se requieran, el nivel de potencia de los transmisores y las distancias entre las estaciones. Normalmente se compra los equipos a través de un proveedor o vendedor, aunque se puede tener vendedores múltiples para soportar un contrato mayor. A continuación se presenta una lista de los principales componentes del sistema:

- Transceptores.
- Componentes de antena.
- Conmutadores de antena
- Líneas de transmisión.
- Dispositivos de terminado.
- Multiacopladores.
- Interfaz RF.
- Equipo terminal.
- Terminales de voz.
- Equipos de interfaz de audio.
- Cable de alimentación.
- Repuestos y accesorios.

El propósito de las interfaces, es dar al personal de la estación la habilidad de tener acceso a todos los circuitos para el enrutamiento de tráfico de emergencia, la conmutación o sustitución de equipo, el monitoreo de la calidad de la señal, la prueba y mantenimiento del sistema.

4.2.2.3 Costos de instalación. Se refiere a los puntos a ser incluidos en el estudio de estimación de costos en el proceso de instalación. Estos costos son:

- **Costos de materiales para la instalación.** Incluye todos los costos de los materiales necesarios para la construcción o modificación de un lugar para la estación de radio HF.
- **Costos de los ingenieros consultores.** Los asesores o ingenieros profesionales realizan tareas especializadas, como localización de sitios convenientes o medición del nivel de ruido eléctrico local (artificial y natural), etc.

- **Costos de las actividades de instalación.** A menos que este servicio sea proporcionado por el vendedor del equipo, debe ser planeado por el administrador del proyecto. Incluye el costo de instalación y el costo de toda la construcción requerida para hacer el sitio funcional.
- **Costos de la etapa de pruebas.** La experimentación del equipo es una parte importante para garantizar que las instalaciones sean totalmente operacionales. El plan de prueba puede requerir de una comprobación formal de cada aspecto del nuevo equipo por parte del personal de la estación o del vendedor bajo la observación del usuario. La experimentación puede proporcionarse en un periodo de tiempo de un mes, donde se espera que el personal del lugar compruebe todos los aspectos del equipo. Los costos de actividades directas e indirectas de la experimentación deben ser incluidos en los costos globales del proyecto.
- **Capacitación del personal.** Siempre debe considerarse la capacitación del personal en cualquier nuevo equipo instalado durante el proyecto. La capacitación puede proporcionarse bajo el contrato en la compra del equipo, recibiendo capacitación del vendedor, o si la entidad es grande, puede tener instructores propios para suministrar la capacitación internamente. Sin importar el método, la capacitación siempre debe ser incluida en los planes del proyecto.
- **Costos del ciclo biológico.** El diseñador del sistema debe considerar los costos del ciclo biológico del sistema. Esto incluye los costos recurrentes para operar, administrar y mantener la nueva capacidad.

4.2.3 Análisis de ingeniería detallado.

4.2.3.1 Topología de red. Uno de los primeros pasos en el análisis y diseño es el considerar las necesidades del sistema. Una red de comunicaciones puede definirse como un sistema de nodos conectados para que una unidad de radio en la red, pueda comunicarse con cualquier otra unidad. En el caso de RF, las unidades poseen una conexión vía radio, que les permite establecer contacto según un tipo de topología. Los métodos más comunes de conexión existentes y aplicables al sistema son la configuración en malla y estrella. En la figura 44 se observan las topologías básicas. Puesto que el servicio a implementar es de e-mail, la topología en estrella es la más adecuada para el sistema, lo que permite ampliar la funcionalidad de la red, teniendo como punto central la ciudad de Popayán.

4.2.3.2 Estudio de sitio/campo. Los principales objetivos técnicos para una buena ubicación de la radio HF son el obtener la máxima SNR en el receptor y la máxima potencia efectiva radiada en la dirección deseada desde el transmisor. La topografía del sitio afecta la señal radiada desde el transmisor y la señal de

llegada al receptor. La presencia de ruido natural y artificial disminuye la habilidad de obtener una buena SNR en el receptor. Las constantes terrestres deseables mejoran el funcionamiento de las antenas transmisora y receptora. Éstos y otros factores que entran en la selección de sitios de HF, involucran a menudo compromisos y negociación entre la economía, disponibilidad y conveniencia.

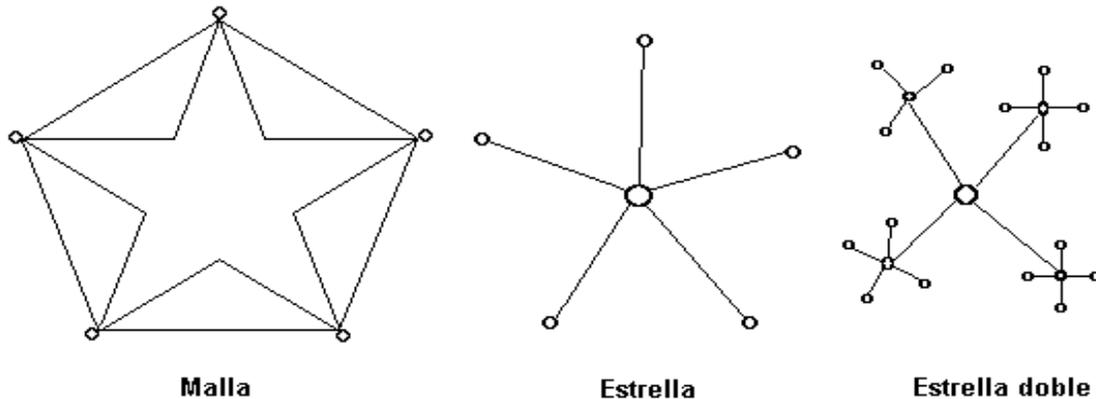


Figura 44. Topología de redes de radio HF.

4.2.3.2.1 Topografía. El sitio de radio HF técnicamente ideal requiere una gran extensión libre de obstáculos, sin árboles y lejos de obstáculos naturales y artificiales. La llanura del terreno es necesaria para la reflexión terrestre y uniforme de la radiación de antena. Los obstáculos pueden enmascarar partes de la ruta de radiación de la señal en el sitio del transmisor y el receptor.

4.2.3.2.2 Características del terreno. La naturaleza del terreno delante de una antena tiene una influencia significativa en el patrón de la radiación vertical. Un buen sitio para la ubicación de la antena debe tener una zona libre de obstáculos que puedan bloquear la señal.

4.2.3.2.3 Zona de reflexión. La zona de reflexión es el área directamente delante de la antena, donde se produce la reflexión terrestre de la señal de onda celeste. La superficie de la zona de reflexión no debe tener ningún cambio en su elevación mayor del 10% de la altura de la antena en cualquier dirección. La zona de reflexión en los sitios fijos, debe despejarse de todos los árboles y arbustos, manteniéndose un terreno bajo, cubierto de césped o de vegetación similar para el control de corrosión.

4.2.3.2.4 Obstáculos. En la dirección de propagación, cualquier obstrucción sustancial (como formaciones terrestres, estructuras artificiales y árboles) debe ser subtendida un ángulo menor que la mitad del ángulo entre la horizontal y el punto de 3 dB del ángulo de elevación requerido.

4.2.3.2.5 Requerimientos de área terrestre. El área requerida para un sitio de HF depende del tamaño y número de antenas, la separación entre antenas para

evitar el acoplamiento mutuo y el área requerida libre de obstáculos para la reflexión terrestre. Además de los planes iniciales conocidos, debe tenerse en cuenta el espacio necesario para una futura expansión del campo de antena. Los terrenos pueden variar desde 4.000 m² para un sitio pequeño, hasta 60.000 m² para sitios medianos, determinados por el tipo de antena y potencia utilizadas para evitar problemas de interferencia en estaciones vecinas. Los requerimientos de área terrestre son determinados por el diseñador del sistema, basándose principalmente en el esquema del campo de antena. Las características geográficas de la ubicación de cada estación de la red y las coordenadas geográficas aproximadas son:

- Popayán: la cabecera municipal se encuentra localizada a 02° 26' 39" de latitud norte y a 76° 37' 17" de longitud oeste. La altura al nivel del mar es de 1.738 m. Esta ubicada entre las cordilleras central y occidental, posee áreas planas y onduladas. La región es bañada por diez ríos y corrientes menores; posee los pisos térmicos templado, frío y bioclimático páramo.
- Rosas: la cabecera municipal se encuentra localizada a 02° 15' 47" de latitud norte y a 76° 44' 40" de longitud oeste. La altura al nivel del mar es de 1.737 m. El oriente de este sector es montañoso, con la presencia de varios cerros importantes; en el suroeste existen zonas planas. La región es bañada por tres ríos y corrientes menores; posee los pisos térmicos templado y frío.
- Miranda: la cabecera municipal se encuentra localizada a 03° 15' 12" de latitud norte y a 76° 13' 50" de longitud oeste. La altura al nivel del mar es de 1.120 m. La región posee dos áreas orográficas, una plana o ligeramente ondulada al occidente y la otra montañosa al oriente; hacia el flanco occidental de la cordillera occidental presenta alturas de hasta 4.000 m. Es bañada por tres ríos y corrientes menores; posee los pisos térmicos cálido, templado, frío y bioclimático páramo.
- Guapi: la cabecera municipal se encuentra localizada a 02° 33' 23" de latitud norte y a 77° 51' 50" de longitud oeste. La altura al nivel del mar es de 50 m. Es un territorio generalmente plano, siendo parte de la llanura del pacífico. Al oeste se encuentra la faja montañosa del flanco occidental de la cordillera occidental. Es bañada por ríos caudalosos, corrientes menores y el Océano Pacífico; en toda su extensión posee los pisos térmicos cálido, templado y frío.

4.2.3.3 Análisis de ruido y pérdidas de propagación en el sistema. En HF las mayores fuentes de ruido de RF son galáctica, atmosférica y artificial. Otra fuente de ruido es la interferencia con otras estaciones, puesto que los transmisores de radio localizados dentro de varios kilómetros de una estación receptora pueden crear interferencia seria debido a los armónicos o al funcionamiento cocanal. Otra fuente de ruido es el térmico, puesto que afecta el correcto desempeño de los

equipos del sistema debido al calentamiento durante el funcionamiento, pero es despreciable junto al ruido atmosférico.

Los estudios del campo eléctrico en los sitios de recepción son necesarios para evaluar el nivel y el número de señales no deseadas. Esto permite establecer el nivel de ruido del ambiente y localizar las fuentes de interferencia de RF.

Una parte considerable del Departamento del Cauca, especialmente la Costa Pacífica, se caracteriza por ser altamente lluviosa, acompañada de tormentas eléctricas frecuentes. Esto incrementa el nivel de ruido atmosférico.

Para realizar las medidas de ruido atmosférico puede utilizarse el equipo MG-4D de Gisco (medidor S), el cual es un gaussímetro de efecto Hall. Este instrumento portátil permite realizar mediciones del ambiente de ruido en un lugar específico.

Para realizar el análisis de ruido y pérdidas de propagación en el sistema, se recomienda utilizar el documento: Fundamentos de Radiopropagación vía Troposfera y vía Ionosfera, desarrollado por el ingeniero Harold A. Romo R. docente de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca, perteneciente al Departamento de Transmisión.

4.2.3.4 Constantes terrestres. La resistividad y conductividad terrestre junto con la constante dieléctrica relativa del sitio de HF, deben ser consideradas durante la selección del lugar. Una buena conductividad terrestre aumenta el rango de propagación de la onda terrestre y reduce el ángulo de elevación de las señales de onda celeste, aumentando su rango. Para realizar las mediciones de las constantes terrestres puede emplearse el EM39S de Geonics, el cual permite realizar las respectivas mediciones en un lugar específico.

4.2.3.5 Requerimientos generales del sitio. Además de los factores técnicos, deben considerarse otros aspectos importantes de naturaleza general al seleccionar los sitios de HF, como lo son la disponibilidad, la conveniencia, la accesibilidad y la seguridad.

4.2.3.5.1 Disponibilidad. El terreno que cumple con los criterios de llanura de un sitio de HF es generalmente el de construcción o el de agricultura. Este tipo de terreno es altamente costoso. De hecho la adquisición del terreno puede ser el único gasto considerable en el proyecto. Por consiguiente, la selección del sitio siempre debe considerar la utilización de medios existentes. Para reducir los costos debe utilizarse o extenderse un sitio de HF existente, así como también la utilización de terrenos disponibles del gobierno.

4.2.3.5.2 Conveniencia. La conveniencia general de un sitio potencial es dependiente de la magnitud de la construcción requerida para el desarrollo, implementación y mantenimiento de los medios. La existencia y capacidad de utilidades cercanas como potencia eléctrica, agua, gases y la disposición del

alcantarillado son factores importantes en la selección del sitio. Debe obtenerse y considerar la información relacionada a las condiciones geológicas como suelo, desagüe, viento, condiciones climatológicas y la actividad sísmica.

4.2.3.5.3 Accesibilidad. El acceso a los sitios de HF debe ser soportado por la existencia de caminos adyacentes y carreteras que llevan al sitio. Las condiciones como pendientes, curvas, espacios libres laterales y de cabecera, emergimientos, vías no apropiadas, limitaciones de peso en los puentes y alcantarillas deben permitir el transporte del equipo durante la instalación así como durante las operaciones de soporte y mantenimiento después de la instalación.

4.2.3.5.4 Seguridad. La selección del sitio debe considerar los cercos, área de alumbrado, guardia, sistemas de alarma, proximidad a otros medios, ataques y defensa de la estación. Las partes transportables de la radio deben ser ubicadas de tal forma que permitan tomar ventajas tácticas de obstáculos del terreno, observación y zonas de tolerancia. En áreas bajo amenaza puede ser necesario combinar los sitios del transmisor y el receptor para reducir la vulnerabilidad y para concentrar fuerzas defensivas.

4.2.3.6 Procedimientos para el estudio del sitio. El estudio del sitio permite determinar la conveniencia técnica y general del terreno para ubicar el transmisor y receptor de HF. Cada estudio tendrá requerimientos únicos para el número y tamaño de transmisores, receptores, terreno y la topografía de las antenas.

4.2.3.7 Planes de construcción. No existe ninguna configuración estándar para el esquema del sitio de radio HF. Esto se debe a las amplias variaciones en la composición de las estaciones de radio. Cuando se desarrolla un sistema de este tipo, de tamaño fijo pequeño o mediano, la selección de edificios, terreno y la planta física relacionada, se limita a la modificación de los medios existentes.

4.2.3.8 Sistema de antena.

4.2.3.8.1 Esquema de antena. Uno de los factores más importantes en el funcionamiento exitoso de las comunicaciones de radio HF es el posicionamiento correcto de las antenas para proporcionar el máximo rendimiento. Un esquema de antena de HF requiere el equilibrio entre escoger buenos sitios, tomar ventajas de las características naturales que el terreno ofrece, la separación de las fuentes de ruido y tener en cuenta los requerimientos para soportar la logística y la accesibilidad. El esquema de las antenas dentro de un sitio seleccionado involucra tres aspectos: los requisitos que relacionan el área de la zona de reflexión, los despejes de separación mutua y el esquema físico de los medios relacionados.

4.2.3.8.2 Características de la antena. Los factores que determinan la antena más apropiada para una aplicación particular son:

- Rango de frecuencia

- Ganancia
- Directividad, ángulo de elevación, patrón de radiación vertical y horizontal
- Potencia radiada total
- Tamaño y complejidad, requerimientos del área terrestre
- Ancho de banda
- Ancho de banda de la antena
- Impedancia de entrada

Los siguientes pasos establecen el procedimiento para la selección de la antena:

- Determinar el rango de frecuencias de operación y la selección del ancho de banda requerido. Si se requiere una antena de banda ancha pero esta no se encuentra disponible, pueden seleccionarse dos o más antenas disponibles de banda angosta, en arreglo complementario.
- Determinar el ángulo de elevación para la distancia del enlace requerido.
- Determinar el área de cobertura requerida: omnidireccional, bidireccional, o punto a punto.
- Determinar por referencia a los párrafos anteriores, la antena que posee las propiedades deseadas y que produce la ganancia más alta.

Por medio de la tabla 18 se determina cual es el mejor rango para las frecuencias de trabajo. En la tabla 19 se observa cual será el número de saltos posibles que sufrirá la señal hasta alcanzar al receptor deseado.

Rango de frecuencia (MHz)	Alcance del enlace (Km)
2-7	0-320
3-8	320-640
4-11	640-1.290
5-18	1.290-2.580
7-28	2.580-9.650

Tabla 18. Frecuencias de propagación.

Número de saltos	Distancia (Km)
1	Menor de 4.000
2	4.000-8.000
3	8.000-12.000

Tabla 19. Angulo de elevación vs distancia.

En la tabla 20 se escoge cual será el ángulo de elevación necesario para la distancia a cubrir en el enlace, teniendo en cuenta la capa F2 tanto en el día como en la noche.

DISTANCIA DEL ENLACE		
Angulo de elevación (Grados)	Región F2 (día) en Km	Región F2 (noche) en Km
0	3.220	4.500
5	2.410	3.703
10	1.930	2.900
15	1.450	2.550
20	1.125	1.770
25	965	1.610
30	725	1.330
35	644	1.125
40	565	965
45	443	805
50	403	685
60	258	443
70	153	290
80	80	145

Tabla 20. Angulo de elevación vs distancia del enlace.

Finalmente en la tabla 21 se determina cual será la antena específica para la aplicación, cumpliendo con los requerimientos básicos del sistema.

Siguiendo el procedimiento para la elección de las antenas, la cobertura máxima de los enlaces no supera los 600 Km, por lo que se toma esta distancia como tope máximo. En la tabla 18 puede observarse que la banda de frecuencias adecuada para la distancia mencionada es de 3 a 8 MHz. En la tabla 19 se establece que el número de saltos posibles para las distancias en los enlaces del sistema, no supera la unidad. Con la tabla 20 se establece el ángulo de elevación, el cual será mayor a 40° durante el día, y mayor a 50° durante la noche, según la capa F2 de la Ionosfera. Finalmente con la distancia del enlace y los ángulos de elevación, según la tabla 21 las antenas recomendables para los enlaces son la dipolo y la V invertida, las cuales requieren un área aproximada de 4.000 m² de despeje para no generar problemas de interferencia a estaciones vecinas, prestando servicio de estaciones fijas.

4.2.3.9 Esquema del sitio. El tamaño físico y el esquema de un medio de HF son dados por el tráfico de comunicaciones que se espera que el sistema maneje. Las antenas de HF simples requieren a menudo espacio de menos de 4.000 m²,

sin embargo una gran antena fija puede requerir unos 60.000 m², con la finalidad de no producir interferencia en estaciones vecinas. Un sistema de transmisión pequeño puede consistir de un solo transmisor que utiliza una antena long periódica rotatable RLP o Yagi para la transmisión en diferentes direcciones. Un sistema de circuito único puede tener un transmisor y un receptor, y puede utilizar la misma antena en modo simplex. Un sistema de tamaño medio puede consistir de varios sistemas de antena fijos que sirven a un número igual de transmisores y receptores en los sitios separados a más de 16 Km. Un sistema grande de HF puede consistir de filas de equipo y mayor espacio para las antenas.

Tipo de antena	Rango (MHz)	BW	Angulo elv/Gdo	Angulo hoz/Gdo	G (dBi)	Area ant (m ²)	Cubrim.	Aplic.
Dipolo	2 - 30	Estrecho	10 - 90	80 - 2	2	4.000	S M	G N
V invertida	2 - 30	Estrecho	40 - 90	Omnidir	2	4.000	S	G N
L invertida	2 - 30	Estrecho	20 - 90	80 - 180	3	4.000	S M	G N
Látigo vehicular	2 - 30	Estrecho	20 - 50	Omnidir	3	Vehicl	M	Mo
Vertical ¼ onda	2 - 30	Estrecho	5 - 40	Omnidir	3 - 5	4.000	M L	G N
Loop	5 - 30	Estrecho	10 - 90	8 - 120	3	4.000	M	G N
Alambre largo	3 - 30	Ancho	10 - 30	10 - 30	4 - 10	12.000	M L	P
Antena V	3 - 30	Ancho	5 - 30	5 - 30	4 - 16	16.000	M L	P
Yagui	7 - 30	Estrecho	10 - 35	30 - 60	7 - 12	4.000	M L	G N
Rómbica	3 - 30	Ancho	10 - 40	5 - 30	5 - 12	12.000	M L	P
Vertical LPA	4 - 30	Ancho	5 - 40	100	6 - 12	16.000	M L	P
Horizontal LPA	2 - 30	Ancho	10 - 45	40 - 75	8 - 16	20.000	M L	P
Rotable LPA	4 - 30	Ancho	5 - 30	6 - 70	8 - 12	4.000	M L	G N P

S: corta distancia (0 a 400 Km)
M: media distancia (400 a 4.000 Km)
L: gran distancia (mayor a 4.000 Km)
G: soporte de servicio tierra -aire
Mo: soporte de servicio móvil
N: soporte de servicio para estación de red fija
P: soporte de servicio punto a punto
LPA: Antena logarítmica periódica

Tabla 21. Características principales en las antenas para HF.

4.2.3.10 Parámetros operacionales del trayecto. El propósito de efectuar el pronóstico de propagación es el estimar la frecuencia óptima a utilizar, y predecir

el funcionamiento del sistema a lo largo del ciclo solar y del año completo. Éstos pronósticos de propagación son empleados por el ingeniero de diseño para seleccionar el equipo apropiado para el enlace.

Para determinar los parámetros operacionales correspondientes para cada trayecto, es recomendable la utilización de los programas de predicción ya mencionados en el capítulo 3.

4.2.3.10.1 Cálculo del enlace HF: Popayán - Miranda.

- **Coordenadas Geográficas.**

LOCALIDAD	LONGITUD	LATITUD
Popayán	02,27 N	76,36 W
Miranda	03,15 N	75,15 W

Tabla 22. Coordenadas geográficas.

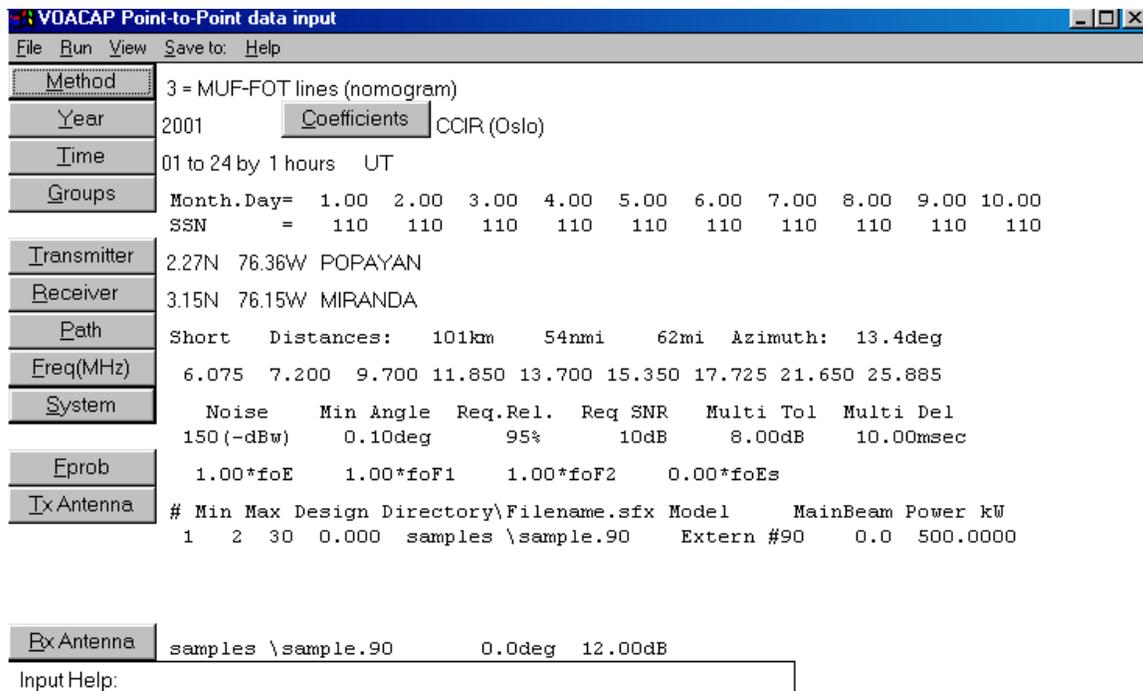


Figura 45. Interface de entrada.

Los procesos de cálculo son realizados con la ayuda del paquete SW ITS-HF del NTIA/ITS, utilizando la herramienta VOACAP. En la figura anterior se observa la interface gráfica de entrada de datos, con los valores correspondientes al enlace a realizar.

- **Distancias y Acimuts.** El cálculo se realiza con la ayuda de la ley de los senos.

Distancia del enlace: 106 Km

Acimut Popayán - Miranda: 13,39°

Acimut Miranda - Popayán: 193,40°

- **Actividad solar.** Actualmente nos encontramos en el ciclo solar 23, año 2001, el cual alcanzó su máximo pico en el año anterior. Consideramos una actividad solar promedio de 110 (manchas solares), de acuerdo a los datos que se obtuvieron de la pagina web: <http://www.astrored.org/usuarios/helio/wolf.html>, para el mes de julio del 2001.
- **Cálculo de la MUF.** Como la distancia es menor a 4.000 Km, solamente se requiere un salto en la capa F2. Los resultados para el mes de Agosto del 2001 son:

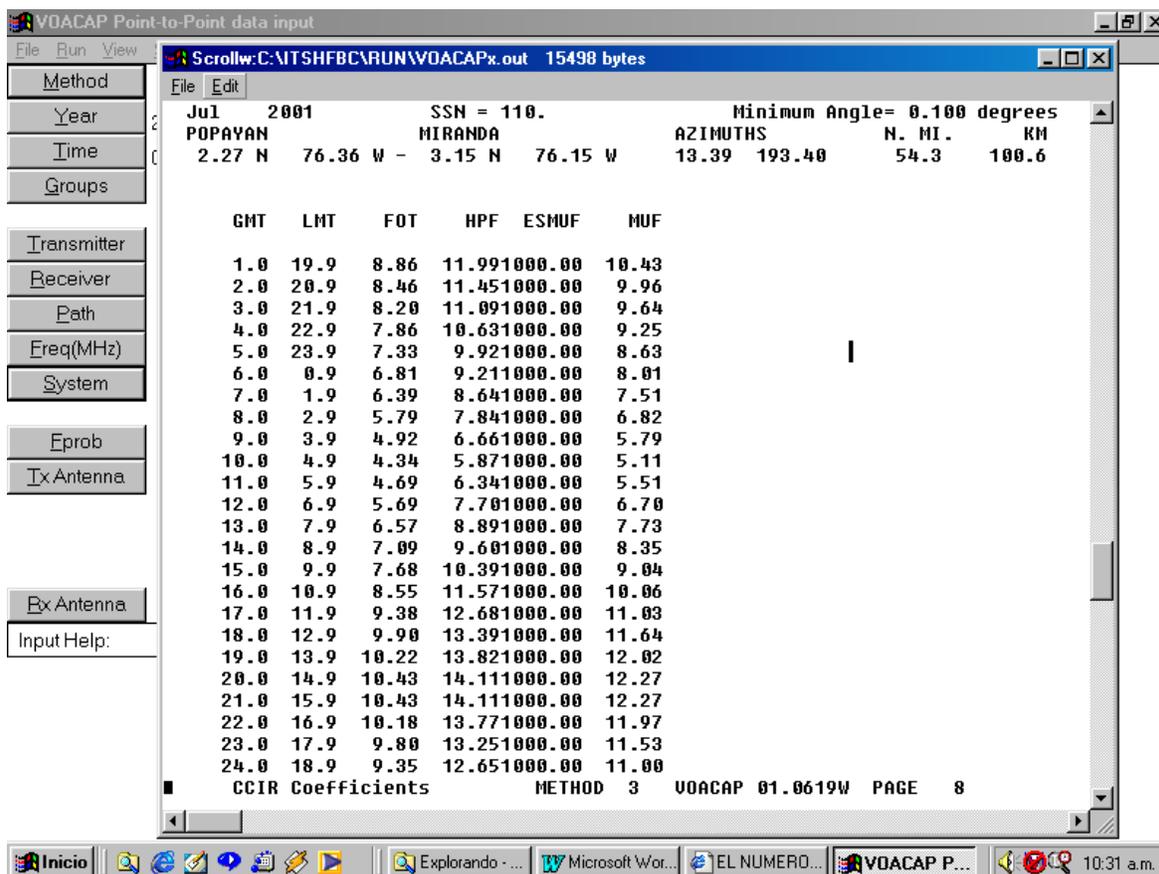


Figura 46. Resultados de las MUFs.

Los valores a utilizar son:

GTM:	Hora universal.
LMT:	Hora en el punto de incidencia.
FOT:	Frecuencia óptima de trabajo.
HPF:	Frecuencia más probable.
MUF:	Máxima frecuencia utilizable.
LUF:	Mínima frecuencia utilizable.

- **Asignación provisional de frecuencias de trabajo.** Para el cálculo del campo Eléctrico mínimo requerido y la potencia radiada aparente mínima, es necesario determinar en forma tentativa las frecuencias de trabajo. Según los resultados de la figura anterior se tiene que entre las 0 -14 horas la FOT es 6,65 MHz y entre las 14 - 0 horas la FOT es 9,36 MHz.
- **Asignación de las bandas de frecuencia de trabajo.** Colombia esta ubicada en la región 2; el Ministerio de Comunicaciones ha elaborado un cuadro de atribución de las bandas de frecuencias para el servicio fijo en la banda HF.

Las bandas de trabajo son:

Banda A. 6.765 a 7.000 KHz, para una FOT de 6,65 MHz entre las 0-14 horas.
Banda B. 9.040 a 9.400 KHz, para una FOT de 9,36 MHz entre las 14 - 0 horas.

- **Cálculo de la mínima intensidad de campo Eléctrico requerido y potencia.** El equipo utilizado en las estaciones de HF trabaja con un módem estándar MIL-STD-188-110, con una modulación 8-PSK alcanzando velocidades entre 75 y 2.400 bps y considerando un BER de 10^{-4} que provee el sistema para una excelente calidad de servicio, lo cual requiere una SNR de 15 dB. El número de manchas solares es de 110; el ruido producido por el hombre es de 150 dBw, según el reporte 258 de la UIT. Se considera un retardo multitrayecto de 10 ms y una antena con una ganancia de 12 dBi y un requerimiento de confiabilidad del 95%. En la siguiente gráfica se tiene que:

MODE:	Modo.
TANGLE:	Angulo de radiación en grados.
DELAY:	Tiempo de retardo en ms.
V HITE:	Altura virtual de reflexión en Km.
MUF day:	Probabilidad de que la frecuencia de operación exceda la MUF.
LOSS:	Pérdidas totales de transmisión en dB, para el modo más confiable.
DBU:	Intensidad de campo esperado en el receptor, medido en $\text{dB}\mu/\text{m}$.
S DBW:	Señal de potencia media disponible en los terminales del receptor, medida en dBw.

N DBW: Valor medio de ruido existente en el sitio de recepción, medida en dBw.
 SNR: Valor medio disponible de la relación señal a ruido en recepción

Con ayuda del SW se obtiene los siguientes resultados:

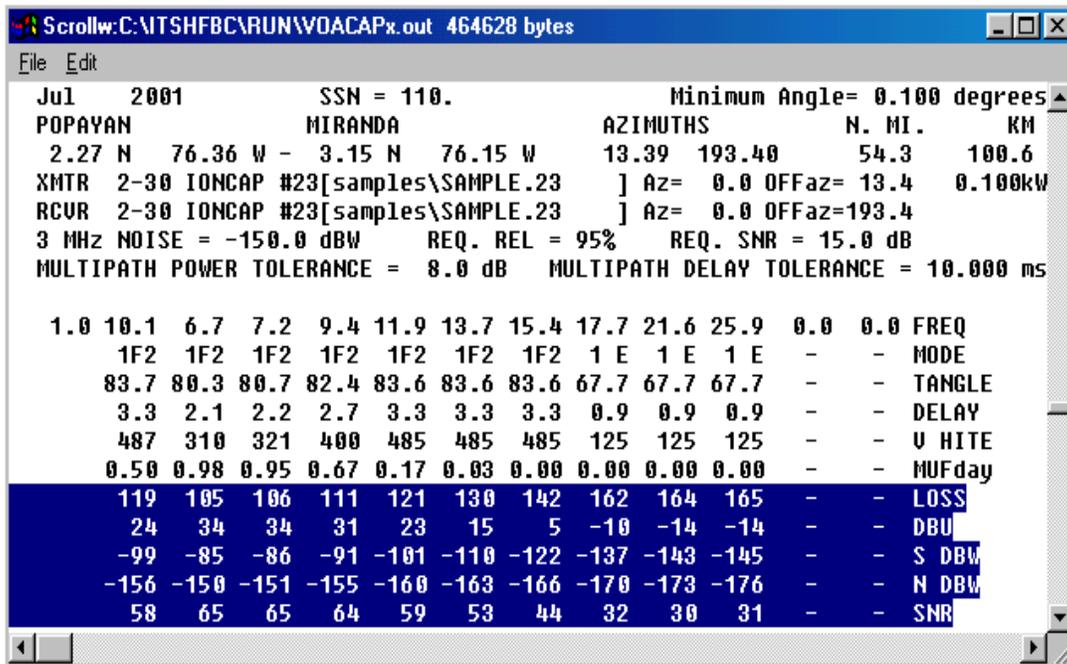


Figura 47. Resultados del campo Eléctrico y potencias de ruido y recepción.

La potencia de la señal en los terminales de la salida de la antena esta dada por la fórmula:

$$S \text{ DBW} = 10 \text{ Log} (p) - L_s$$

Donde P es la potencia en vatios, disponible en los terminales de la antena transmisora, y Ls es la pérdida total del sistema (incluyendo la ganancia de la antena). Del análisis de los resultados se tiene que:

Frecuencia (MHz)	N DBW	LOSS	TANGLE	SNR	S DBW	Potencia (Wattios)
6.65	-150	105	80.3	65	-85	100
9.36	-155	111	82.4	64	-91	100

Tabla 23. Análisis de resultados.

Los 100 vatios de potencia del transmisor, garantizan una eficiencia del 95%.

Para los circuitos Popayán - Rosas, Popayán - Guapi y de venida, el procedimiento es similar al anterior.

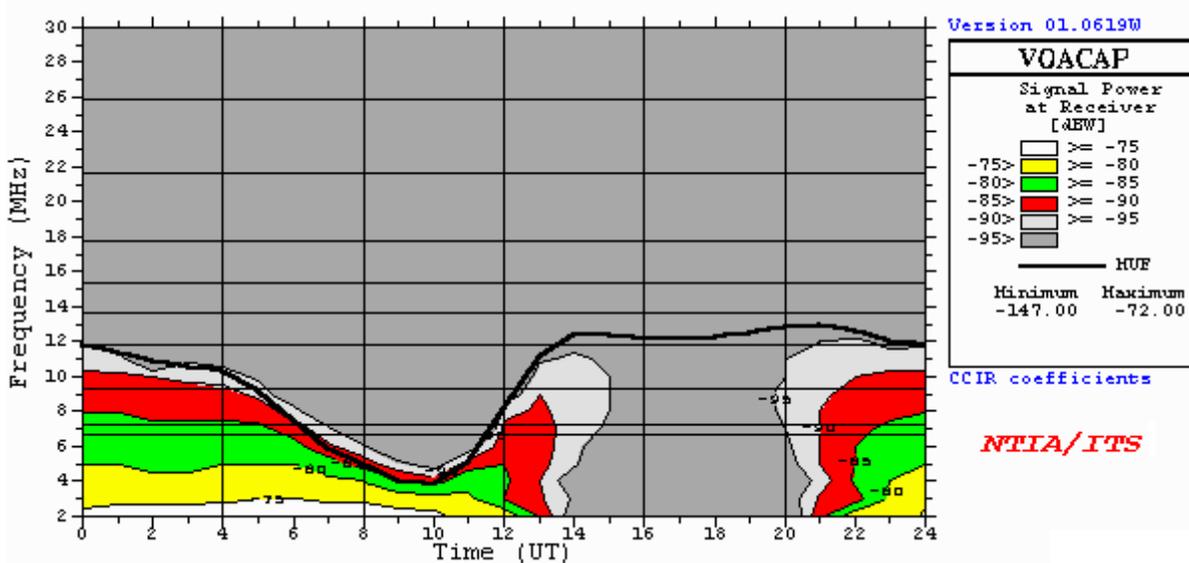


Figura 48. Gráfica generada por VOACAP

En la anterior figura se observa los niveles correspondientes al S DBW para diferentes frecuencias y horas del día.

4.2.3.11 Especificación de la red E-mail HF. El sistema de HF E-mail, debe proporcionar el servicio de correo electrónico de forma rápida y segura a cuatro puntos potenciales del departamento del Cauca, incluyendo la posibilidad de una unidad transportable, o la adición de nuevos usuarios, lo cual no debe generar incompatibilidades con la utilización de diversos estándares. Además, operar como una red LAN inalámbrica, la cual debe aprovechar toda la potencialidad de las nuevas tecnologías de automatización (ALE).

Dentro de la capacidad de servicios, no solo se puede incluir el de transmisión de texto, si no también la posibilidad de manejar la transferencia de archivos, chat, personalización del servicio, entrega de mensajes multimedia y acceso a e-mail remoto. Si el tráfico de correo es pesado, el sistema tiene la posibilidad de utilizar e-mail dedicado. El empleo de las Gateway habilita la posibilidad de interconexión a redes LAN TCP/IP de forma inalámbrica, permitiendo también la conexión al Internet. Las Gateway también permiten la conexión a las redes públicas conmutadas por medio de las PBX automáticas (PABX-Private Automatic Branch eXchange), la conexión a INMARSAT y con puntos móviles como transportes terrestres, marítimos y aéreos.

La interconexión de los cuatro puntos se realiza en una configuración en estrella, de los cuales un punto es la estación servidor y los tres restantes son las estaciones cliente. En la figura 49 se observa el posicionamiento de las estaciones. La tecnología ALE, tratada en los capítulos anteriores, garantiza que el servicio de e-mail trabaje de forma completamente automática, no necesitando la intervención de un operador, ya que realiza todas las operaciones necesarias de gestión. El LQA permite un control continuo del estado del canal en los enlaces, soportando la transferencia de datos y el manejo de un enrutamiento automático en el mejor canal. En cuanto a la velocidad de transferencia de datos, el LQA permite ajustar el módem a una velocidad adecuada dependiendo de la calidad de los enlaces. Para la corrección de errores, el sistema utiliza codificación FEC, ARQ; el entrelazado de datos y el empleo de filtros proporcionan el control de la dispersión de tiempo, frecuencia y reduce los efectos de la interferencia cocanal. Así, el sistema puede operar con alto desvanecimiento y grandes retardos de multitrayecto.

En los sistemas de transmisión, la seguridad de los datos al igual que la corrección de errores juega un papel muy importante, puesto que garantiza la confiabilidad e integridad del sistema. Para ello, en el diseño del sistema debe tenerse en cuenta técnicas de seguridad apropiadas, como lo es la encriptación.

El sistema maneja los estándares gubernamentales y comerciales en cada uno de sus niveles de operación, como lo son el protocolo del controlador de ALE MIL-STD-188-141B, el protocolo para el módem HF MIL-STD-188-110A, el protocolo de enlace de datos HF MIL-STD-188-141B Apéndice C (compatible con el estándar federal FED-STD-1052), los protocolos para Internet TCP/IP, el servicio de mensajería en e-mail SNMP/POP3 y la versión de SNMP para los sistemas de HF HNMP.

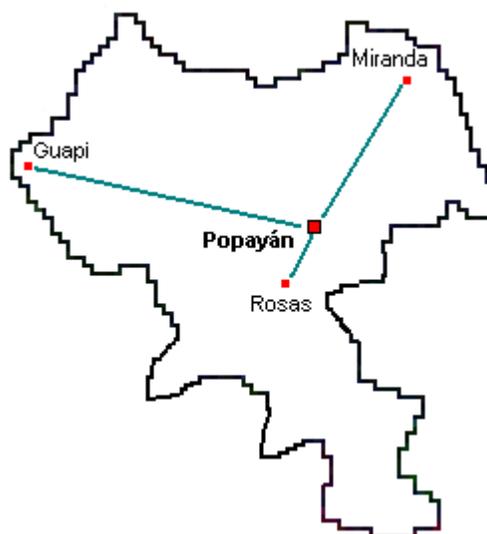


Figura 49. Ubicación geográfica de las estaciones.

El sistema también tiene la posibilidad de comunicación con diferentes sistemas operativos incluyendo plataformas Unix y Windows, y puede correr cualquier tipo de SW de correo disponible en la Web. Presenta una interfaz amigable que es posible de personalizar, y tiene compatibilidad con módems y equipos HF anteriores. Los requerimientos de los PC son los básicos de un equipo actual, pero los computadores servidores necesitan mayores capacidades.

4.2.3.11.1 Arquitectura del sistema. El nuevo sistema exige la aplicación de los diferentes estándares que garanticen la funcionalidad del servicio de correo electrónico en circuitos de radio HF. Teniendo en cuenta el sistema internacional de referencia ISO, la torre aplicada al sistema se muestra en la figura 50.

A nivel de aplicación, el sistema debe correr el SW de e-mail cliente de forma estándar, compatible con paquetes de correo electrónico comunes, que brindan el servicio de correo y la transferencia de archivos. El protocolo de correo simple SMTP, se utiliza para la transferencia de correo electrónico en Internet. A nivel de sesión, la utilización de SW estándar de sesión en el servidor, garantiza la posibilidad de utilizar aplicaciones de correo especializadas de libre distribución. La utilización de TCP/IP en los niveles de transporte y de red, permite la conexión directa con redes múltiples, proporcionando métodos de enrutamiento y control de congestión. A nivel de enlace se debe proporcionar la transferencia de datos libres de errores, por medio del estándar MIL-STD-188-141B Apéndice C, que además proporciona la funcionalidad de ALE. En la capa física, el módem debe permitir una tasa de transferencia de datos adecuada a las necesidades del usuario, compatible con el estándar HF MIL-STD-188-110A.

Aplicación	SW Cliente
Presentación	SMTP
Sesión	SW Servidor
Transporte	TCP
Red	IP
Enlace	MIL-STD-188-41B Apéndice C
Físico	Módem MIL-STD-188-110A

Figura 50. Arquitectura del sistema E-mail HF.

4.2.3.11.2 Topología del sistema. Teniendo en cuenta los requerimientos anteriormente establecidos para el sistema y la ubicación de los puntos que se deben interconectar, la topología se muestra en la figura 51. La red HF tiene la capacidad de interconexión con otras redes y sistemas de telecomunicaciones, utilizando las pasarelas adecuadas y los protocolos estándar mencionados,

logrando el enlace de puntos fijos y móviles. La utilización de una PABX permite la interconexión con las redes publicas conmutadas, de tal forma que se tiene acceso a usuarios telefónicos y a las redes LAN basadas en el sistema.

En la figura 52 se observa la configuración completa del sistema, incluyendo los equipos principales. Se observa también la utilización de equipos VHF, para la interconexión a redes de este tipo. Muestra también como la PABX interconecta el sistema a las redes telefónicas, a redes LAN y a otros sistemas de transmisión como los satélites.

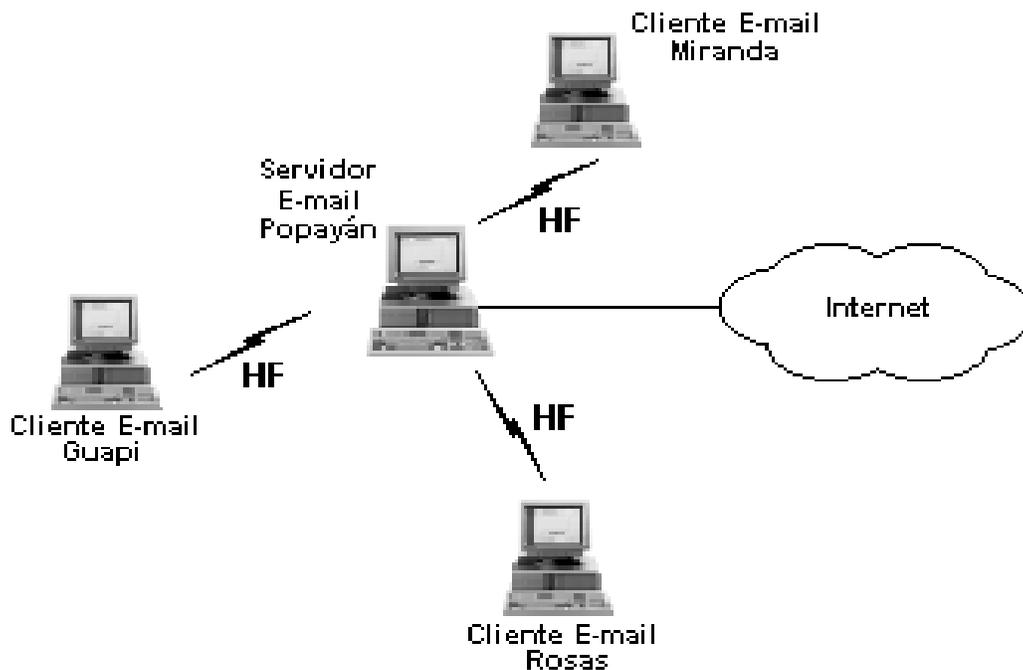


Figura 51. Topología de red en estrella para el sistema de E-mail HF

El servidor de e-mail se encuentra localizado en la ciudad de Popayán, mientras que en Miranda, Guapi y Rosas se encuentran ubicados los clientes del servicio. Es de importancia notar que cada una de las estaciones tiene la posibilidad de interconectarse a redes LAN.

4.2.3.11.3 Componentes HW y SW.

Una estación HF para la comunicación de datos requiere de un equipo transmisor, receptor, antena, módem, PC, cables de conexión y SW; los cuales son seleccionados dependiendo de las necesidades y requerimientos del sistema. Existe una gran cantidad de fabricantes quienes han desarrollado una infinidad de herramientas SW y HW capaces de satisfacer las necesidades actuales de estos sistemas y que en su mayoría cumplen con los estándares y recomendaciones

internacionales. Para la selección del equipo es necesario tener en cuenta los requerimientos básicos de funcionamiento.

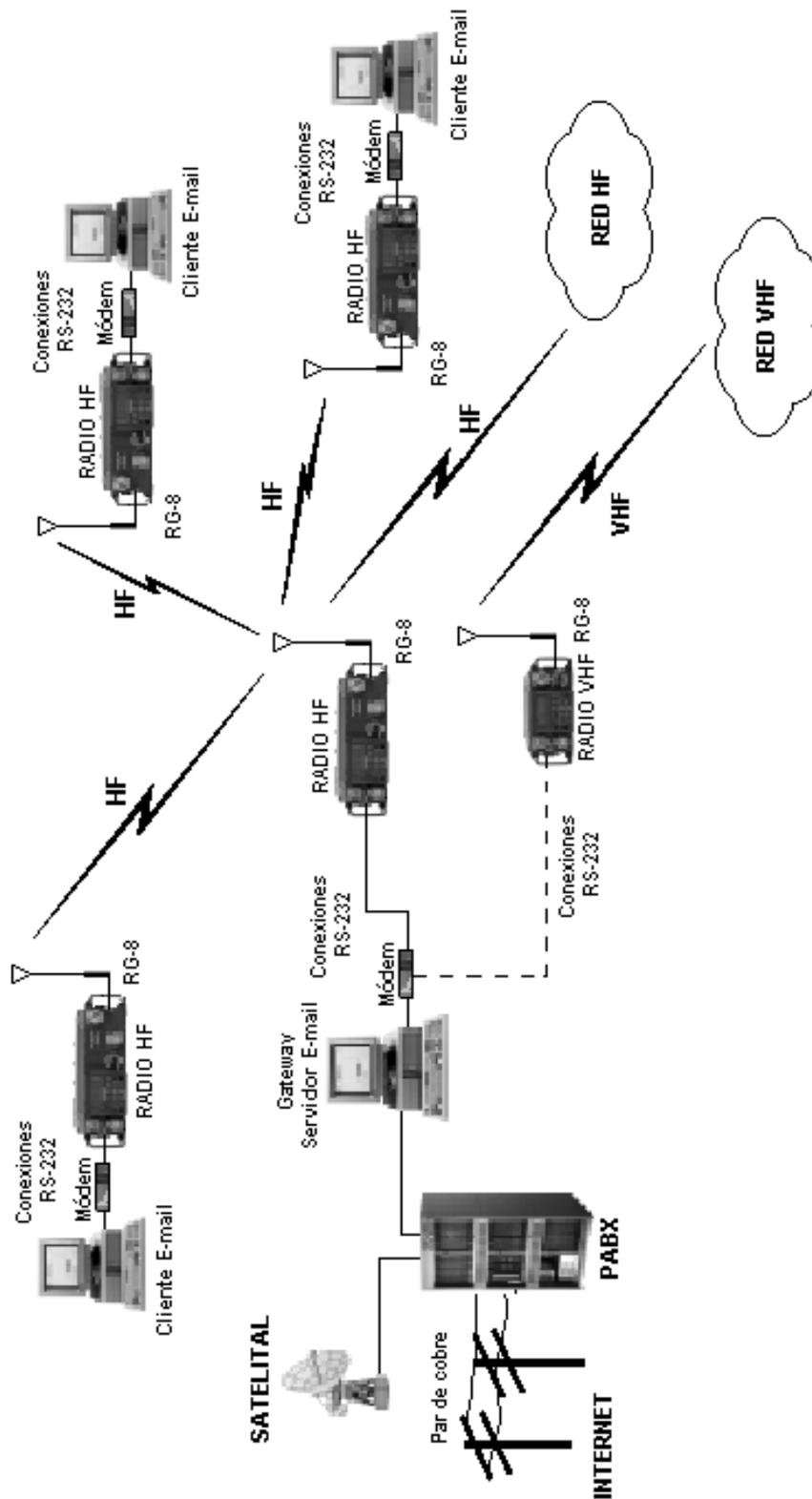


Figura 52. Configuración total del sistema E-mail HF

4.2.3.11.3.1 Componentes HW.

- **Equipo de radio.** Conformado por los sistemas transmisor, receptor, antena, interfaces, líneas de transmisión.
- **Computador.** La configuración del computador puede presentar variaciones, pero debe cumplir con unos requerimientos básicos. Dependiendo del fabricante de los equipos de transmisión y los dispositivos ALE, los requerimientos mínimos son: el equipo cliente PC debe tener como mínimo un procesador Pentium de 160 MHz con 32 MB de RAM, unidades floppy de 1,44 MB, disco duro de 2 GB de capacidad, dos puertos de comunicaciones COM 1 y 2 y un puerto paralelo LPT1. Además debe poseer slots adecuados para la conexión de una tarjeta de red. El equipo servidor debe poseer un procesador Pentium de 400 MHz, con 128 MB, disco duro de 2 a 4 GB de capacidad y las demás prestaciones que el anterior equipo.
- **Gateway de SMTP.** El servidor de e-mail puede proporcionar a una estación servidor en la LAN, la conectividad de e-mail HF utilizando un nombre de dominio de servidor de correo existente (previamente instalado) que mantiene la conexión de HF. El nombre de dominio del servidor de correo determina si el mensaje es para la entrega en la LAN o para la transmisión a un Gateway en canales de alta frecuencia. La recepción, transmisión y enrutamiento de mensajes son muy similares al funcionamiento de una red de área extensa.
- **Módems de datos HF.** Los módems utilizados para el sistema E-mail HF, deben cumplir con los requerimientos de modulación FSK, PSK, QAM, formas de onda del estándar militar MIL-STD-188-110A, y con las técnicas de automatización de los sistemas 3G-HF. Deben manejar sistemas de codificación y redundancia, encriptación de mensajes, corrección de errores, transmisión de datos sincrónica o asincrónica, tasas de datos adecuadas, las técnicas DSP y toda la funcionalidad de ALE. En la actualidad existen muchas versiones en módems de datos para HF; los más populares son de forma externa, aun que recientemente se ha desarrollado versiones de módems incorporados en el equipo de radio, así como tarjetas empotrables en un PC.
- **Equipo criptográfico.** Es el dispositivo que proporciona la seguridad en la comunicación. Presenta operación en modo sincrónico y asincrónico para HF, proporcionando alta disponibilidad. Este dispositivo se conecta al módem y al conversor de nivel.
- **Conversor de nivel.** Es utilizado para mantener los niveles correctos de señal entre el puerto RS-232 de las tarjetas de control sincrónico de los servidores y el puerto KG-84C de MIL-STD-188-114.

- **Tarjetas varias.** Dependiendo de la aplicación a desarrollar, es necesario la utilización de tarjetas de control de Ethernet y tarjetas de control sincrónico.

4.2.3.11.3.2 Componentes SW. El sistema es independiente de la plataforma de soporte. Pero para la elección del equipo, debe especificarse cual será el sistema operativo a utilizar. En general los fabricantes trabajan con plataformas Windows y Unix, siendo la primera la más utilizada.

El Sistema Operativo de Disco (MS-DOS), es ampliamente utilizado, actuando como una interfaz entre el HW del computador, los programas de aplicación y el usuario. Microsoft Windows ofrece una Interfaz de Usuario Gráfica (GUI-Graphical User Interface) para el SW de aplicación. Esto permite el empleo de iconos y menús. El SW controlador de Ethernet LAN, activa y controla la tarjeta de red del computador, conectando el SW de aplicación del PC Cliente y los componentes de la red.

El SW del PC servidor es un sistema operativo de red que proporciona el control global y la gestión de red; opera con el protocolo TCP/IP en una variedad de interfaces como Ethernet y puertos seriales; realiza la gestión de tráfico TCP/IP y permite la transferencia de correo electrónico entre estaciones. En la figura 53 se observa una interfaz gráfica amigable común en los sistemas de E-mail HF, en PCs clientes y servidores.

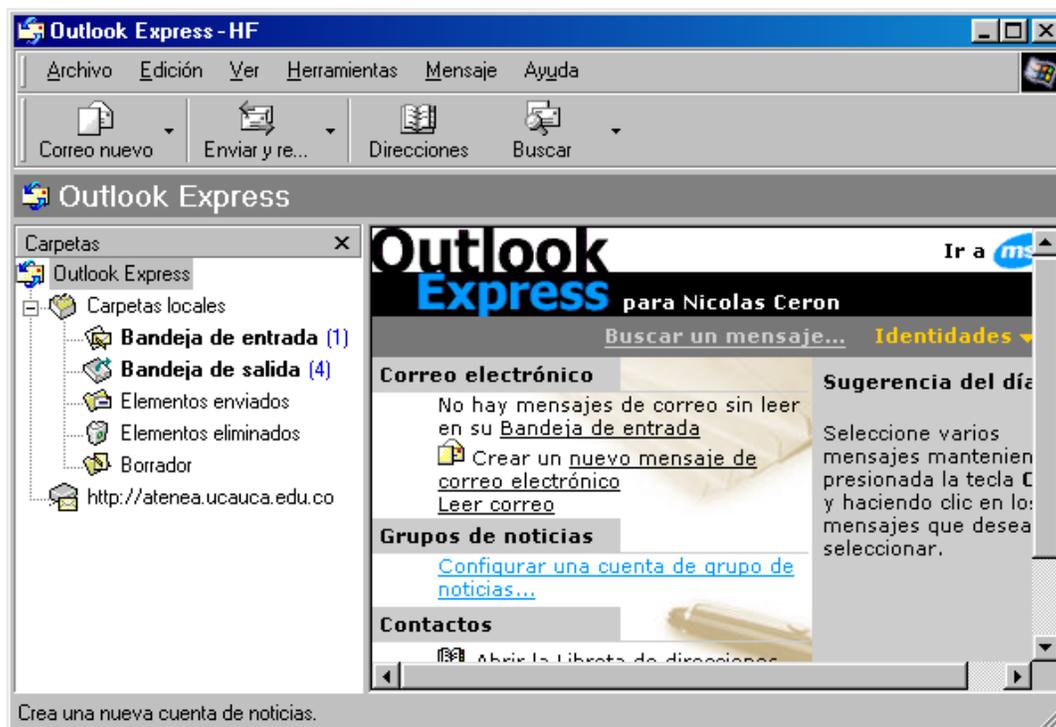


Figura 53. Interfaz gráfica de Outlook Express para E-mail HF.

Para el SW del PC cliente, es necesario la utilización de dos herramientas. La primera herramienta permite la conexión de red TCP/IP y la ejecución de aplicaciones de Windows en una red TCP/IP. Para la aplicación de e-mail, se necesita una segunda herramienta, la cual es utilizada para crear, modificar, enviar y recibir mensajes de e-mail. Además proporciona la capacidad para adjuntar archivos de texto y binarios a los mensajes, permitiendo la transferencia de texto e imagen en la red.

Para el esquema de direccionamiento, a cada estación le es asignada una dirección IP Clase C única. Los primeros 24 bits representan la parte de la dirección de red y los 8 bits finales representan la parte de la dirección del host. La dirección IP se asigna al servidor y la subdirección se asigna al PC del cliente en la LAN.

4.2.3.11.3.3 Equipos y fabricantes. En la actualidad existen fabricantes como Harris, Codan, Barrett, HAL, Kantronics, Datron, Motorola, etc. Los cuales han desarrollado equipos teniendo en cuenta las necesidades actuales y los diferentes tipos de modulación utilizados, buscando siempre una automatización de los sistemas y una mejora de la calidad del servicio a prestar.

Los modelos de transceptores SSB de HF más comerciales son:

- Kenwood TS-870 AT: Equipo desarrollado por Kenwood.
- ICOM 746, IC-706MKII, IC-M710: Equipos desarrollados por Icom América, fabricante de sistemas de telecomunicaciones.
- Skanti 7000: Equipo desarrollado por Skanti Products.
- Yaesu FT-817: Equipos desarrollados por Yaesu U.K, fabricante de sistemas de telecomunicaciones.
- RF-5800H, PRC-138B, RF-5800V, PRC-117F, RF-5022E, RF-5022, PRC-138, RF-1145, RF-7210: Radios desarrollados por Harris.
- Codan 8528, 8528, 8528, 9323, 9360, 9390.
- RT7110-12, RT7110-28: Tranceptores con un módem MIL-STD-110A integrado, diseñados por Datron.

Los modelos de módems más comunes son:

- SCS-PTC II: Módem fabricado por SCS (SPECIAL COMMUNICATIONS SYSTEMS), diseñado para trabajar con formas de onda PACTOR I y PACTOR II.
- Módem HAL DSP-4100/2K: Desarrollado por HALL Communications, el cual maneja formas de onda CLOVER II/2000.
- KAM Plus/98: Desarrollado por Kantronics, maneja formas de onda G-TOR y PACTOR.
- Módem P38: Desarrollado por HALL Communications, es un módem multimodo, con formas de onda RTTY, AMTOR, PACTOR y CLOVER-II.

- Módems RF-5710, RF-5720, RF-5285MD(E), RF-5111OMD(E): Desarrollados por Harris, son módems seriales de alto rendimiento, compatibles con el estándar MIL-STD-188-110A.
- Codan 9300 ALE controller, 9002.

4.2.3.11.3.4 Selección del fabricante. Después del análisis realizado a los diferentes equipos para sistemas de HF digital, el fabricante de equipos de radio y módems HF Harris, cumple con todos los requerimientos de normas y protocolos para los sistemas de 3G-HF, además ofrece una gran variedad de equipos configurados para diferentes servicios. Esta compañía esta trabajando con los estándares militares y federales, desarrollando equipos que implementan los protocolos. Las pruebas y simulaciones realizadas en sus equipos garantizan una alta funcionalidad y compatibilidad con la red mundial de información.

Harris ha trabajado por más de 30 años liderando el desarrollo en los sistemas de transmisión de datos libre de errores, logrando equipos que se ajustan muy bien a las necesidades del usuario. Sus productos inalámbricos integran las tecnologías de transmisión de datos de HF con el SW de e-mail comercial, proporcionando una fiable y rápida transferencia de información mediante interfaces de PCs comunes. El sistema puede trabajar en diferentes medios como oficinas, autos, aviones, barcos, sitios remotos, etc.

Harris ha desarrollado un Gateway Inalámbrico (WG-Wireless Gateway) y un Terminal de Mensajes Inalámbrico (WMT-Wireless Message Terminal) para la transferencia transparente de mensajes por medio de radios HF, utilizando los protocolos estándar federales y militares, permitiendo expandir la infraestructura de comunicaciones existente. El WG, RF-6750W y WMT RF-6710W trabajan en tándem para mejorar la eficiencia de los sistemas HF. El SW para estos dispositivos corre en una plataforma estándar de PC, enviando y recibiendo mensajes de e-mail y archivos en medios inalámbricos y alámbricos.

- **Gateway Inalámbrico.** El WG RF-6750W permite una conexión directa con una LAN Ethernet TCP/IP y opera como servidor de correo vía radio. Provee transmisión de correo electrónico de forma confiable en múltiples medios como radio HF/ VHF/UHF, LANs, redes telefónicas, Internet, enlaces terrestres, microondas, satélite, etc. Para enlaces HF utiliza los módems bajo el estándar MIL-STD-188-110A y los controladores ALE bajo el estándar MIL-STD-188-141B (los dos internos y externos a la radio), para proveer una automatización total en la transmisión de e-mail. Realiza la retransmisión automática para solucionar problemas de bloqueo de canal. Para la gestión de mensajes, estos se reenvían automáticamente en trayectos o medios alternos. El paquete completo del WG se observa en la figura 54. El envío de mensajes se realiza seleccionando en forma adaptable el mejor canal disponible. El SW utilizado para el control del dispositivo se ejecuta bajo Microsoft Windows NT Server y

Microsoft Exchange Server 5.5. El SW de control es incluido por el fabricante, junto con la tarjeta de comunicación sincrónica.



Figura 54. Gateway RF-6750.

Para soportar la funcionalidad del WG, es necesario la utilización de un computador con los siguientes requerimientos:

- Procesador Pentium de 450 MHz.
 - Disco duro de mínimo 4 GB.
 - Memoria RAM 128 MB.
 - Puerto asincrónico serial.
 - Adaptador Ethernet.
 - Ranuras ISA, PCI o PCMCIA.
-
- **Terminal de Mensajes Inalámbrico.** El WMT RF-6710W permite el envío de mensajes multimedia y de e-mail de forma transparente en un circuito HF/VHF/UHF. Posee un subconjunto de capacidades del WG RF-6750W. Posee capacidades multicanal pero no funciones automatizadas de LAN, siendo esta la diferencia básica entre el WG y el WMT. El paquete completo del WMT se observa en la figura 55. El envío de mensajes y datos se realiza de forma adaptable, permitiendo el envío a un punto determinado por HF y al destino final por otro medio de comunicación. El SW para el servicio de correo más utilizado es el Microsoft Outlook, el cual se puede ejecutar bajo Windows 98 o en una estación de trabajo de Windows NT. El SW de instalación del dispositivo es entregado por el fabricante en formato de disco compacto, incluyendo además versiones de e-mail comunes y la tarjeta de interfaz sincrónica. Este equipo al igual que el WG soporta encriptación de datos.



Figura 55. Gateway RF-6710W.

Para el soporte de este dispositivo es necesario la utilización de un computador con los siguientes requerimientos mínimos:

- Procesador Pentium de 300 MHz.
 - Disco duro de mínimo 2 GB.
 - Memoria RAM de 96 MB.
 - Puerto serial asincrónico.
 - Ranuras ISA, PCMCIA.
- **Radio HF.** El radio de Harris compatible con los anteriores equipos es el RF-5800H-MP. Este dispositivo es un radio avanzado HF/VHF, totalmente integrado. En HF trabaja con el modo SSB y en VHF con FM. Combinado con las funcionalidades de adaptatividad, permite la operación en canales con altos niveles de ruido. El diagrama del radio RF-5800H-MP se observa en la siguiente figura:



Figura 56. Radio RF-5800H-MP.

Las características técnicas generales del RF-5800H-MP son:

- Rango de frecuencia de 1,6 a 59,999 MHz.
- Estabilidad de frecuencia de $\pm 1 \times 10^{-6}$ Hz.
- Modo de emisión SSB (superior o inferior), CW, FM.
- Impedancia de entrada 50 ohms, desbalanceada.
- Impedancia de salida 50 ohms, desbalanceada.
- Alimentación 26 Vdc.
- Interfaz de datos RS-232 sincrónica o asincrónica.

Las características técnicas del modulo receptor son:

- Sensitividad en SSB: -113 dBm ($0.5 \mu\text{V}$) mínimo para un SINAD de 10 dB.
- Salida de audio 15 mW a 1000 ohms.
- AGC con modo de selección dependiente o automática.
- Distorsión de Intermodulación -80 dB o más para dos señales de -30 dBm separadas por 110 KHz o más.

Las características técnicas del módulo transmisor son:

- Potencia de salida 10 w a 1 Kw.
 - Entrada de audio 1.5 mV a 150 ohms o 0 dBm a 600 ohms.
 - Capacidad de sintonización de antena látigo de 3 m OE-505 (1,6 a 60 MHz).
 - Capacidad de sintonización de antena NVI RF-1936P (3,5 a 10 MHz).
 - Capacidad de sintonización de antena dipolo RF-1940-BNC (3 a 60 MHz).
- **Módem HF.** El módem RF-5710 es un dispositivo de alto rendimiento diseñado para la comunicación de datos a altas velocidades, compatible con el estándar MIL-STD-188-110A. Este módem maneja una velocidad de 2.400 bps con una modulación 8PSK, con una señal de tono de 1.800 Hz. Posee un ecualizador que elimina los efectos de la interferencia intersímbolo debido a la dispersión multitrayecto. El desempeño es mejorado por medio de la utilización de una codificación convolucional FEC, entrelazado y decodificación Viterbi. A 4.800 bps proporciona comunicación half-duplex sin codificación. Utiliza filtros para la protección contra la interferencia cocanal. La forma de onda, la velocidad y otros parámetros pueden ser seleccionados por el usuario por medio de un teclado, el despliegue de un cristal líquido y un sistema de control remoto. El diagrama del módem RF-5710 se observa en la siguiente figura:



Figura 57. Módem RF-5710.

Las características de la interfaz de datos son:

- RS-232 de modo síncronico y asíncronico.
- Entrada de audio de 600 ohms balanceada.
- Salida de 600 ohms balanceada.

El RF-5710 con modulación FSK soporta velocidades de 50, 75, 150, 300 y 600 bps. En modo de tono serial utiliza una modulación 8_ary PSK, con una portadora de 1.800 Hz alcanzando una velocidad de 2.400 bps. En el modo de alta velocidad de datos alcanza de 150 a 4.800 bps. Además posee las siguientes características:

- Codificación FEC, se realiza a una tasa de $\frac{1}{2}$ convolucional, con codificación Viterbi.
- Retardo de entrelazado, entre 1.2 a 9.6 s.
- Tolerancia multitrayecto de 6. 5 ms.
- BW ocupado de 3.000 Hz.
- Corrección de frecuencia de ± 75 Hz.
- Soporte de sincronización de preámbulo y datos.
- Filtro adaptativo para la eliminación de interferencia.

4.2.3.11.3.5 Antena. Las antenas que cumplen con los requerimientos son: la V invertida y el dipolo horizontal; encontradas por medio del procedimiento descrito en la sección 4.2.3.8 de este capítulo. El esquema de las antenas se muestra en la siguiente figura:

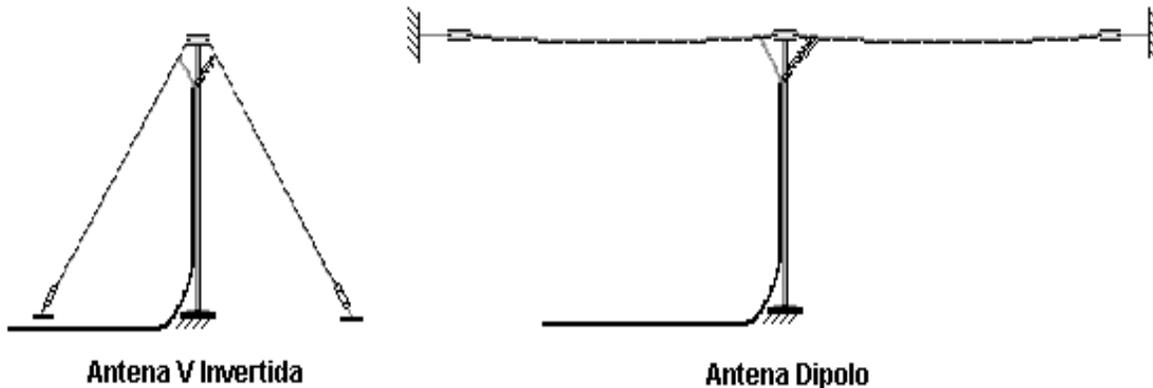


Figura 58. Antenas aplicables al sistema de E-mail HF.

La conexión del computador servidor con el WG y el módem HF se realiza por medio de interfaces RS-232. La conexión del computador cliente con el WMT y el módem HF también se realiza por medio de interfaces RS-232. El fabricante describe la conexión de los diferentes dispositivos por medio de los manuales entregados. En la figura 59 se muestra la forma física del cable de RS-232 y del coaxial RG-8. La salida del transmisor se conecta a la antena por medio de un

coaxial RG-8, adecuado para las antenas de HF debido a sus características técnicas, las cuales se muestran en la siguiente tabla:

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL CABLE COAXIAL RG-8	
Impedancia (ohms)	50
atenuación (db/30m)	1,15
Conductor central	Alambre de cobre rojo recocido, 2,18 mm de diámetro.
Dieléctrico	Polietileno de baja densidad, 7,25 mm de diámetro.
Blindaje	Malla trenzada de alambres de cobre rojo, 16 x 9 x 0,15 eficacia (87%).
Cubierta exterior	Policloruro de vinilo color negro, diámetro final 10,25 mm.

Tabla 24. Características técnicas del cable coaxial RG-8.



Figura 59. Cable de RS-232 y coaxial RG-8.

- **Conexión a tierra de la antena y el sistema.** Para la planificación, instalación y comprobación del funcionamiento de la antena se debe tener en cuenta las siguientes sugerencias.
 - La antena debe instalarse lo más apartada posible de cualquier objeto próximo. Si existen árboles, edificios, líneas telefónicas, líneas de suministro eléctrico o cercas metálicas en su proximidad, el patrón de radiación quedará deformado.
 - Nunca se debe montar la antena en la proximidad o cruce de una línea de suministro eléctrico. La ruptura y caída de la línea sobre la antena puede comunicarle una alta tensión, introduciéndose luego a la estación de radio.
 - La línea de transmisión debe cortarse justo antes de la entrada de la edificación de la estación. En cada extremo del corte se monta un conector coaxial tipo PL-259 y un conector en T (PL-258), además se instala en la línea un descargador de estática como protección. Con alambre de cobre número 12 se une el terminal del descargador con la toma de tierra más próxima. La

instalación del descargador coaxial de electricidad estática obedece a dos razones. La primera, facilitar un circuito de descarga a la electricidad estática que puede introducirse en la antena. Durante las tormentas eléctricas, esta electricidad estática puede alcanzar un potencial de miles de voltios que podrían ocasionar una descarga a través del cuerpo operador de la estación o simplemente perjudicar seriamente el equipo de radio. La segunda razón se refiere a la protección contra la caída directa del rayo en la antena. En este caso el descargador de estática no garantiza que el rayo no penetre en la estación, pero es evidente que su presencia reduce la probabilidad de que esto ocurra. Se debe considerar que los diferentes equipos de radio poseen puntos de conexión a tierra o masa, los cuales también se conectan. En el caso de no disponer de espacio suficiente para la instalación de una antena de media onda, se puede instalar una antena V invertida, como se observa en la figura:

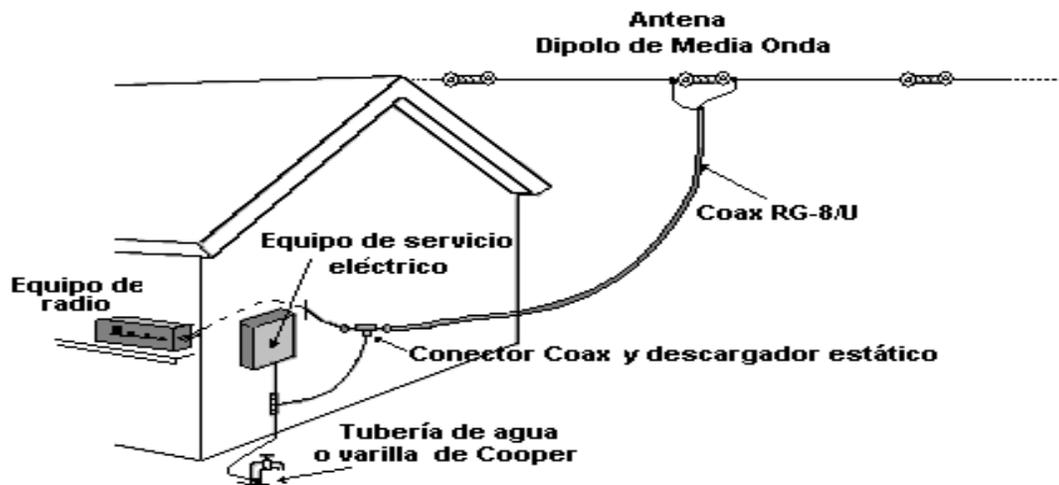


Figura 60. Conexión a tierra.

En la figura 61 se muestra una configuración básica del sistema con los equipos (con la referencia real) necesarios para su funcionamiento.

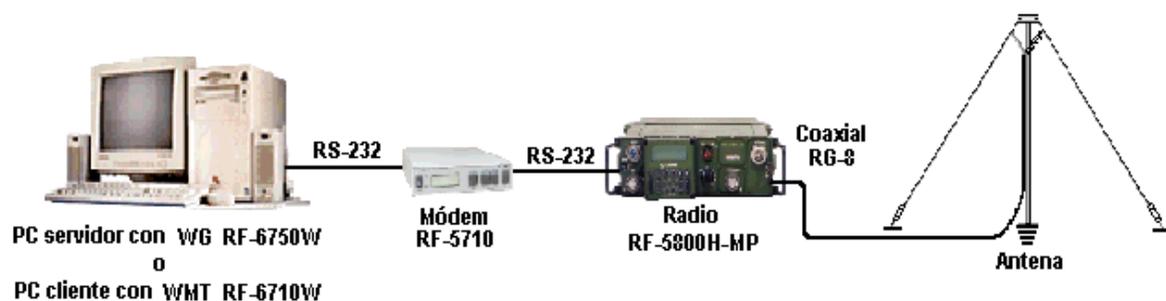


Figura 61. Conexión de los componentes del sistema.

4.2.3.12 Configuración y prueba del sistema. La etapa de configuración de la red, incorpora las actividades correspondientes al montaje y puesta a punto del sistema, incluyendo el transporte de los equipos, el montaje e instalación, pruebas individuales y la capacitación para el personal que estará a cargo de las estaciones. En la fase final de la instalación de la red, deben llevarse a cabo la prueba del sistema y el plan de evaluación. Las áreas que deben examinarse incluyen:

- Funcionamiento del sistema:
 - Puesta de todo el equipo en operación, incluyendo el ajuste de la potencia del transmisor, lectura de los medidores, rotación de antenas, etc.
 - Funcionamiento apropiado del equipo: transmisores y receptores operando dentro de las especificaciones.
 - Funcionamiento de la antena: transmisión hacia todas las estaciones de la forma deseada, obtención de los patrones de radiación y el ruido ambiental como el esperado.

- Funcionamiento de la red:
 - Conectividad apropiada de la red.
 - Capacidades de la red adecuadas.
 - Congestión aceptable.
 - Número razonable de errores del sistema.
 - Instalación apropiada del SW.
 - Tablas de enrutamiento de red fijadas adecuadamente.
 - Protección de enlace.

- Rendimiento de datos y mensajes:
 - Enlace apropiado con todas las estaciones.
 - Prioridad de mensajes manejada adecuadamente.
 - Transferencia adecuada de datos y mensajes.

- Consideraciones de potencia:
 - Garantizar una potencia adecuada para todas las operaciones, incluyendo condiciones de emergencia.
 - Garantizar una potencia con mínimo ruido y fluctuaciones.
 - Establecimiento del nivel de potencia adecuado para el cubrimiento requerido.

- Revisión del plan de seguridad del lugar:
 - Seguridad física en todos los aspectos.
 - Mínimas condiciones de riesgo en la construcción o implementación.
 - Seguridad de red en operación.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El sistema de comunicaciones de voz por HF tomó su máxima importancia en la segunda guerra mundial, pero con el advenimiento de los sistemas satelitales, fibra óptica, microondas, cable coaxial, telefónicos, fue relegado a un segundo plano. Sin embargo, en la actualidad se presenta una gran demanda en la transmisión de datos, provocando congestión en los sistemas convencionales. La experimentación de nuevos métodos automatizados como ALE y LQA, corrección de errores FEC y ARQ, codificación de mensajes y entrelazado, algoritmos de compresión de datos, métodos de diversidad, han incrementado la disponibilidad y han reducido los problemas causados por el ruido y la interferencia, dados principalmente por la dispersión multirrayecto, permitiendo que la radio HF sea una alternativa para satisfacer las necesidades del usuario.
- Comparando las velocidades de datos de los módems inalámbricos con el sistema de comunicación HF, se encuentra diferencias muy considerables. Pero se debe tener en cuenta que no siempre existirá la posibilidad de implementar redes con todas las prestaciones, debido a diferentes factores como el económico, las características geográficas, la tecnología más apropiada, etc. Es en este punto, donde la radio HF juega un papel muy importante ya que permite brindar un servicio de transmisión de datos con velocidades considerables, baja inversión económica, cubrimiento de una gran área terrestre la cual puede ser muy variada en su topografía, adaptabilidad a otros sistemas de comunicaciones, fácil manejo, rápida recuperación, robusto conjunto de protocolos para adaptabilidad y soporte, etc.
- Hoy en día el HF ofrece desafíos y oportunidades para los radioaficionados. Permite comunicaciones digitales a largas y cortas distancias, sin involucrar equipos especializados, ni repetidores o transpondedores satelitales. Permite modos de operación punto a punto y punto a multipunto (broadcast).
- Según los entes reguladores internacionales, el BW para comunicaciones de voz en HF está limitado a 3 KHz, lo cual reduce la posibilidad de transmitir gran cantidad de datos con la aplicación de métodos convencionales. Por lo que es recomendable el empleo de tecnologías de automatización para transmitir datos a mayores velocidades, además existe la posibilidad de utilizar varios canales de 3 KHz para ello.

- Para la transmisión de datos vía HF existe una gran variedad de métodos, de origen comercial, federal, militar y experimental. En la siguiente tabla puede observarse una comparación de algunos modos, con las características más relevantes.

FORMA DE ONDA	VELOCIDAD	FORMATO DE DATOS	CORRECCION DE ERRORES	TOLERANCIA AL RUIDO E INTERFERENCIA	BW OCUPADO (Hz)
CW (On/Off)	60 ppm (50 Bd)	Caracter	Ninguna	Pobre	300
RTTY (FSK)	100 ppm (100 Bd)	Baudot	Ninguna	Aceptable	500-1.000
AMTOR (FSK)	100 Bd	Baudot	ARQ	Buena	1.000
RADIO PAQUETE (FSK)	75 - 300 Bd	ASCII	ARQ	Aceptable	2.000
PACTOR II (FSK/PSK)	200-1.200 bps	ASCII	ARQ	Buena	500
G-TOR (FSK)	100-300 Bd	Binario	ARQ/FEC	Buena	500
MIL-188-110A (PSK serial)	75 - 2.400 Bd	Binario	FEC	Buena	3.000
CLOVER 2000 (FSK/PSK/A SK)	250 - 3.000 Bd	Binario	FEC /ARQ	Buena	500

Tabla 25. Comparación de los modos de transmisión de datos en HF.

- Debido a que las señales de HF son propagadas vía ionosférica, la cual no es estable, la atenuación de la señal varía considerablemente durante el día, además es afectada por la variación en la altura de reflexión de la Ionosfera, la localización geográfica y la actividad solar. Así mismo, los niveles de ruido varían considerablemente. Para la transmisión de datos es recomendable la utilización de módems HF adaptables a la distorsión ionosférica y a la calidad del enlace, con el fin de adaptar la velocidad de datos y corregir o compensar la señal para minimizar las pérdidas y errores.
- La tecnología de automatización de 3G-HF fue diseñada para soportar eficazmente grandes redes con tasa de datos considerables, manejo de tráfico de diferente tipo y compatibilidad con 2G-HF. El sistema básicamente incluye una capa de red integrada, ALE, protocolos ARQ y una familia de módems robustos. La simulación y los prototipos indican que la nueva generación de tecnología soporta mejoras en orden del tamaño y rendimiento del tráfico de red, logrando una mejor respuesta en ambientes de alto ruido.

-
- Puesto que la familia de radios ALE de HF evoluciona constantemente, su diseño es actualizado con las nuevas características y funciones que la hacen más útil y deseable a los usuarios de una red. Estos rasgos pueden agruparse en las características agregadas para incrementar el nivel de automatización, habilidad para adaptarse a las condiciones cambiantes de la propagación de HF, operación bajo el control de un microprocesador, incorporación de la automatización para la mayoría de las funciones intensivas del operador, unión de una gran variedad de esquemas de diversidad con un conjunto de funciones de inteligencia de canal, establecimiento automático y mantenimiento de los enlaces de forma adaptable en respuesta a los cambios de propagación en el canal, el ruido externo y las condiciones de compatibilidad electromagnética.
 - Los sistemas de mensajes de 3G-HF presentan mejoras significativas en la capacidad y funcionamiento para sistemas basados en el estándar MIL-STD-188-141A. La nueva generación en la automatización de la radio HF proporciona la conectividad hacia y dentro del Internet para aplicaciones que pueden tolerar un ancho de banda relativamente bajo, disponible de los módems de HF. Estos sistemas incluyen aplicaciones orientadas a texto, los cuales deben ser sometidos a algoritmos de compresión que mitiguen el bajo rendimiento comparado con los módems de línea alámbrica. Los archivos de audio pueden ser comprimidos substancialmente, pero los archivos de video y los fotográficos son más difíciles de adaptar, teniendo en cuenta los tiempos de transferencia de archivos grandes y la congestión producida en las redes de HF.
 - Debido a la compatibilidad entre los estándares desarrollados para la automatización del HF y los estándares de Internet, la integración de este medio en la infraestructura de información internacional no es crítica. El SW requerido para los protocolos extremo a extremo y el enrutamiento de interconexión de redes es comercialmente disponible con interfaces documentadas. Respecto al enrutamiento y control de las estaciones, es necesario la aplicación de protocolos específicos de HF.
 - Los modelos de predicción dependen directamente de la disponibilidad de los recursos computacionales, la transportabilidad del modelo, los requerimientos de mantenimiento del SW y la facilidad de manejo, más que de los fenómenos incluidos en el modelo de propagación. Esto conlleva a la división de los sistemas de predicción en dos clases: el primero dirigido al estudio de los procesos físicos de la planeación a largo plazo, y el otro manejado por requerimientos tácticos a corto plazo. Las perturbaciones de gran periodo o características de escala geográfica grande, pueden ser mejor descritas por los modelos detallados, aun que puede involucrar un componente empírico significativo, siendo necesaria la automatización de los procedimientos para mejorar la exactitud. Las transiciones de día a noche, las regiones anómalas ecuatoriales, la zona auroral, etc, son aspectos importantes que deben

incluirse. Debido a la estandarización en los equipos computacionales, los modelos y métodos más avanzados como IONCAP pueden ser incorporados en los sistemas de pronóstico para la gestión de frecuencia en tiempo real. Además, estos modelos pueden incorporarse dentro de módems avanzados que utilizan microprocesadores para la gestión de la red.

- Las predicciones a largo plazo son aplicables en la planeación de sistemas también a largo plazo. Los procedimientos computacionales y la presentación de los datos pueden ser mejorados, permitiendo examinar la información entregada de forma coherente y en una variedad de medios. Para mejorar los sistemas a largo plazo, se han desarrollado métodos que permiten el mapeo del comportamiento de la propagación en periodos de duración de semanas a varios meses, basándose en la observación de las características solares relacionadas.
- El modelamiento a largo plazo puede utilizarse para beneficiar las predicciones a corto plazo. La actualización en la información es muy importante para la utilización eficaz de los esquemas de HF adaptables. Sin embargo, las especificaciones ionosféricas presentes, rápidamente pierden relación al ser comparadas con la realidad futura, obligando a que la actualización deba realizarse rápidamente. La utilización de diversidad con estaciones repetidoras puede prever la gestión de los recursos en tiempo real, y el manejo de los datos. Los recursos disponibles en el futuro pueden involucrar tecnología de sensores e imágenes exactas para suministrar mapas del comportamiento ionosférico, los cuales pueden ser utilizados para proporcionar un muestreo espacial significativo. Estas fuentes de datos, junto con los recursos existentes, como las sondas convencionales y los datos solar-terrestres actuales se convierten en información ionosférica fundamental a incluir en los modelos a corto plazo, para garantizar una respuesta en tiempo real.
- Las herramientas más importantes para la predicción ionosférica son VOACAP e IONCAP, debido a que manejan información actualizada y modelos ionosféricos corregidos. Puesto que en el planeamiento de una red de HF con ALE, la selección de las frecuencias a utilizar juegan un papel muy importante en el buen desempeño del sistema, es recomendable la utilización de las herramientas de predicción. Además, debido a la automatización en los procesos necesarios para establecer los parámetros del trayecto, permiten reducir el tiempo de cálculo obteniéndose mejores resultados.
- Para la selección de la frecuencia óptima de trabajo, se cuenta con métodos empíricos y técnicos. Generalmente los radioaficionados establecen las frecuencias de trabajo basados en su experiencia, pero métodos como el Laboratorio Central de Radio Propagación (CRPL-Central Radio Propagation Laboratory), el sondeo ionosférico y los programas de predicción de la

propagación ionosférica, proporcionan la información necesaria para determinar las frecuencias óptimas de trabajo.

- El proceso de diseño de una red HF con ALE se debe realizar con una apropiada planificación, conociendo adecuadamente los objetivos a lograr. Resumiendo los principales pasos para garantizar un adecuado desarrollo se tiene:
 - Definición y análisis de los requisitos del diseño preliminar del sistema y del estudio de viabilidad. Esto permite establecer los requisitos del plan de frecuencias, del personal operativo, soporte, problemas locales, tipo de comunicación, fiabilidad, ubicación física, impacto medioambiental, etc. También se debe incluir una estimación detallada de costos generales.
 - Terminación del análisis y diseño del sistema para identificar los detalles de la topología de la red, parámetros operacionales, pronósticos de propagación, selección del equipo, aspectos del funcionamiento, estudio del sitio y planes de construcción. También se incluye la redacción del plan de pruebas del sistema y su evaluación.
 - Fase de prueba y evaluación del sistema para verificar los detalles del sistema y su correcto funcionamiento.
- Para poner en funcionamiento el sistema de red se debe tener un plan de implementación, ubicación, instalación, pruebas y cambios. Si el plan de funcionamiento es el adecuado, se mantendrá la red funcionando eficazmente. Como la funcionalidad y gama de servicios de las redes se extiende, así también las obligaciones y tareas del administrador de la red. La clave para una efectiva gestión de la red, es el soporte del administrador en un grupo de trabajo, con el cual se planeará en conjunto la red y la atención a los usuarios. Con una meticulosa gestión, la red puede ser un valioso recurso para la comunicación de los usuarios en sistemas de radio ALE de HF.
- Para el desarrollo de nuevas tecnologías para el HF digital es recomendable la experimentación en varios campos de las telecomunicaciones como:
 - Esquemas de modulación con manejo eficiente del BW, para incrementar la robustez, velocidad y funcionalidad. Estos incluyen las formas de modulación ASK, FSK, PSK, o QAM que utilizan una o múltiples portadoras. Sin embargo, otras tecnologías como las comunicaciones de espectro ensanchado también necesitan ser exploradas.
 - El desarrollo de algoritmos de codificación para la detección y corrección de errores, para incrementar la confiabilidad.

-
- Desarrollo de los protocolos para satisfacer los nuevos esquemas de modulación y codificación. La posibilidad para los modos half y full-duplex también necesitan ser exploradas.
 - Estudio de las técnicas DSP, desarrollo de equipos HW y aplicación de SW relacionadas con el HF digital.
-
- Los sistemas de HF facilitan la transferencia de información entre puntos geográficamente distantes. Esto permite establecer comunicación de datos en regiones donde no existen las facilidades convencionales de comunicaciones. La topografía colombiana es muy complicada debido a encontrarse en la Cordillera de los Andes, aspecto que afecta directamente los sistemas de comunicaciones vía radio. Además existen regiones en el país muy marginadas, donde no se cuenta con una infraestructura de servicios básicos. La radio HF es un sistema que puede proveer soluciones fiables para brindar soporte a las necesidades de esas zonas.
 - Actualmente entidades como la UIT, ARRL, organismos militares y federales norteamericanos, FCC y fabricantes de equipos de radio, trabajan de forma conjunta para el desarrollo de estándares, protocolos y equipos para el sistema HF digital. Estas entidades también estudian, experimentan y prueban los sistemas para garantizar su fiabilidad y adaptabilidad a las redes mundiales de comunicaciones.
 - En Colombia según la oficina de información del Ministerio de Comunicaciones, aun no se ha iniciado la regulación para la utilización de la banda de HF en la transmisión de datos. Por tal razón, para la transmisión de datos en HF, se recomienda utilizar las frecuencias normalmente asignadas para el servicio de voz, por el Ministerio de Comunicaciones. En la sección A.4 del Anexo A se encuentra mayor información al respecto.
 - Los sistemas convencionales de comunicaciones como el satélite, fibra óptica, redes públicas conmutadas, microondas, etc, brindan una variedad de servicios con alta fiabilidad y calidad con velocidades de transmisión de datos considerables. Comparando estos sistemas con la radio HF, existe una gran diferencia, la que ha relegado al HF a un segundo plano; pero a nivel mundial no todas las regiones tienen un igual desarrollo tecnológico, lo que impide la aplicación de los mejores sistemas de comunicaciones; además la inversión necesaria para equipar una región con este tipo de sistemas es muy elevada. El sistema HF es una de las tecnologías que permite brindar una infraestructura adecuada de comunicaciones en regiones subdesarrolladas, estableciendo enlaces alrededor del mundo y la interconexión por medio de las pasarelas adecuadas a los demás sistemas de comunicaciones.
 - Como se dijo anteriormente, la inversión necesaria para establecer comunicaciones por radio HF con ALE con respecto a los sistemas

convencionales no es elevada, pero de todas maneras la inversión para la compra de los equipos es considerable. Existen otros sistemas como los mencionados en el capítulo 2, los cuales proveen un alto rendimiento de transmisión de datos, convirtiéndose en una alternativa adicional; además la inversión en estos sistemas es menor que en ALE. Existen aplicaciones desarrolladas en el Africa, Australia, Perú, EE.UU y otras regiones, las cuales muestran la efectividad de estos sistemas.

- El costo de los equipos para la transmisión de datos en HF esta muy ligado a la tecnología utilizada. Equipos con tecnologías de punta como ALE o CLOVER 2000 pueden resultar bastante costosos, a diferencia de los módems de PACTOR. Un transceptor nuevo tiene un valor al rededor de \$2'500.000, mientras que el costo de un módem HF oscila entre \$200.000 y \$2'500.000, con un ciclo de vida de diez años. En la siguiente tabla se describen algunas características y precios de equipos digitales de HF:

FABRICANTE	MODULACION	COSTO HW	COSTO DE MANTENIMIENTO
CODAN	Tono Serial MIL-STD-188-110	\$15'000.000 Estación Base Completa	\$1'500.000 Mensual
HAL	Clover 2000	\$17'500.000 Estación Base Completa	\$600.000 Mensual
SCS	PACTOR-II, PACTOR-I, AMTOR, RTTY	\$1'500.000 Módem	\$100.000 Mensual
KANTRONICS	AMTOR	\$350.000 Módem	Menos de \$100.000 Mensual
HARRIS	Tono Serial MIL-STD-188-110	\$23'000.000 Estación Base Completa	\$1'100.000 Mensual

Tabla 26. Comparación de precios de equipos para HF digital.

También se debe considerar el costo de elementos complementarios como acopladores de antena y fuentes de alimentación que tienen valores entre \$100.000 y \$400.000. El costo del SW para módems multimodos oscila entre \$45.000 y \$150.000 como es el caso del programa Multicom para Windows, que maneja los modos PACTOR, AMTOR, RTTY, CW, RADIO PAQUETE. El costo de las antenas dipolo y V invertida es de aproximadamente \$110.000, como es el caso de la antena 10-80 m G5RV de 30 m de longitud.

GLOSARIO

Acoplamiento: Transferencia de energía entre dos medios.

Algoritmo de Lempel-Zip: Algoritmo utilizado para la compresión de datos.

Asincrónico: Modo en el cual la secuencia de operaciones que se ejecutan no corresponde a un evento específico.

Backbone: Parte de una red de comunicaciones que maneja la mayor densidad de tráfico.

Backup: Copia de respaldo o seguridad.

Bit: Abreviatura de dígito binario. Carácter que representa un dígito en el sistema de numeración base dos.

Broadcast: Transmisión de señales que pueden ser recibidas de forma simultánea por estaciones que generalmente no son reconocidas por la estación transmisora.

Buffer: Medio de almacenamiento temporal utilizado para compensar la diferencia de velocidad en el flujo de datos entre dos circuitos digitales.

Carga Útil: Cantidad de datos de un paquete o trama que posee la información del usuario.

Código BCH: Detección de Error Codificado-Bose.

Código de Convolución: Código de corrección de errores donde cada m-cadenas de bits a ser codificadas es transformada en símbolos de n-bits, con $n > m$ y la transformación es una función k , donde k es la restricción de longitud del código.

Compresión Huffman: Es una técnica de codificación utilizada para comprimir datos por la representación de los eventos más comunes con códigos cortos y los menos comunes con códigos largos.

Chat: Abreviatura de conversational hypertext access technology. Forma de comunicación escrita en línea e interactiva.

Datagramas: Paquete sencillo enrutado en una red sin reconocimiento.

Efecto Faraday: Efecto por el cual el plano de polarización es rotado debido a la influencia del campo magnético paralelo a la dirección de propagación.

Desvanecimiento Rayleigh: Desvanecimiento causado por el multitrayecto, el cual se puede aproximar por la distribución Rayleigh.

Dispersión Multitrayecto: Fenómeno presente en la propagación de señales de radio que alcanzan la antena receptora por diferentes trayectos.

Shift Doppler: Degradación o cambio observado en frecuencia o longitud de onda de una señal, debido al efecto Doppler.

Encriptar: Una manera de codificar la información de un fichero o de un correo electrónico de manera que no pueda ser leído en caso de ser interceptado por una tercera persona mientras viaja por la red. Sólo la persona o personas que tienen el tipo de software de descodificación adecuado pueden descifrar el mensaje.

Enrutar: Dar instrucciones de ruta a cada transmisión de mensajes, de manera que el sistema automáticamente lo entregue al punto terminal de ruta.

Entrelazado: Transmisión de pulsos de dos o más fuentes digitales, en una secuencia de tiempo en un mismo canal.

Espectro Ensanchado: Técnica utilizada en telecomunicaciones, en la cual la señal a transmitir es esparcida en todo el ancho de banda asignado.

Eudora Pro: SW cliente para la lectura de correo electrónico.

Firmware: SW empotrado en un dispositivo HW para su correcto funcionamiento.

foE: Frecuencia crítica de la componente del rayo de la capa E normal. La frecuencia penetra justamente la capa E.

foF2: Frecuencia crítica del componente de onda de la capa F2. La frecuencia penetra justamente la capa F2.

foF: Frecuencia crítica del componente de onda ordinaria de la capa F1. La frecuencia de la ionosonda que penetra justamente la capa F1.

Full-Duplex: Circuitos o equipos que permiten la recepción y transmisión al mismo tiempo.

Función Walsh Ortogonal: Un conjunto de formas de onda ortogonales, basadas en las matrices de Walsh-Hadamard. Las funciones de Walsh son utilizadas para dos propósitos en CDMA. El primero se utiliza en el cubrimiento ortogonal para crear canales de transmisión independientes. El segundo para la modulación ortogonal.

Gateway: También llamada Pasarela. Sistema HW o SW que hace de puente entre dos aplicaciones o redes incompatibles para que los datos puedan ser transferidos entre distintos ordenadores. Las pasarelas se utilizan corrientemente con los correos electrónicos que circulan entre los sitios Internet y las redes privadas.

h'F2: Altura mínima virtual de la capa F2.

h'FF2: Medida alternativa de la altura mínima virtual de la capa F. Corresponde a la altura mínima virtual de la capa F nocturna y la capa F2 diurna.

Half-Duplex: Modo de operación de un sistema o circuito de telecomunicaciones también conocido como operación semiduplex, dúplex en alternativa u operación en semiduplex. Permite establecer una comunicación simple en la cual puede invertirse el sentido de la transmisión

Header: Parte de una trama o paquete que contiene información utilizada para guiar el mensaje hacia el destino correcto.

Host: Es un ordenador directamente conectado a una red. Efectúa las funciones de un servidor y alberga servicios como correo electrónico, grupos de discusión como Usenet, FTP o World Wide Web accesibles por otros ordenadores de la red.

INMARSAT: (International Maritime Satellite Communications Organization) Consorcio Internacional de Comunicaciones Marítimas por Satélite. Es el servicio marítimo internacional de comunicaciones por satélite, dependiente de la Organización Marítima Internacional de la ONU. Brinda comunicaciones móviles marítimas, terrestres y aéreas a nivel mundial, a través de una red de 17 estaciones terrestres costeras ubicadas en 15 países del mundo

Interferencia Cocanal: Interferencia causada por otra señal operando en el mismo canal de radio.

JNOS: SW servidor de correo electrónico.

M(3000)F2: Porcentaje de la MUF para F2 en la frecuencia crítica de foF2

Ohms: Unidad de medida de la resistencia eléctrica.

Packet Cluster: Red de Radiopaquete

Polling: Utilizado para el control de redes de computadores, donde la estación de control invita a las estaciones tributarias a transmitir durante un tiempo especificado por la estación de control.

POP3: Protocolo 3 de correo. Protocolo estándar para la operación de e-mail.

Radiador Isotópico: Antena que radia energía en todas las direcciones.

Relay: Retransmisión de un mensaje recibido de otra estación.

Rose: Abreviatura de RATS Open System Environment.

Simplex: Sistema de comunicación en una sola dirección.

Sincrónico: Modo en el cual la secuencia de operaciones que se ejecutan corresponde a un evento específico (controlado por un reloj).

SNMP: Abreviatura de Simple Network Managemet Protocol, protocolo para la gestión simple de una red.

Standby: En telecomunicaciones. Equipo de soporte o respaldo, para los casos cuando falla el sistema principal.

Transponder: Dispositivo que recibe, amplifica y retransmite una señal en una frecuencia diferente.

Varicode: Código variable.

Viterbi: Algoritmo utilizado en comunicaciones inalámbricas para la corrección FEC.

BIBLIOGRAFIA

ARRL. Capítulo 12 y 21. 1997 The Arrl handbook for radio amateurs.

ARRL (American Radio Relay League). Liga de radioaficionados de los Estados Unidos.

<http://www.arrl.org/>

Association of Radio Amateurs of Slovenia (Asociación de radioaficionados de Slovenia)

<http://www.hamradio.si/>

CLAY LASTER. Guía del radioaficionado principiante.

Comisión federal de comunicaciones.

<http://www.fcc.gov/>

CQ Radio Amateur.

http://www.cq-radio.com/sumaris/sum_mai_01.htm

Documento de Internet. Sistema comercial de E-mail HF.

<http://www.bushnet.net/Services/services.html>.

Documento: Presentaciones en Power Point. Joint Interoperability Test Command (JITC). San Diego, California. Febrero 2000.

<http://\jitic.fhu.disa.mil>

Documento: Presentaciones en Power Point. Requirements For HF Channel Simulators; Fading Characteristics. J.W. Nieto, W.N. Furman Harris Corporation RF Communications Division. February 2000

<http://www.harris.com/>

Documento: Presentaciones en Power Point. New Standards Development Status. Dr. Eric E. Johnson. Science Applications International Corporation & New Mexico State University. Junio 2000.

DONALD H. Hansher. Communication System Engineering Handbook.

Estándar Federal Norteamericano. FED-STD-1052. Apéndice A. Modulación de 39 tonos paralelos.

Estándar Federal Norteamericano. FED-STD-1052. Apéndice B. Protocolo de enlace de datos.

Estándar Federal Norteamericano. FED-STD-1052. Apéndice C. Modulación de 16 tonos DPSK.

Estándar Federal Norteamericano. FED-STD-1045A. Establecimiento automático de un enlace HF.

Estándar Militar del Departamento de Defensa de los Estados Unidos MIL-STD-187-721C Interface and Performance Standard for Automated Control Applique for HF Radio, November 1994.

Estándar Militar del Departamento de Defensa de los Estados Unidos. MIL-STD-188-141B. Interoperabilidad y rendimiento de los estándares para medios y sistemas de radio de HF.

Federal Telecommunication Standards.
<http://www.ncs.gov/n6/content/fts/html/fts.htm>

Hall Communications Corporation.
<http://www.halcomm.com/>

Harris Corporation.
<http://www.harris.com/>

HF Data Link. (Enlace de Datos HF).
<http://www.collins.rockwell.com/Careers/>

HfX - An HF Propagation Prediction Tool. Herramientas para la predicción de la propagación en HF.
<http://www.psrv.com/hfx/>

Introducción a la operación en HF.
<http://personal.redestb.es/j-luis/Operhf00.htm>

La Radioafición Digital.
<http://www.teleport.com/~nb6z/frame.htm>

NEGRET ARBOLEDA, Juan Pablo. Análisis y usos de los parámetros ionosféricos obtenidos en la ionosonda de Popayán. Popayán, 1974. Trabajo de Grado (Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones). Universidad del Cauca. Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Departamento de Transmisión.

Pagina oficial de PSK31.

<http://aintel.bi.ehu.es/psk31.html>

Protocolos de HF Digital.

http://dmoz.org/Recreation/Amateur_Radio/Digital_HF_Protocols.

ROMO R. Harold A. Fundamentos de radiopropagación vía Troposfera y vía Ionosfera. Popayán, 2000. Producción Intelectual. Universidad del Cauca. Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Departamento de Transmisión.

ROGRIGUEZ G. Jorge E. Introducción a las Redes de Area Local. Mc Graw Hill.

The Barret Companies.

<http://www.barrett.com/flashsite/index.htm>

The Institute for Telecommunication Sciences (ITS).

<http://www.its.blrdoc.gov/projects/t1glossary2000/>

The Network Startup Resource Center (NSRC).

<http://www.nsrc.org/>

Tucson Amateur Packet Radio.

<http://www.tapr.org/tapr/html/pubsf.html>

Tuning HF Digital Signals.

<http://freeweb.pdq.net/medcalf/ztx/index.html>

Unión Internacional de Telecomunicaciones. Recomendación ITU-R F.1110-2. Sistemas radioeléctricos adaptables para frecuencias inferiores a 30 MHz.

Unión Internacional de Telecomunicaciones. Recomendación UIT-R. F.763-4. Transmisión de datos por circuitos de ondas decamétricas que utilizan modulación por desplazamiento de fase o modulación de amplitud de cuadratura.

Unión Internacional de Telecomunicaciones. Recomendación UIT-R. F.764-1. Requisitos mínimos de los sistemas radioeléctricos en ondas decamétricas que utilizan un protocolo de transmisión por paquetes.

Unión Internacional de Telecomunicaciones. Recomendación UIT-R P.532-1. Efectos ionosféricos y consideraciones de explotación en relación con la modificación artificial de la Ionosfera y del canal de ondas radioeléctricas.

Unión Internacional de Telecomunicaciones Recomendación UIT-R P.533-6. Método para la predicción de la propagación de las ondas decamétricas.

Unión Internacional de Telecomunicaciones Recomendación UIT-R P.842-2
Cálculo de la fiabilidad y la compatibilidad de los sistemas radioeléctricos en ondas
decamétricas.

Unión Internacional de Telecomunicaciones. UIT.
<http://www.itu.int/>

Unión Internacional de Telecomunicaciones. UIT.
<ftp://ftp.itu.int/pub/>

Upcountry HF E-mail Network – Summary. Upcountry HF E-mail Network As an
Early Component of a Developing Country's Information Infrastructure.
<http://www.uconnect.org/start.html>.