

27
28



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ARAGON"**

FALLA DE ORIGEN

**DISEÑO DE UNA RED VSAT CON COBERTURA
INTERCONTINENTAL UTILIZANDO DOS SATELITES
SIMULTANEAMENTE**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A :

BERNARDO GOMEZ CANALES

DIRECTOR DE TESIS: M. EN I. JUAN CARLOS ROA BEIZA



SAN JUAN DE ARAGON, 1995.



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A mi madre:

Porque me ha dado todo.

A mi padre:

*Por haberme enseñado que abrirse
paso en la vida depende de uno mismo.*

A Noemi y Alejandra:

*Por estar unidos y tener
su apoyo en todo momento.*

*A mis familiares, compañeros y amigos,
por los momentos que han compartido
conmigo en las buenas y en las malas.*

*Ami escuela, por haberme dado la
oportunidad de realizar mis estudios en ella.*

*A mis profesores, por transmitirme sus
conocimientos y experiencia, y en especial
al M.I. Juan Carlos Roa Beiza por haber
dirigido este trabajo.*

Gracias

Bernardo Gómez Canales

INDICE

INDICE

INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I CONCEPTOS TEORICOS	
1.1 MODULACION	1
1.1.1 Modulación en amplitud.....	7
1.1.2 Modulación en frecuencia.....	11
1.1.3 Modulación digital.....	17
1.1.4 Modulación por codificación de pulsos.....	18
1.1.5 Modulación delta.....	24
1.1.6 Modulación delta doble paso.....	29
1.1.7 Modulación por codificación de pulsos diferencial.....	31
1.1.8 Modulación por encendido y apagado.....	33
1.1.9 Modulación por corrimiento de frecuencia.....	34
1.1.10 Modulación por corrimiento de fase.....	37
1.1.11 Modulación por corrimiento de fase para señales cuaternarias.....	43
1.2 CODIFICACION	46
Código NRZ-L.....	46
Código NRZ-M.....	50
Código NRZ Bipolar.....	52
Código RZ Unipolar.....	54
Código RZ Polar.....	56
Código RZ Bipolar.....	58
Código Bifásico-L.....	58
Código Bifásico-M.....	62
Código Bifásico-S.....	64
Códigos Multinivel.....	64
Códigos de Cuatro Niveles.....	65
Código BNZS.....	67
Código B6ZS.....	67
Código HDB3.....	69
Código de Relación.....	71
Código CMI.....	71
Código DMM.....	73
Código Split Face Mark.....	75
1.3 TRANSMISION DE DATOS	76
Topología bus.....	78
Topología estrella.....	79
Topología anillo.....	79
Topología malla.....	80
1.3.1 Descripción de un sistema de transmisión de datos.....	81
1.3.2 Componentes de un sistema de transmisión de datos.....	82
Simplex.....	85
Half duplex.....	85
Full duplex.....	86
Línea conmutada.....	87

INDICE

Línea privada.....	88
Conexión multipunto.....	89
Transmisión asíncrona.....	90
Transmisión síncrona.....	91
1.4 CONCEPTOS DE ANTENAS.....	92
Antena tipo Cassegrain.....	94
Antena tipo Offset.....	98
Antena tipo Yagi.....	100
Orientación de una antena parabólica.....	101
1.4.1 Parámetros básicos de las antenas.....	103
Impedancia de entrada.....	103
Eficiencia de radiación.....	104
Ganancia.....	109
Ganancia directiva.....	111
Directividad.....	117
Área efectiva.....	118
Polarización.....	120
Patrón de radiación.....	123
1.4.2 Temperatura de ruido de una antena parabólica.....	124
1.4.3 Figura de mérito.....	125
1.4.4 Amplificador de bajo ruido (LNA).....	125
1.5 CONCEPTOS SATELITALES.....	131
1.5.1 Segmento terrestre.....	132
Trayectoria de transmisión o ascendente.....	136
Trayectoria de recepción o descendente.....	140
1.5.2 Segmento espacial.....	140
Lanzamiento y colocación en órbita.....	140
Como llegar a la órbita geostacionaria.....	141
Inyección directa en órbita geostacionaria.....	142
Inyección inicial en órbita elíptica.....	142
Inyección en órbita baja.....	143
El satélite y el medio ambiente en el espacio.....	145
1.5.3 Estructura y funcionamiento de un satélite.....	147
Subsistema de antenas.....	148
Subsistema de comunicaciones.....	150
Subsistema de energía eléctrica.....	154
Subsistema de control térmico.....	156
Subsistema de orientación.....	157
Subsistema de telemetría y comando.....	157
1.5.4 Atenuación en los sistemas de comunicación.....	158
Atenuación por dispersión.....	158
Atenuación por absorción atmosférica.....	158
Atenuación debida al oxígeno molecular.....	159
Atenuación debida al vapor de agua sin condensar.....	159
Atenuación debida a los electrones libres.....	160
Atenuación causada por lluvia.....	161
Atenuación causada por niebla y nubes.....	161
Atenuación causada por nieve y granizo.....	161
Atenuación causada por equipo y galas de onda.....	162

INDICE

1.6 TECNICAS DE ACCESO MULTIPLE A SATELITE.....	163
Acceso multiple por división de frecuencia (FDMA).....	163
Acceso multiple por división de tiempo (TDMA).....	167
1.6.1 Técnica TDM/TDMA.....	176
1.7 CALCULO DE ENLACES.....	177
Enlace satelital.....	177
Enlace ascendente.....	179
Enlace descendente.....	182
1.8 CONMUTACION DE PAQUETES.....	187
Operación de la conmutación de paquetes.....	195
Errores en la red.....	196
Error en la secuencia de paquetes.....	196
Reconocimientos.....	197
Paquetes perdidos.....	198
Duplicado de paquetes.....	199
Retrasos en la conmutación de paquetes.....	201
Ventajas de la conmutación de paquetes.....	202
1.9 ESTANDARES, NORMAS Y RECOMENDACIONES.....	203
1.9.1 Recomendación X.25 del CCITT.....	203
Modelo de referencia OSI.....	203
Nivel físico de X.25 (Nivel 1).....	210
Nivel de trama (Nivel 2).....	212
Métodos de comunicación.....	213
Estructura de la trama.....	215
Bandera.....	216
Campo de dirección.....	217
Campo de control.....	217
Campo de secuencia de verificación de trama (SVT).....	224
Método de relleno de bits.....	224
Instrucciones y respuestas.....	225
Parámetros del sistema de enlace.....	236
Nivel de paquete (Nivel 3).....	238
Circuitos virtuales y canales lógicos.....	239
Establecimiento de la llamada.....	243
Transferencia de datos.....	245
Desconexión de la llamada.....	247
Implementación del protocolo de enlace.....	248
1.9.2 Interfaces.....	257
Interfaz RS-232_C.....	257
Interfaz V.24.....	264
Interfaz V.35 (Recomendación V.35, CCITT).....	266
1.9.3 Normatividad Nacional e Internacional.....	282
Ambito internacional.....	284
Ambito nacional.....	291

INDICE

CAPITULO II METODOLOGIA DE DISEÑO	
2.1 ELEMENTOS QUE COMPOEN UNA ESTACION MAESTRA	295
2.1.1 Etapa de radiofrecuencia	295
Convertidor de subida y bajada	297
Amplificador de potencia HPA-TWT	301
Amplificador de bajo ruido LNA	303
Antena de la estación maestra	311
Transmisión / recepción	311
Movimiento de la antena	311
Operación automática	312
Operación manual	312
2.1.2 Frecuencia intermedia	314
Unidad de distribución	314
Controladores de transmisión TMCC's	316
Controladores de recepción RMCC's	318
Sistema de control de red NCS	320
Conmutador de paquetes	324
Chasis de expansión	326
2.2 ELEMENTOS QUE COMPOEN UNA ESTACION REMOTA	327
Descripción del equipo	328
Antena	329
Unidad de radio frecuencia externa (ORU)	331
Unidad de procesamiento digital (DPU)	335
Cable de interface (IFL)	340
Montaje e instalación del equipo	341
CAPITULO III CALCULO Y DISEÑO	
3.1 FUNCIONAMIENTO CALCULO Y DISEÑO UTILIZANDO UN SATELITE	345
Descripción general	347
Cálculo del enlace	364
Cálculos preliminares	368
Enlace ascendente	370
Enlace descendente	372
Evaluación del enlace	374
3.1.1 Capacidad de una red VSAT	378
3.1.2 Topologías utilizadas en una red VSAT	381
3.1.3 Velocidades utilizadas en una red VSAT	386
3.1.4 Cobertura de una red VSAT	388
3.1.5 Confiabilidad de una red VSA	391
3.1.6 Ventajas y desventajas de una red VSAT	392
3.1.7 Principales aplicaciones de las redes VSAT	393
3.2 FUNCIONAMIENTO, CALCULO Y DISEÑO UTILIZANDO DOS SATELITES	395
Cálculo del enlace	407
Cálculos preliminares	410
Enlace ascendente	413
Enlace descendente	415

INDICE

Evaluación del enlace	418
3.3 MONITOREO Y CONTROL DE UNA RED VSAT	421
Mensajes de alarma	427
Pantalla de configuración del TMCC/RMCC	431
Pantalla de configuración del Outlink	433
Pantalla de configuración del Returnlink	436
Pantalla de configuración del Puerto Host	438
Pantalla de configuración del Sitio Remoto	440
Pantalla de R.F. del Sitio Maestro	443
Pantalla de F.I. y Conmutador de paquetes de la estación maestra	444
Pantalla de control del Sitio Remoto	446
Pantalla del estado del Sitio Remoto	448
Pantalla de resumen de fallas de F.I. de la estación maestra	449
3.4 DISEÑO DE LOS ENLACES DE ULTIMA MILLA	451
Enlace de microondas	453
Zonas de Fresnel	459
3.5 REDES PUBLICAS Y PRIVADAS EN MEXICO	463
3.6 CONECTIVIDAD CON OTRAS REDES	467
3.7 PROVEEDORES DEL EQUIPO	468
3.8 TENDENCIAS DE LAS REDES VSAT	469
CONCLUSIONES	471
APENDICE A	473
APENDICE B	497
APENDICE C	503
GLOSARIO	511
BIBLIOGRAFIA	529

INTRODUCCION

INTRODUCCION

Las telecomunicaciones han llegado a convertirse en uno de los principales factores en la modernización de las actividades económicas, al proveer ventajas a las empresas que hacen uso intensivo de ellas.

Las telecomunicaciones son parte integrante de una política de fomento industrial, comercial y de servicios, en particular por la función que desempeñan en la economía y en la sociedad, función que tiende a aumentar.

Uno de los resultados más fascinantes y notables obtenidos a partir de los programas espaciales es la tecnología de los satélites artificiales. La llegada de estos aparatos electrónicos tan complejos han modificado notablemente la forma de vida del mundo, y gracias a ellos conocemos con gran precisión los recursos naturales de la tierra y los fenómenos meteorológicos; las distancias entre las ciudades y los países se han acortado y ahora se pueden intercambiar todo tipo de información casi instantáneamente, y más allá de las capas atmosféricas podemos observar y comprender mejor el universo.

En general, todos los satélites artificiales funcionan bajo el mismo principio y constan de varias partes comunes, independientemente de su objetivo en órbita alrededor de la Tierra. Todo satélite es sólo un nodo o punto intermedio de la red de comunicaciones de la que forma parte, que se completa con las estaciones terrenas que se comunican a través de él.

Las comunicaciones por satélite han alcanzado en la actualidad una etapa muy importante en su desarrollo. Tradicionalmente, los satélites han sido utilizados para

INTRODUCCION

brindar el servicio de telecomunicaciones Internacionales, a través de enormes antenas de entrada conectadas a las redes nacionales de comunicaciones de cada país.

La comunicación via satélite y las estaciones terrenas son un tema de gran actualidad que atrae la atención de muchas personas; pero muy particularmente de aquellas que en alguna forma estan vinculadas a las telecomunicaciones.

El motivo principal de esta tesis es dar conocer de una manera fácil y sencilla, que son, y como es el funcionamiento básico de las redes de transmisión de datos via satélite tipo VSAT, esta transmisión la realizan por medio de estaciones remotas de pequeña apertura (VSAT). La tesis inicia con un capítulo destinado a todos los elementos que intervienen de alguna u otra manera en el funcionamiento de este tipo de redes, en éste, se describen los diferentes tipos de modulación, codificación, técnicas de acceso al satélite; se da una visión general del funcionamiento de una estación terrena mejor conocida como *segmento terrestre*; además de explicar el funcionamiento y la puesta en órbita de un satélite de tipo geostacionario conocido también como *segmento espacial*. El último punto de este capítulo es el que describe las normas que más se utilizan para las transmisiones por satélite a nivel nacional e internacional, así como las normas X.25 de CCITT, y las correspondientes a las principales interfaces utilizadas en las redes VSAT.

Posteriormente el segundo capítulo nos da una panorámica del funcionamiento de cada uno de los elementos que intervienen en la Estación Maestra, en sí este capítulo consta de los dos principales subsistemas que componen a la estación maestra (*Radi frecuencia, frecuencia intermedia*), además de un punto destinado a la explicación de los elementos que componen una estación remota.

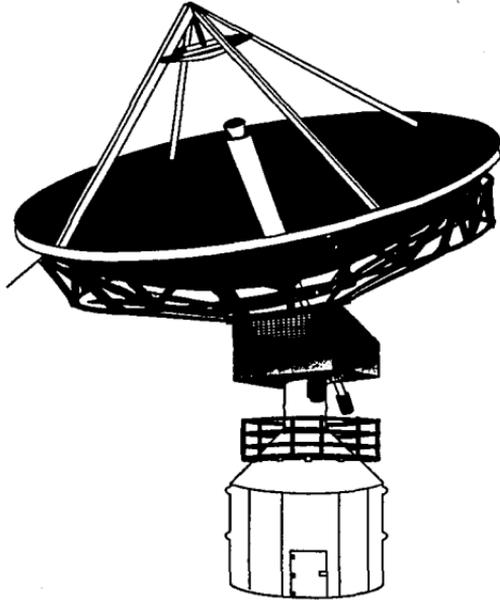
INTRODUCCION

En el último capítulo se describe el funcionamiento en conjunto de todos los elementos descritos en los dos capítulos anteriores. Primero se explica el funcionamiento de la estación maestra utilizando un solo satélite, describiendo las características principales de estas redes, posteriormente se da una explicación del funcionamiento de una estación maestra pero ahora utilizando dos satélites simultáneamente, para tener cobertura no solo a nivel nacional si también a nivel intercontinental, además de describir las principales características de monitoreo y control de estas redes. En cada uno de los casos anteriores se obtiene el cálculo del enlace real para un satélite nacional y también el cálculo de enlace para un satélite internacional (*Intelsat*).

Para concluir este trabajo se da una explicación general de las redes VSAT públicas y privadas que se encuentran actualmente operando en México, se explica un punto referente a la conectividad que pueden tener estas redes con otros tipos de redes que ya se tengan; otro punto trata sobre quienes son las principales compañías que proveen el equipo en México y en la mayor parte del mundo, y por último se da una explicación de cuales son las tendencias de estas redes a nivel mundial.



CONCEPTOS TEORICOS



1.1 MODULACION

La modulación es el proceso por el cual algunas características de la forma de onda de la portadora se varían en una correspondencia uno a uno con la señal que contiene la información, que se conoce como mensaje. Dicho de otra manera, modulación es la variación sistemática de alguna característica de la onda portadora como la frecuencia, la fase o la amplitud, o una adecuada combinación de ellas, y esto va a ser de acuerdo con la función de la señal mensaje. Algunas de las razones existentes que se consideran importantes para modular una señal son:

- Facilidad de radiación
- Asignación de canales
- Transmisión multiplex
- Reducción de ruido e interferencia
- Superar las limitaciones del equipo para una transmisión eficiente

Así también dependiendo de las características de la señal mensaje del canal, de la respuesta que se desea obtener del sistema total de comunicaciones, del uso de los datos transmitidos y de los factores económicos, es como se aplicarán las diferentes técnicas existentes para modular una señal, las cuales ayudarán a seleccionar el tipo de modulación que deberá aplicarse.

Los dos tipos básicos de modulación analógica son:

- *Modulación de onda continua*
- *Modulación por pulsos*

Hay dos tipos básicos de modulación de onda continua:

- *Modulación angular*
- *Modulación lineal.*

En la modulación por onda continua un parámetro de la portadora varía en proporción con la señal mensaje o moduladora, de tal manera que deberá existir una correspondencia uno a uno entre el parámetro y la señal mensaje. Cuando la amplitud se encuentra linealmente relacionada con la señal moduladora, el resultado será una modulación lineal. Cuando la fase y la frecuencia están linealmente relacionadas con la señal moduladora en forma colectiva se conoce como modulación angular.

Existen varios tipos de modulación analógica por pulsos, algunos de ellos son:

- *Modulación por Amplitud de Pulsos (PAM)*
- *Modulación por Ancho de Pulsos (PWM)*
- *Modulación por Posición de Pulsos (PPM)*

Un ejemplo de estos tipos de modulación se encuentra en figura 1.1. La modulación por pulsos es el resultado que se obtiene cuando se muestrea la señal y se usa una portadora de tren de pulsos. Un parámetro de cada pulso se varía en una correspondencia uno a uno con el valor de cada muestra.

En la modulación por amplitud de pulsos, la amplitud de un tren de pulsos digitales se varía en forma proporcional con la amplitud de la señal moduladora. Básicamente la amplitud de la señal moduladora se muestrea por el tren digital de pulsos,

de acuerdo con el teorema de muestreo, que da la frecuencia mínima a que debe muestrearse aquella señal.

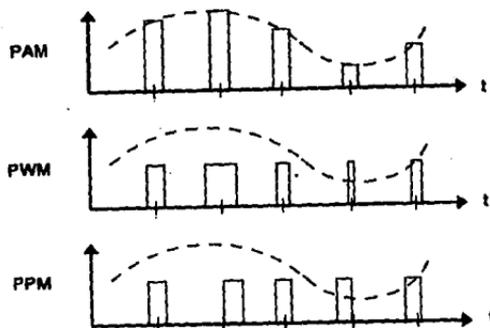


Figura 1.1 Tipos de modulación PAM, PWM o PDM y PPM

La técnica para variar la anchura de un pulso por la señal moduladora se llama modulación por ancho de pulsos o *PWM* por tanto cada uno de los frentes anterior o posterior o ambos del pulso puede variarse en función de la señal moduladora.

El proceso de variar la posición o tiempo de ocurrencia de un pulso debido a la señal moduladora recibe el nombre de modulación por posición de pulsos (*PPM*). La forma de realizar tal proceso consiste en desplazar cada impulso desde su posición sin modular, en una cantidad proporcional a la señal moduladora.

Debido al avance que existe en la tecnología de las comunicaciones, se hace común usar frecuentemente técnicas de modulación digital, ya que al aplicar estas técnicas se logra minimizar algunos efectos, tales como el ruido y la interferencia.

Como ya se mencionó ante la importancia que tienen las comunicaciones digitales, y el enfoque que este trabajo tiene solo nos dirigiremos a algunas técnicas básicas de modulación digital. Se tiene que éstas se encuentran divididas en dos grupos:

- *Modulación coherente*
- *Modulación no coherente*

Se llama coherente al sistema digital, si está disponible una referencia local de demodulación, que esté en fase con la portadora transmitida. Si no sucede así al sistema se le llama no coherente.

Dentro de los sistemas coherentes se encuentran:

- *Manipulación por Corrimiento de Fase (PSK)*
- *Manipulación por Corrimiento de Frecuencia (FSK)*
- *Manipulación por Corrimiento de Amplitud (ASK)*

Estos sistemas se ilustran en la figura 1.1-a, y en los llamados híbridos podemos encontrar:

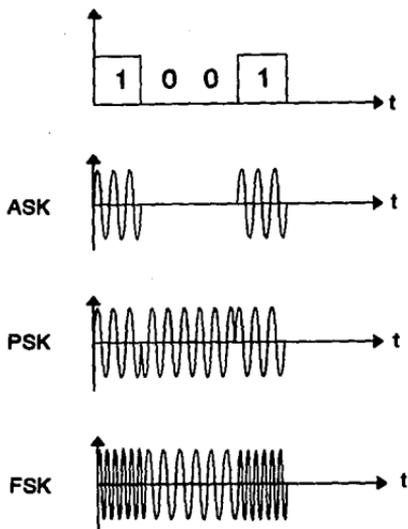


Figura 1.1-a Modulación ASK, PSK y FSK

- *Manipulación por Encendido y Apagado (OOK)* figura 1.1-b.

En los no coherentes esta:

- *Manipulación de Variación de Fase Diferencial*, figura 1.1-c

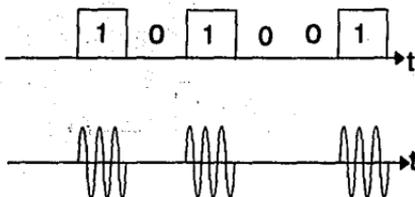


Figura 1.1-b Señal de manipulación por encendido y apagado

$b'(t)$	1	0	1	1	0	1	0	0	1
$b(t)$	1	1	0	0	0	1	1	0	1
fase	0	0	π	π	π	0	0	π	0

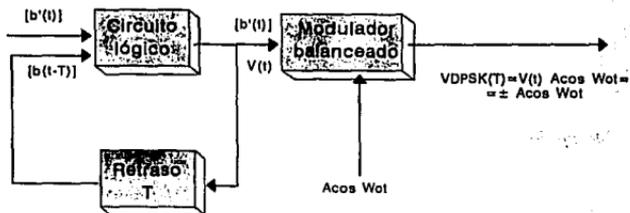


Figura 1.1-c Manipulación de variación de fase diferencial DPSK y método para generar una señal DPSK

1.1.1 MODULACION DE AMPLITUD

La modulación lineal es en esencia, la traslación directa de frecuencia del espectro del mensaje, las modificaciones al espectro trasladado dan lugar a la modulación de amplitud convencional AM. El carácter distintivo de la onda de AM radica en que la envolvente de la portadora modulada tiene la misma forma que la de la onda del mensaje.

Es un proceso que consiste en variar la amplitud de una onda portadora de RF en función de la tensión moduladora. La amplitud de la onda portadora varía linealmente con los valores que toma la señal moduladora que esta formada espectralmente por una banda de audiofrecuencias (generalmente) como es el caso de las señales de voz o musicales. Para simplificar el análisis se considera primero la señal moduladora constituida por un solo tono de audio, para extender posteriormente al análisis al caso práctico de una señal de audio más compleja.

Consideremos ahora una onda portadora de radiofrecuencia dada por:

$$v_c = V_c \text{ sen } \omega c t$$

donde:

$\omega c = 2\pi f_c$ y f_c es la frecuencia de la portadora.

Si la señal moduladora se escribe como $v_m = V_m \text{ sen } \omega m t$

donde:

$\omega m = 2\pi f_m$ y f_m es la frecuencia de la señal de audio, entonces puede verse en la figura 1.1.1. que la amplitud de la portadora modulada varía senoidalmente entre los valores de $(V_c + V_m)$ y $(V_c - V_m)$.

Si $V_m/V_c = m$ que es el índice de modulación, entonces $V_m = mV_c$, y la fórmula que expresa la señal modulada es:

$$v_c = (V_c + V_m \sin \omega_m t) \sin \omega_c t$$

o

$$v_c = V_c \sin \omega_c t + m V_c \sin \omega_c t * \sin \omega_m t$$

como $\sin \omega_c t * \sin \omega_m t = \frac{1}{2} [\cos(\omega_c - \omega_m)t - \cos(\omega_c + \omega_m)t]$

luego

$$v_c = V_c \sin \omega_c t + (mV_c/2) \cos(\omega_c - \omega_m)t - (mV_c/2) \cos(\omega_c + \omega_m)t$$

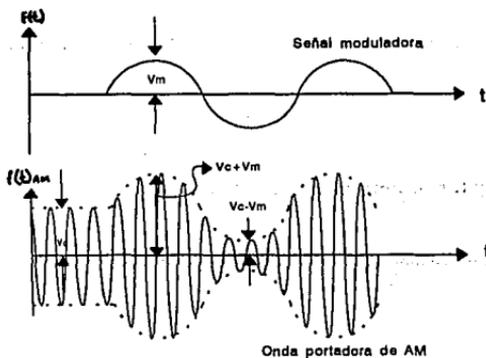


Figura 1.1.1 Característica de una onda de AM

La última ecuación muestra que una onda de *AM* tiene tres componentes frecuenciales. La frecuencia del primer término es la frecuencia de la portadora, la correspondiente al segundo término es la frecuencia de la banda lateral inferior o la frecuencia lateral inferior, y el último término la frecuencia lateral superior.

Las frecuencias laterales están por encima o por debajo de la frecuencia de la portadora en un valor igual a f_m . Siendo la amplitud de las mismas $mV_c/2$ con el espectro representado en la figura 1.1.1-a.

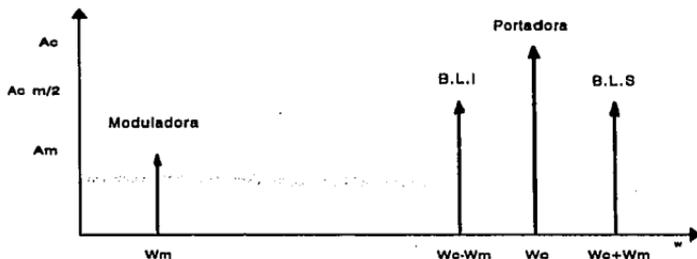


Figura 1.1.1-a Amplitud y frecuencia de las bandas de AM

En el caso de que la señal moduladora no fuera senoidal, sino una señal más complicada, como la que representa la voz humana, tendremos en lugar de frecuencias laterales, bandas laterales, obteniéndose el espectro de la figura 1.1.1-b.

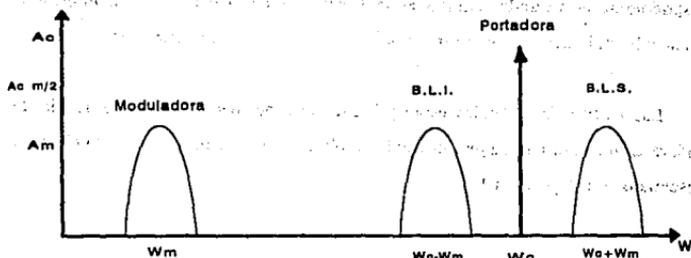


Figura 1.1.1-b Espectro de una onda de AM con moduladora de varias frecuencias

En la figura 1.1.1-c se representa una señal modulada en amplitud con diferente índice de modulación, siendo:

- a) Señal moduladora o mensaje
- b) Señal portadora
- c) Señal de AM
- d) Señal de AM con portadora suprimida
- e) Señal de la banda lateral superior
- f) Señal de la banda lateral inferior

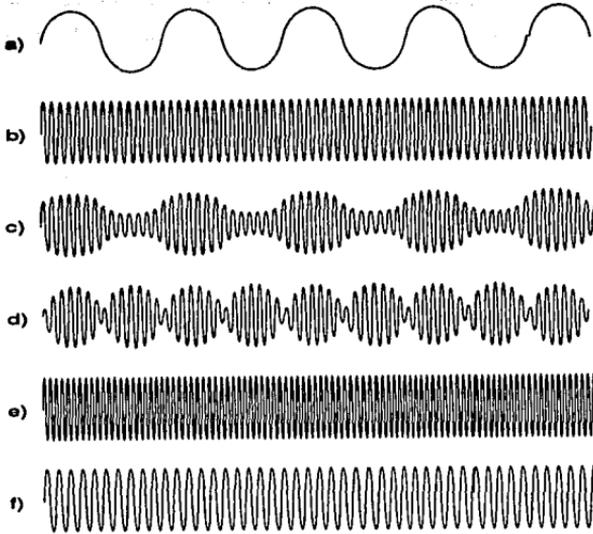


Figura 1.1.1-c Señales en una onda de AM.

1.1.2 MODULACION EN FRECUENCIA

En competencia con la modulación de amplitud, algunos sistemas utilizan modulación angular debido a la inmunidad de los mismos, frente a las variaciones de amplitud del ruido. En la modulación angular se varía la fase instantánea de la onda

portadora. Algunos ejemplos típicos de la utilización de la *FM* son la radiodifusión VHF, las comunicaciones por satélite y el radar de *FM*, como la que se indica en la figura 1.1.2, requiere un ancho de banda más grande que la de una onda portadora de *AM*, pero menor potencia.

El proceso que consiste en variar la frecuencia de una onda portadora proporcionalmente a una señal moduladora se le conoce como modulación de frecuencia. La amplitud de la portadora de una onda de *FM* es constante. Durante la modulación, la frecuencia de la portadora aumenta cuando la tensión de la moduladora se incrementa en valores positivos y disminuye cuando la tensión moduladora pasa por valores negativos, como se ilustra en la figura 1.1.2.

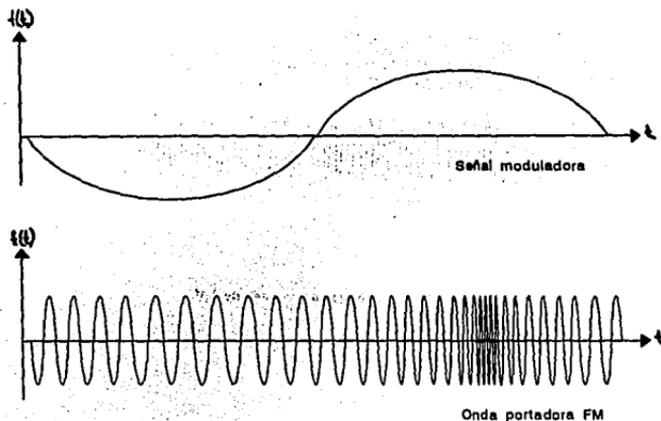


Figura 1.1.2 Señal de FM

Para obtener una fórmula que represente una onda de FM supóngase que la onda portadora instantánea se representa por:

$$v_c = V_c \text{sen} \omega t = V_c \text{sen} 2\pi f t$$

donde f_i es la frecuencia instantánea. Para un incremento positivo de la frecuencia tenemos:

$$f_i = f_c + df_c \text{sen} \omega t$$

donde f_c es la frecuencia portadora y df_c es la desviación de frecuencia de la onda portadora producida por la señal moduladora de frecuencia f_m .

Si la fase instantánea de la portadora es ϕ_i entonces:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}\pi(d\phi_i/dt) &= f_i = f_c + df_c \text{sen} \omega t \quad \text{ó} \\ d\phi_i/dt &= 2\pi f_i = \omega_c + 2\pi df_c \text{sen} \omega t \end{aligned}$$

integrando y eligiendo correctamente la fase, tenemos:

$$\begin{aligned} \phi_i &= \omega_c t - df_c/f_m \cos \omega t \quad \text{ó} \\ \phi_i &= \omega_c t - mf \cos \omega t \end{aligned}$$

donde $mf = f_c/f_m$ es el índice de modulación.

como $v_c = V_c \text{sen} \phi_i$

obtenemos:

$$vc = Vc \text{sen}\{wct - mf \text{cos}wmt\}$$

que representa a una onda de *FM*.

Para obtener el espectro de la señal de *FM* tenemos que desarrollando *vc* resulta:

$$vc = Vc[\text{sen}wct * \text{cos}(mf\text{cos}wmt) - \text{cos}wct * \text{sen}(mf\text{cos}wmt)]$$

Ahora considerando la expresión $\text{sen}(mf\text{cos}wmt)$ que aparece como factor del lado derecho de la ecuación, es una función periódica que tiene una frecuencia angular wm . Es posible expandir esta serie en términos de la serie de Fourier en la que $wm/2\pi$ es la frecuencia fundamental. Los coeficientes son función de mf , el resultado de la serie de Fourier es:

$$\text{sen}(mf\text{cos}wmt) = 2J_1(mf)\text{cos}wmt - 2J_3(mf)\text{cos}3wmt + \dots$$

y lo mismo sucede para el factor $\text{cos}(mf\text{cos}wmt)$

$$\text{cos}(mf\text{cos}wmt) = J_0(mf) - 2J_2(mf)\text{cos}2wmt + 2J_4(mf)\text{cos}4wmt$$

Los coeficientes $J_n(mf)$ son funciones de Bessel de primera especie y orden n . Un diagrama usual de las funciones de Bessel $J_0(mf)$, $J_1(mf)$, $J_2(mf)$, etc., para diferentes valores de mf se indica en la figura 1.1.2-a y esta tabulada en la figura 1.1.2-b sustituyendo en *vc* resulta:

$$vc = Vc[\text{sen}wct\{J_0(mf) - 2J_2(mf)\text{cos}2wmt + 2J_4(mf)\text{cos}4wmt + \dots\} \\ - \text{cos}wct\{2J_1(mf)\text{cos}wmt - 2J_3(mf)\text{cos}3wmt + \dots\}]$$

$$\begin{aligned}
 v_c = & V_c [J_0(mf) \operatorname{sen} \omega c t - 2J_1(mf) \cos \omega c t * \cos \omega m t + \\
 & + 2J_3(mf) \cos \omega c t * \cos 3\omega m + \\
 & + 2J_4(mf) \operatorname{sen} \omega c t * \cos 4\omega m t + \dots
 \end{aligned}$$

donde

$$2 \cos A \cos B = \cos(A+B) + \cos(A-B)$$

$$2 \operatorname{sen} A \cos B = \operatorname{sen}(A+B) + \operatorname{sen}(A-B)$$

con lo que obtenemos:

$$\begin{aligned}
 v_c = & V_c [J_0(mf) \operatorname{sen} \omega c t - J_1(mf) \{ \cos(\omega c + \omega m)t * \cos(\omega c - \omega m)t \\
 & - J_2(mf) \{ \operatorname{sen}(\omega c + 2\omega m)t + \operatorname{sen}(\omega c - 2\omega m)t \} \\
 & + J_3(mf) \{ \cos(\omega c + 3\omega m)t + \cos(\omega c - 3\omega m)t \} + \dots]
 \end{aligned}$$

que contiene un número infinito de bandas laterales cuyas amplitudes son los valores dados por las funciones de Bessel $J_0(mf)$, $J_1(mf)$, etc. En la figura 1.1.2-c se representan los espectros que corresponden a valores de $mf = 0.2$ y $mf=5$ respectivamente.

Puede observarse en dicha figura que cuando mf es pequeño hay pocas frecuencias con amplitud grande en las bandas laterales, y cuando mf es grande, hay muchas frecuencias en esas bandas pero con amplitudes muy pequeñas. Por consiguiente, en la práctica solo se necesita considerar un número finito de componentes de las bandas laterales cuyas amplitudes sean mayores que un valor aproximado al 4% de la amplitud de la portadora sin modular. En los sistemas *FM* existentes, la desviación de frecuencia se considera normalmente definida por la anchura de la banda disponible del sistema. La

mayoría de las estaciones radiodifusoras de FM utilizan una desviación de frecuencias de ± 75 KHz para la frecuencia moduladora más alta que se pueda transmitir.

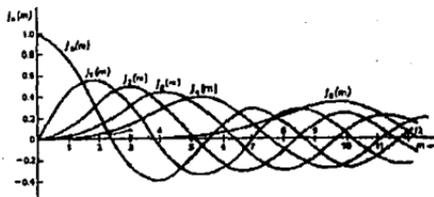


Figura 1.1.2-a Funciones de Bessel

m	$J_0(m)$	$J_1(m)$	$J_2(m)$	$J_3(m)$	$J_4(m)$	$J_5(m)$	$J_6(m)$	$J_7(m)$	$J_8(m)$	$J_9(m)$	$J_{10}(m)$
0	1.000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.2	0.990	0.099	0.005	—	—	—	—	—	—	—	—
0.4	0.960	0.196	0.019	0.001	—	—	—	—	—	—	—
0.6	0.912	0.286	0.043	0.004	—	—	—	—	—	—	—
0.8	0.846	0.368	0.075	0.010	0.001	—	—	—	—	—	—
1.0	0.765	0.440	0.114	0.019	0.002	—	—	—	—	—	—
2.0	0.223	0.576	0.352	0.128	0.034	0.007	0.001	—	—	—	—
3.0	-0.260	0.339	0.486	0.309	0.132	0.043	0.011	0.002	—	—	—
4.0	-0.397	-0.066	0.364	0.430	0.281	0.132	0.049	0.015	0.004	—	—
5.0	-0.177	-0.327	0.046	0.364	0.391	0.261	0.131	0.053	0.018	0.005	0.001
6.0	0.150	-0.276	-0.242	0.114	0.357	0.362	0.245	0.129	0.056	0.021	0.006
7.0	0.300	-0.004	-0.301	-0.167	0.157	0.347	0.339	0.233	0.128	0.058	0.023
8.0	0.171	0.234	-0.113	-0.291	-0.105	0.185	0.337	0.320	0.223	0.126	0.060
9.0	-0.090	0.245	0.144	-0.180	-0.265	-0.055	0.204	0.327	0.305	0.214	0.124
10.0	-0.245	0.045	0.254	0.058	-0.219	-0.234	-0.014	0.216	0.317	0.291	0.207

Figura 1.1.2-b Tablas de Bessel

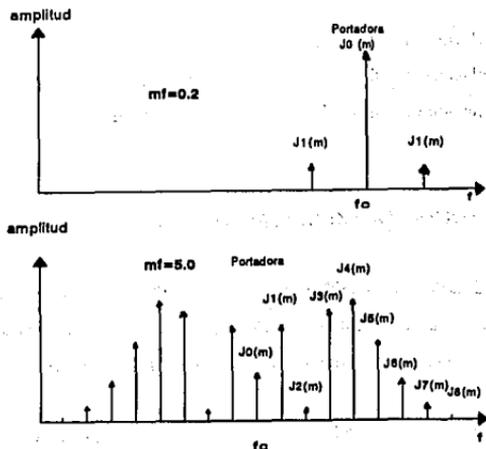


Figura 1.1.2-c Espectros a valores de 0.2 y 0.5 de mf

1.1.3 MODULACION DIGITAL

Las señales que se generan en un sistema de transmisión de datos son de naturaleza binaria, que consisten en una serie de pulsos eléctricos representados por niveles de voltaje de referencia a los cuales se les asigna como uno al valor máximo (marca) y como un cero al nivel mínimo (espacio).

Los datos digitales formados por las dos señales binarias marca y espacio o 1 y 0, pueden transmitirse variando la amplitud, la fase o la frecuencia de una onda portadora senoidal. El tipo de modulación que emplea una señal digital para modular una onda portadora senoidal recibe el nombre de modulación digital. Los tres tipos más utilizados son:

- Modulación digital por desplazamiento de amplitud
- Modulación digital por desplazamiento de fase
- Modulación digital por desplazamiento de frecuencia.

1.1.4 MODULACION POR CODIFICACION DE PULSOS

La Modulación por codificación de pulsos (*PCM*) es una técnica en la cual una onda analógica es transmitida de un modo digital equivalente. Utiliza grupos de pulsos codificados para representar ciertos valores de la señal moduladora.

Como la señal moduladora se compone de un grupo continuo de valores, se divide en un grupo finito de magnitudes discretas entre un límite superior y un límite inferior. Esta técnica de división recibe el nombre de cuantización. Una señal cuantizada es una aproximación a la señal analógica.

Para generar una señal *PCM* se requieren tres procesos:

- *Muestreo*
- *Cuantización*
- *Codificación*

La señal analógica que se transmite es primero muestreada y las muestras resultantes forman un tren de pulsos modulados en amplitud. A continuación, a dichos impulsos se les asigna un valor cuantizado, siendo realizada esta operación por un cuantizador. Los pulsos cuantizados son codificados normalmente en grupos, de acuerdo con el código binario. Cada grupo de pulsos representa su nivel cuantizado como un

número binario y el número máximo de pulsos en un grupo depende del número total de niveles cuantizados elegidos para el sistema. Es usual utilizar 128 niveles para representar señales de voz.

Las diferencias entre los niveles de las señales analógicas y las cuantizadas conducen a una incertidumbre que se conoce como ruido de cuantización. Este tipo de ruido solo puede reducirse utilizando un número mayor de niveles.

El diagrama a bloques para un sistema *PCM* con un solo canal puede verse en la figura 1.1.4 La señal analógica se convierte primero en una señal de banda limitada empleando un filtro paso bajas cuya frecuencia máxima de corte es W , elegida según el teorema del muestreo y a continuación se muestrea. Los pulsos muestreados se aproximan al nivel cuantizado más cercano y las muestras cuantizadas se convierten en grupos de información binaria en el codificador. En la figura 1.1.4-a se muestran las diferentes señales que intervienen en el proceso.

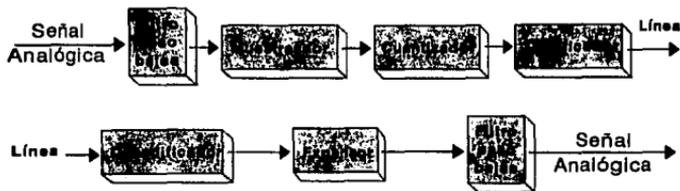


Figura 1.1.4 Diagrama a bloques del Sistema PCM

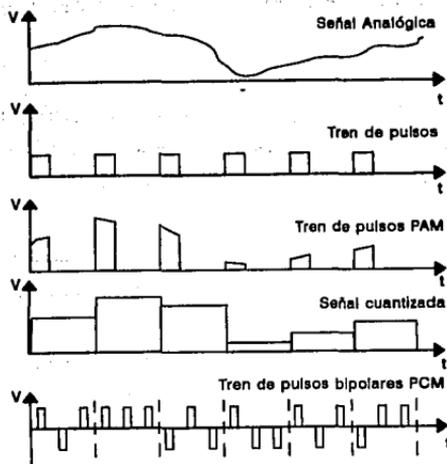


Figura 1.1.4-a Señales que intervienen en el proceso de modulación PCM

La principal ventaja del *PCM* reside en su excelente relación señal a ruido, que se obtiene a expensas de un aumento en el ancho de banda. Como es solamente necesario detectar la presencia o ausencia de un pulso, los impulsos pueden regenerarse a lo largo de la línea, con lo que de esta manera se asegura que no se degenera la relación señal a ruido a lo largo de la ruta en la que se establece la comunicación. Esto último está en marcado contraste con otros sistemas en los que la relación señal a ruido va progresivamente empeorando a través del sistema.

Su mayor desventaja radica en el hecho de requerir un mayor ancho de banda y su complejidad. El aumento del ancho de banda se debe a que tienen que transmitirse $2nW$ impulsos por segundo donde n es el número de pulsos en cada grupo de pulsos *PCM* y W es la frecuencia más alta a que se transmite.

La complejidad se debe al hecho de que el *PCM* necesita la regeneración y codificación de pulsos muy estrechos. También exige un sistema de temporización lo más preciso posible para minimizar los errores digitales.

Un estudio detallado del ruido en los sistemas *PCM* revela que introducen errores debido a la incertidumbre en enviar un "uno" o un "cero" en correspondencia de un nivel dado, tales errores equivalen a ruido adicional en el sistema, los cuales pueden solamente reducirse utilizando un gran número de niveles (ruido de cuantización).

Una evaluación del cociente señal ruido de un sistema *PCM* muestra que para valores de dicho cociente inferiores a 10, este aumenta exponencialmente con el ancho de banda.

Como esto es también cierto para un sistema ideal como el propuesto por Shannon, la comparación con un sistema ideal indica que las exigencias de potencia de un sistema *PCM* para condiciones similares de un error mínimo en la transmisión, son alrededor de 8dB más grandes que en el caso ideal, como se indica en la figura 1.1.4-b.

En el caso de la industria telefónica se ha establecido la siguiente estandarización. Para una señal de voz de 4000 Hz, muestreada a razón de 8000 muestras por segundo, con 8 bits se requieren 64000 bps, los cuales implican 16 veces el ancho de banda de su equivalente analógico.

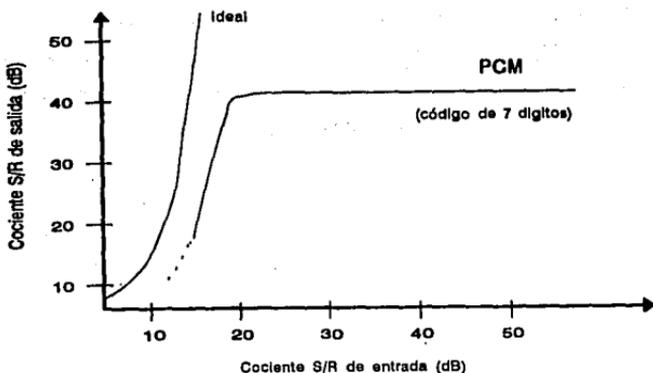


Figura 1.1.4-b Relación señal a ruido de un sistema ideal y un sistema PCM

La codificación consiste en convertir la muestra cuantizada en grupos de pulsos (2 niveles) de amplitud fija. El resultado de aplicar la codificación es una secuencia de bits, los cuales se pueden aplicar a la línea con o sin pasos de modulación adicionales, dependiendo del sistema de comunicaciones que se utilice.

Su funcionalidad está basada en el teorema de muestreo. Tiene aplicación en la transmisión de voz, en donde existe mayor probabilidad de encontrar señales de amplitud pequeña que señales de amplitud grande. Se pueden elegir diferentes formas de representación en código binario, antes de introducir la señal al modulador. Los formatos de codificación más importantes son: *RZ*, *RB*, *AMI*, *MANCHESTER*, *MARCA*, *NRZ (L)*, *NRZ (M)*, *NRZ (S)*, *MILLER*, etc. y se ilustran en la figura 1.1.4-c.

El caso general de *PCM* se tiene cuando cada muestra cuantizada se codifica con N pulsos, siendo cada uno de estos de M niveles, esta muestra puede provenir de

diferentes canales en el caso de que se este utilizando un esquema de multicanalización en el tiempo.

Una vez que las muestras son cuantizadas, se convierten a grupos de bits, cuyo número depende de la codificación empleada. El número de niveles de cuantización determinará el número de bits utilizados en la codificación.

Para dar consistencia a la información transmitida se debe establecer un compromiso al asignar el número de niveles, el nivel del ruido de cuantización y la precisión requerida en la información, ya que de éstos parámetros dependerá el ancho de banda necesario.

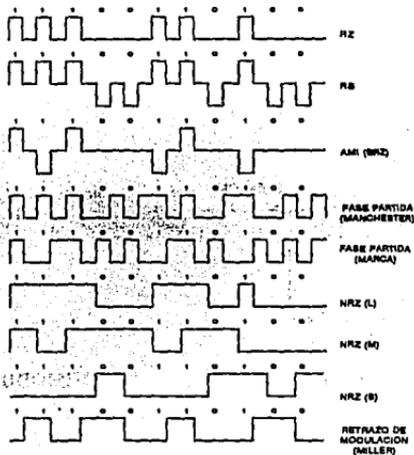


Figura 1.1.4-c Formatos de codificación

1.1.5 MODULACION DELTA

La modulación delta utiliza un código con un solo dígito, el cual lleva información sobre la derivada de la amplitud de la señal en vez de la amplitud real como sucede en *PCM*. Esto se realiza integrando la salida del modulador y comparándola luego con la señal de entrada en un comparador. Se transmite entonces un pulso que tiene la polaridad necesaria para reducir la señal diferencia procedente del comparador.

Los impulsos transmitidos son integrados y pasados por un filtro paso bajas para eliminar las componentes de alta frecuencia indeseadas en el receptor. La salida esta formada por la señal analógica original junto con algún ruido adicional que es algo similar al ruido de cuantización. Un diagrama a bloques puede verse en la figura 1.1.5.

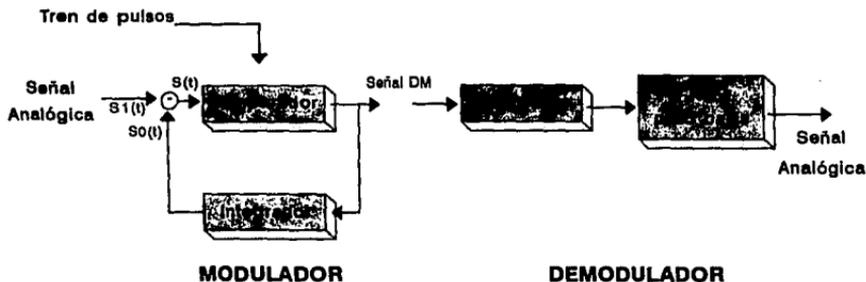


Figura 1.1.5 Diagrama a bloques de un modulador y de un demodulador delta

La señal de entrada analógica $S(t)$ y la señal de salida integrada $So(t)$ se cotejan en el comparador y la señal diferencia $s(t) = S_i - S_o$ entra al modulador junto con un tren de pulsos procedente de un generador que produce pulsos de referencia (generador de reloj). Cuando $S(t)$ es positivo se transmite un pulso negativo y cuando $S(t)$ es negativo se transmite un pulso positivo. Si $S(t)$ es cero se transmiten impulsos alternados positivos y negativos. Esto se muestra en la figura 1.1.5-a. El receptor esta formado por un circuito integrador seguido por un filtro paso bajas. La señal recibida después de la integración da lugar a una onda de tipo escalera que sigue aproximadamente la señal analógica original (figura i) y en la que cualquier diferencia entre ellas aparece como ruido de cuantización véase la figura ii).

Es esencialmente una conversión analógica-digital de una señal, donde la información contenida en los instantes de muestreo son representados por palabras de código en una secuencia de bits.

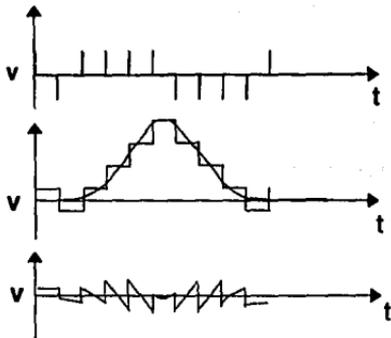


Figura 1.1.5-a Señales transmitidas en un demodulador delta

Un esquema general de modulación delta se muestra en la figura 1.1.5-b. En el transmisor, el valor muestreado $X(kT)$ de $X(t)$ se compara con un valor de predicción $\hat{X}(k)$, y la diferencia $X(kT) - \hat{X}(k)$ se cuantiza en uno de dos valores $+A$ o $-A$. La salida del cuantizador se codifica utilizando un código binario por muestra y después es enviada al receptor. En el receptor, el valor decodificado de la señal diferencia, es sumado al valor predicción inmediato de la salida del receptor.

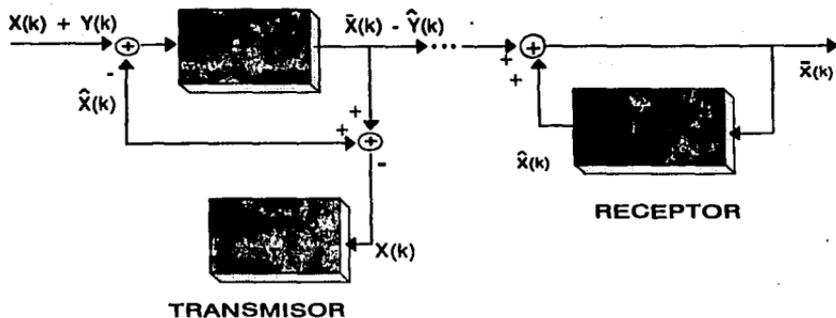


Figura 1.1.5-b Sistema de modulación delta, razón de muestreo = $1/T$

La operación de la modulación delta puede visualizarse con las señales que se muestran en la figura 1.1.5-c. La señal de mensaje $X(t)$ se compara con una aproximación $\hat{X}(t)$, y la señal diferencia $Y(t) = X(t) - \hat{X}(t)$ se cuantiza en dos niveles:

si $X(t) - \hat{X}(t) < 0$ se envía $-A$

si $X(t) - \hat{X}(t) > 0$ se envía $+A$

por lo tanto si hay sólo dos posibles valores de impulso para $Y_{sq}(t)$ (señal del cuantizador delta): esta señal puede transmitirse usando una secuencia binaria.

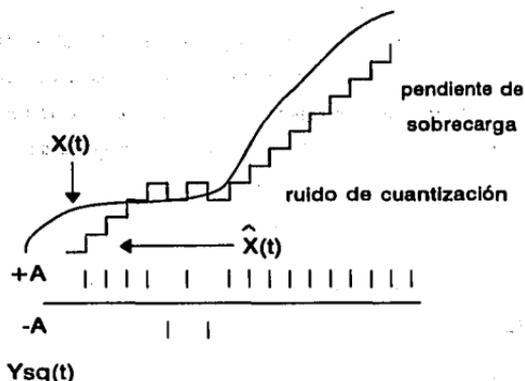


Figura 1.1.5-c Formas de onda de la modulación delta

La demodulación de la señal se realiza por la integración de $Y_{sq}(t)$, para formar la aproximación por escalones de $X(t)$. La señal puede entonces hacerse pasar por un filtro paso bajas para suprimir los saltos discretos de $X(t)$.

En las aplicaciones prácticas, la salida del generador de pulsos, no es naturalmente una secuencia de funciones pulso, más bien, es una secuencia de pulsos que son estrechos con respecto a sus períodos, lo que requiere amplios anchos de banda.

Por otra parte, el esquema de la modulación delta sufre dos tipos de ruido:

- *Ruido de cuantización*
- *Sobrecarga de pendiente*

El ruido de cuantización se origina al asignar un nivel de salida a la diferencia entre las muestras y el valor de predicción, ya que esta diferencia no es exactamente el nivel asignado $+A$ o $-A$, sino que es una aproximación a estos. En la modulación delta, la reducción del ruido de cuantización sólo puede reducirse muestreando a una mayor frecuencia.

La sobrecarga de pendiente se produce cuando la pendiente de la señal de entrada excede la capacidad del sistema de seguir de cerca a la fuente analógica a una velocidad de muestreo dada.

La ventaja de los sistemas delta es que los circuitos para la modulación en el transmisor y la demodulación en el receptor son sustancialmente más simples que otros sistemas de modulación, como por ejemplo *PCM* o *DPCM*. Esta sencillez electrónica hace a la modulación delta una técnica atractiva. La modulación delta se usa

principalmente para transmisión de señales de telefonía y telemetría. La modulación delta es casi tan buena como la *PCM* en lo referente a la calidad de los sistemas.

Una de las desventajas la constituye el hecho de que $Y_{sq}(t)$ (señal enviada en bits) esta formada por pulsos estrechos, lo que requiere utilizar amplios anchos de banda. Sin embargo éste puede ser menor que *PCM*. La modulación delta no puede emplearse con señales de video, ya que con la MD no puede transmitirse un nivel continuo.

1.1.6 MODULACION DELTA DOBLE PASO

Una de las formas de solucionar la pendiente de sobrecarga que se presenta en la modulación delta, es variar el tamaño de los pulsos de salida con que se codifica la señal diferencia. Esto es, utilizar dos tamaños de escalones de tal forma que cuando la diferencia sea pequeña, se genere un escalón pequeño, y un tamaño de escalón mayor cuando la señal diferencia sea mayor. Esto implica que se utilicen dos bits para la decodificación, teniendo cuatro posibles valores.

A este procedimiento se le denomina modulación delta de doble paso y su funcionamiento puede visualizarse en la figura 1.1.6.

La señal mensaje $X(t)$ se compara con una aproximación $X'(t)$ y la señal diferencia $Y(t) = X(t) - X'(t)$ se cuantiza en cuatro niveles:

si $A/2 < X(t) - X'(t) < 0$ se envía a $-A/2$

si $A/4 > X(t) - X'(t) < 0$ se envía a $-A/4$

si $A1 > X(t) - X(t) \geq 0$ se envía a $+A1$

si $A1 < X(t) - X(t) > 0$ se envía a $+A2$

donde:

$A1$ es un escalón pequeño y $A2$ es un escalón grande.

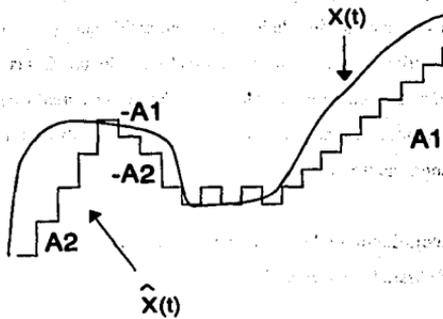


Figura 1.1.6 Operación de la modulación delta doble paso

1.1.7 MODULACION POR CODIFICACION DE PULSOS DIFERENCIAL

Es una técnica principalmente utilizada para codificación de voz en los sistemas comerciales telefónicos y en la transmisión muestreada de información en imagen. Una característica de éste tipo de señales al ser muestreadas a una frecuencia de *Nyquist* es que observan una buena correlación entre muestras, permitiendo que la diferencia ponderada entre la muestra *n-ésima* X_n y la siguiente X_{n+1} sea más pequeña que la variación de la señal misma. Es decir:

$$Dn(l) = X_n - a_1 X_{n-1}$$

$a_1 < 1$ - es la constante de ponderación que se escoge para hacer mínima la variación de la diferencia.

El diagrama a bloques de la técnica *DPCM* se muestra en la figura 1.1.7.

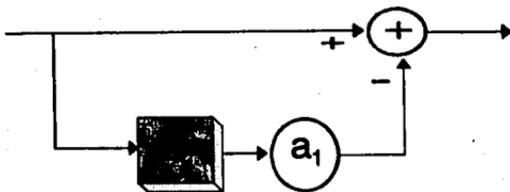


Figura 1.1.7 Diagrama a bloques de DPCM donde D representa un elemento de retraso

En el caso de la técnica *DPCM*, la salida del sistema es la primera diferencia de la señal de entrada, o sea:

$$Dn(a_1) = X_n - a_1 X_{n-1}$$

Existe una técnica que utiliza esta diferencia como el minuendo de una segunda diferencia y se le conoce como *Modulación por Codificación de Pulsos Diferencial Doble (DDPCM)* en donde:

$$Dn(a_1, a_2) = (X_n - a_1 X_{n-1}) - a_2 (X_{n-1} - a_1 X_{n-2})$$

El diagrama a bloques de la técnica *DDPCM* se muestra en la figura 1.1.7-a

La ventaja del empleo de esta técnica de codificación es el hecho de incrementar la capacidad del canal al reducir el ruido de cuantización por la reducción de la magnitud de la señal diferencia.

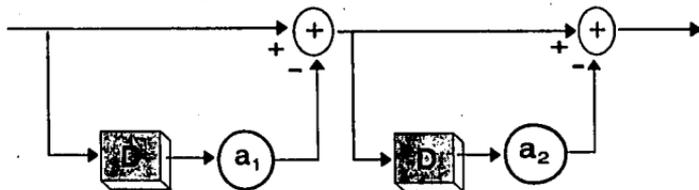


Figura 1.1.7-a Diagrama a bloques de la técnica DDPCM

1.1.8 MODULACION POR ENCENDIDO Y APAGADO

Este tipo de modulación manda una portadora cuando se quiere transmitir un uno y no manda portadora cuando se quiere transmitir un cero cuando se esta transmitiendo informacion figura 1.1.8.

El espectro de una señal con modulación por encendido y apagado (OOK) dependerá de la secuencia particular que se transmita. Una señal OOK esta dada generalmente por:

$$f_c(t) = Af(t)\cos\omega ct$$

donde $f(t) = 1$ ó 0 , sobre intervalos de T segundos de duración, por lo que su espectro estará dado por:

$$F_c(\omega) = A/2\{F(\omega - \omega c) + F(\omega + \omega c)\}$$

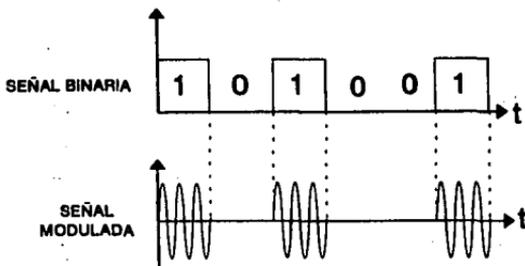


Figura 1.1.8 Señal OOK

1.1.9 MODULACION POR CORRIMIENTO DE FRECUENCIA

En este tipo de modulación se utilizan dos frecuencias portadoras que se conmutan "todo" o "nada" por las señales binarias. Una marca conmuta por una portadora mientras la otra portadora no existe y un espacio conmuta la segunda portadora mientras la primera desaparece. Por consiguiente, esto equivale a un tipo de *ASK* en el que se utilizan dos frecuencias portadoras diferentes. La detección puede llevarse a cabo utilizando detectores síncronos o de envolvente. En el último caso, se utilizan dos circuitos paso banda que están sintonizados respectivamente a las dos frecuencias diferentes. La posibilidad de error P_e debida al ruido es menor en los sistemas *FSK* que en los *ASK*, pero se obtiene a expensas de una anchura de banda más grande.

Una forma de realizar la demodulación consiste en filtrar inicialmente la señal recibida, para que solamente pasen al circuito posterior la gama de frecuencias que habíamos transmitido inicialmente, eliminando aquellas que por ruidos de línea o intermodulaciones aparezcan en el extremo receptor.

Filtrada la señal *FSK*, el siguiente paso sería rectificar la señal, y filtrarla de nuevo para obtener la envolvente y aplicar esta señal así obtenida a un comparador de tensión, que formará a partir de la señal que recibe en su entrada una señal digital idéntica a la que teníamos inicialmente en el terminal emisor (Figura 1.1.9).

Pese a la simplicidad del sistema anteriormente expuesto, no es sin embargo un sistema ideal, ya que como se puede observar en las figuras, se necesitan varios períodos de la señal analógica para, a partir de éstos, poder filtrar, rectificar y volver a filtrar; y ello lógicamente va en detrimento de la velocidad de transmisión de datos, ya que se tienen que utilizar varios períodos para transmitir un solo bit.



Figura 1.1.9 Diagrama a bloques de un sistema demodulador FSK

Existe otro sistema de demodulación que permite aumentar la velocidad de transferencia de los datos, y que consiste básicamente en demodular la señal en el extremo receptor de datos. La figura 1.1.9-a representa un diagrama a bloques de un detector síncrono.

El detector síncrono está básicamente formado por un circuito de sincronización de fase, un divisor de frecuencia, un filtro paso bajas y un circuito formador de pulsos para recuperar la información digital de una señal FSK.

La señal FSK representa una entrada al comparador de fase del circuito de sincronización de fase. El circuito comparador de fase emite una señal de error que se aplica por una parte al filtro de bucle, y por otra al oscilador controlado por voltaje (VCO). Esta señal cuadrada que genera el VCO se pasa a través del divisor de frecuencia, con lo que se obtiene en la entrada del comparador de fase una señal, de la misma frecuencia que la señal FSK que es con la que se compara.

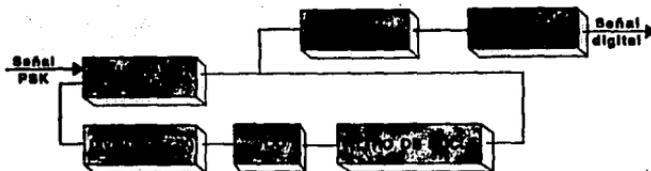


Figura 1.1.9-a Diagrama a bloques de un detector síncrono FSK

Las ondas cuadradas simétricas que se inyectan en el circuito comparador de fase, aun cuando están sintonizadas con las portadoras de frecuencia alta y baja (el PLL va a seguir los valores de frecuencia de la señal FSK) son desfasadas de manera diferente cada vez. En general el circuito se ajusta para que la frecuencia propia de oscilación del VCO sea el doble (observar el divisor por dos) de la frecuencia más elevada, es decir, para obtener la señal de error nula y por tanto en fase de 90° , estando el ángulo de defase para la frecuencia menor en función de dicho valor de frecuencia.

El comparador de fase produce por tanto un voltaje de error a partir de la diferencia de fase que es utilizada para recuperar la información digital.

La señal de error emitida desde el circuito de sincronización de fase es aplicada a un filtro paso bajas. El filtro paso bajas retira los componentes de frecuencia alta y amplifica la señal. Esta señal se aplica al circuito formador de pulsos, que recompone a partir de la señal que recibe, la señal cuadrada original.

La demodulación síncrona es más viable que la asíncrona, ya que permite recuperar la señal aún en presencia de ruido y además son necesarios menos períodos de la señal FSK para recuperar la señal de información digital.

Una señal con modulación por corrimiento de frecuencia se puede definir matemáticamente como:

$$f_c(t) = A \cos \omega t$$

$$f_c(t) = A \cos \omega_1 t \quad \text{para } -T/2 \leq t \leq T/2$$

El f_1 corresponde a la frecuencia f_1 y el f_2 a la frecuencia f_2 , es decir al transmitir un uno se manda una frecuencia f_1 y al mandar un cero se manda una frecuencia f_2 .

1.1.10 MODULACION POR CORRIMIENTO DE FASE

En esta modulación, las señales binarias se utilizan para conmutar la fase de una onda portadora entre dos valores que son normalmente 0° y 180° . Para una "marca" la portadora tiene una fase y para un "espacio" se invierte en 180 grados. Por consiguiente, se llama a veces modulación digital por inversión de fase.

En el caso de detectar señales binarias deben utilizarse detección coherente para determinar la fase de la señal recibida, lo que exige una referencia de fase procedente de un oscilador local coherente en el extremo receptor. En la práctica, esto último es difícil de conseguir por dificultades de sincronización. Una manera de superar las dificultades de sincronismo es utilizando como referencia la información de fase del dígito o bit

transmitido anterior, al que se considera en la detección. Tal tipo de modulación recibe el nombre de modulación digital por desplazamiento de fase diferencial. La probabilidad de error a causa del ruido es menor en los sistemas *PSK* que en los sistemas *FSK* o *ASK* y se obtiene un sistema óptimo cuando se utiliza una inversión de fase de 180° .

El demodulador básico esta formado por un filtro paso banda, un detector de producto, un sincronizador de portadora, un filtro paso bajas y un circuito formador de pulsos para recuperar la información digital como se indica en la figura 1.1.10.

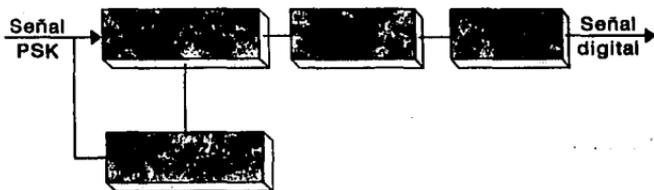


Figura 1.1.10 Demodulador básico para PSK

El sincronizador de portadora produce una señal de referencia generada localmente, a partir de la propia señal *PSK* que recibe, y que coincide con la señal de portadora, en principio solo en frecuencia, ya que el circuito sincronizador, formado

básicamente por un *PLL*, va a generar una señal de la misma frecuencia de la portadora, cuando el desfase entre esta y la señal *PSK* sea de 90 grados (señal de error cero).

Para demodular esta señal es necesario que la señal de referencia con la cual se va a demodular tenga la misma frecuencia y la fase que la portadora suprimida en el origen. Si el desfase fuera de 180 grados, obtendríamos la misma señal de información, aunque desplazada 180 grados.

La señal de referencia puede estar en fase o 180 grados de desfase en función de cómo se sincronice el *PLL* inicialmente, pero en cualquier caso sin ningún efecto sobre el contenido de la señal de información demodulada.

Para suprimir el desfase existente entre la señal de referencia y la señal de portadora suprimida (*PSK*) que vamos a demodular, se utilizan básicamente dos métodos.

El primer método consiste en aplicar la señal obtenida en el primer *PLL* a un segundo *PLL* con lo cual obtendríamos 90 grados del primer *PLL* más otros 90 grados del segundo *PLL*; en total 180 grados. Si esta señal la invertimos, el resultado será que esta señal de referencia estará en fase con la señal de portadora suprimida, pudiendo aplicarse ya al detector de producto (figura 1.1.10-a).

El segundo método consiste en utilizar un solo circuito *PLL* y hacer que el *VCO* oscile a una frecuencia del doble que la frecuencia de la portadora suprimida. Esta señal antes de aplicarsela al comparador de fase, se dividirá por dos con el fin de obtener un valor igual de frecuencia. La señal de referencia en fase y frecuencia se obtendrá a la salida de una compuerta or exclusiva, en la que una entrada será la señal antes de pasar por el divisor y en la otra entrada la señal ya dividida (Figura 1.1.10-b).

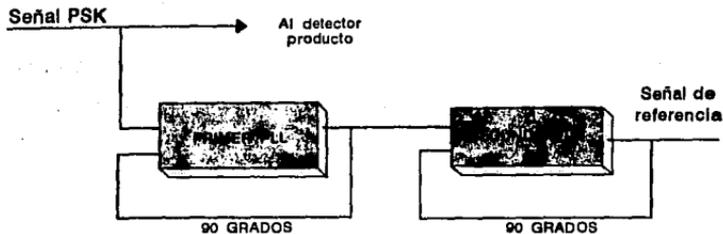


Figura 1.1.10-a Primer método para sincronizar la portadora

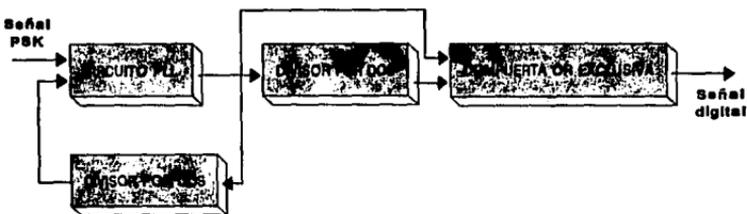


Figura 1.1.10-b Sincronizador de portadora segundo método

La señal de salida de la puerta or exclusiva es la señal de referencia a aplicar al detector de producto (figura 1.1.10-c).

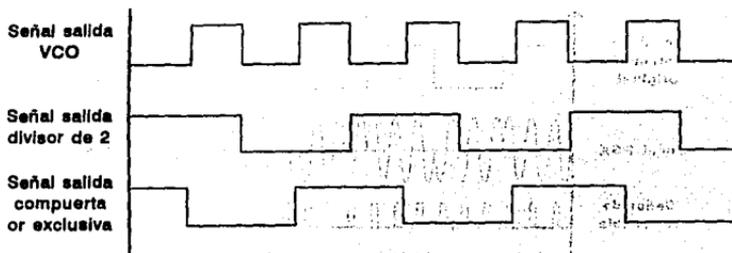


Figura 1.1.10-c Formas de onda del circuito sincronizador de portadora 2o método

El detector de producto multiplica la señal *PSK* por la señal de referencia. La señal resultante mostrada en la figura 1.1.10-d se parece a la señal rectificadora de una señal *FSK* demodulada asincrónicamente, pero sin embargo el proceso para obtenerlo es distinto.

El circuito formador de pulsos es utilizado para formar la señal emitida en el filtro paso bajas. Las transiciones en pendiente 1 binario a 0 binario y de 0 binario a 1

binario son cuadrículas y la señal resultante representa la señal de información recuperada.

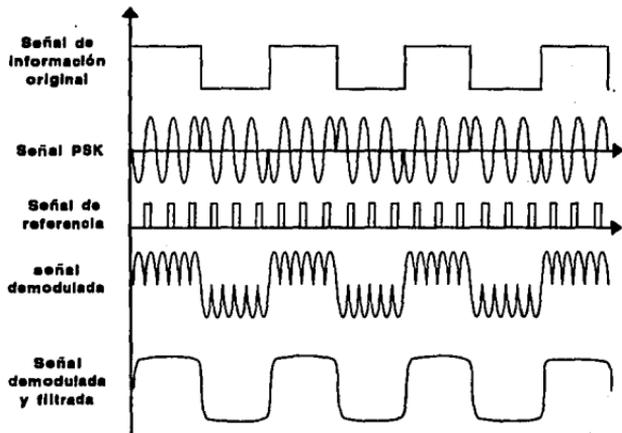


Figura 1.1.10-d Formas de onda del demodulador básico de señales PSK

En este caso, esta señal está definida por:

$$f_c(t) = \pm \cos \omega_c t \quad -T/2 \leq t \leq T/2$$

Si se supone que se mandan una serie de unos y ceros, la señal modulada irá cambiando la polaridad de su fase a positiva y negativa. Cuando hay un cambio de fase debido a un cambio de un 1 a un 0 se da una discontinuidad en la señal al momento de la transición del 1 a 0 y de 0 a 1; estas discontinuidades se suavizan a lo largo de la línea de transmisión. La infonnación, independientemente de la polaridad, es sin embargo retenida en el centro de cada intervalo, de manera que la decodificación en el receptor se lleva a cabo en las proximidades del centro de los pulsos.

1.1.11 MODULACION POR CORRIMIENTO DE FASE PARA SEÑALES CUATERNARIAS

Este tipo de modulación corresponde a un esquema multisímbolo en el cual se combinan dos pulsos binarios sucesivos que dan como resultado cuatro pares binarios 00, 01, 10, 11, que se usan para disparar una onda senoidal de alta frecuencia con cuatro posibles fases, una para cada uno de los pares binarios. Esta es una extensión de la transmisión PSK binaria a cuatro fases. La sección *i*-ésima de las cuatro posibles fases puede escribirse de la siguiente manera:

$$S_i(t) = \cos(\omega c t + Q_i) \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad -T/2 \leq t \leq T/2$$

Dos de las posibles elecciones para las cuatro fases son:

$$Q_i = 0, \pm \pi/2, \pi$$

$$Q_i = \pm \pi/4, \pm 3\pi/4$$

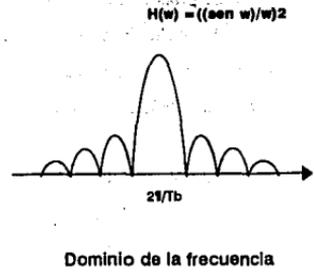
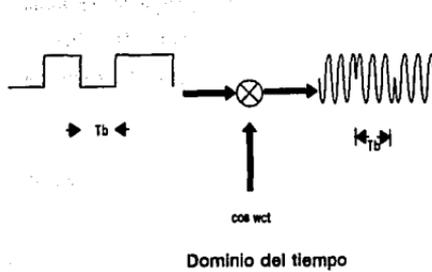
En ambos casos las fases están espaciadas $\pi/2$ radianes. Las señales de este tipo se denominan señales *PSK* cuaternarias (*QPSK*) y son un caso especial de las señales *multiPSK* (*MPSK*). Las señales binarias de *PSK* se escriben, en ocasiones, *BPSK*, para abreviar.

El ancho de banda para estas señales se muestra en la figura 1.1.11 y en la figura 1.1.11-a.

TIPO DE MODULACION	NUMERO DE NIVELES LOGICOS	NUMERO DE BITS POR SIMBOLO	ANCHO DE BANDA
ASK	2	1	$B_T = 2B$
FSK	2	1	$B_T = 2B + 2\Delta f$
PSK	2	1	$B_T^b = 2B$
4-PSK	4	2	$B_T^{4Q} = 1/2 B_T^b$
8-PSK	8	3	$B_T^{8Q} = 1/3 B_T^b$
16-PSK	16	4	$B_T^{16Q} = 1/4 B_T^b$
QAM	16	4	$B_T^{QAM} = 1/4 B_T^b$

Figura 1.1.11 Comparación de los sistemas de modulación

BPSK



QPSK

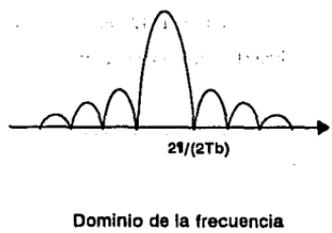
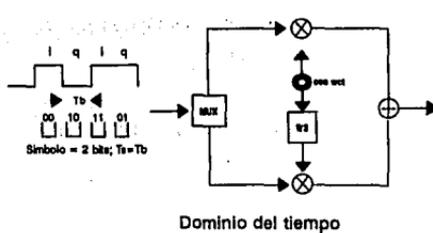


Figura 1.1.11-a Ancho de banda de las señales BPSK y QPSK

1.2 CODIFICACION

El proceso de codificación consiste en añadir bits de redundancia de una forma controlada a la información que requiere protección. Esta información adicional suministrada para redundancia puede ser usada para detectar y/o corregir errores que ocurran durante la transmisión.

Los datos digitales se pueden transmitir mediante diferentes códigos de transmisión o de línea, tales como encendido apagado, polar, bipolar y otros. A continuación se mencionarán los códigos de línea más importantes.

Código NRZ-L (Código sin retorno a cero)

La característica de este código es que el cambio de nivel de la señal ocurre solo cuando hay un cambio en el valor lógico del mensaje. (Figura 1.2-a)

La letra "L" en el nombre de este código se debe a que cada valor lógico tiene un nivel (Level) único y exclusivo y no puede tomar ningún otro nivel.

Si el eje del tiempo coincide con el nivel de los ceros lógicos la señal se llama unipolar.

Cuando los ceros se representan con voltaje negativo y los unos con voltaje positivo, estamos en el caso de una señal polar, que tiene la ventaja de que reduce, pero no anula, la componente de directa de la señal.

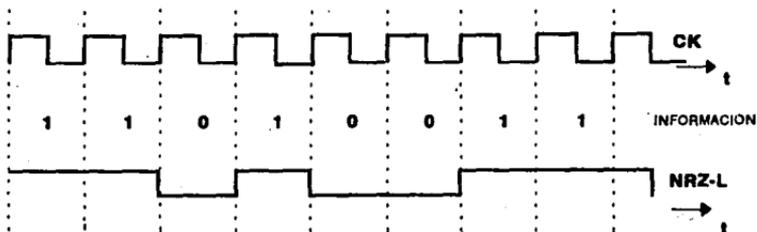


Figura 1.2-a Código NRZ-L

En este código, cada bit se reconoce por sí mismo, sin ayuda de los anteriores, por lo que un error en la identificación de un símbolo, no introduce confusión en la identificación del siguiente.

Por lo anterior, se dice que el formato *NRZ-L* no permite la propagación de errores.

Por otra parte, si un nivel alto es interpretado por el receptor como nivel bajo o viceversa, no hay forma de descubrir el error, lo que implica que este código no tiene capacidad para detectar o corregir errores.

El ancho de banda de la señal con formato *NRZ-L* unipolar se puede obtener a partir de la gráfica de densidad espectral de potencia, que se presenta en la figura 1.2-b y cuya ecuación es:

$$S(\omega) = A T Q(1-Q) \text{sinc } \omega T_0 + 2A Q(1-Q) (\omega)$$

en la que:

T_0 = duración de un bit, o sea, el recíproco de la velocidad de transmisión o un ciclo de reloj

A = voltaje de pico de los pulsos

Q = probabilidad de que se envíe un uno

ω = variable independiente (rad/seg)

(ω) = impulso en el origen

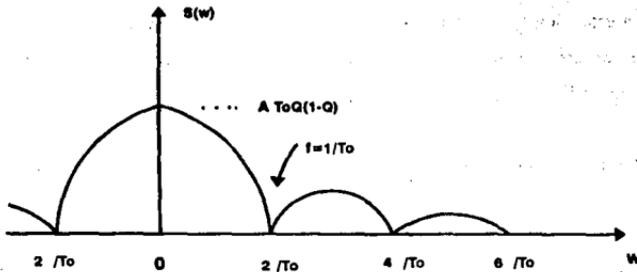


Figura 1.2-b Densidad espectral de potencia del código NRZ-L

En la expresión anterior, vemos que la probabilidad de los unos y los ceros no afecta al ancho de los lóbulos espectrales, que es igual a $1/T_0$, o sea, igual a la velocidad de transmisión en bauds.

Por lo anterior, podemos decir que la abundancia de unos o de ceros en el mensaje sólo afecta a la altura de la gráfica, que será máxima si $Q=1/2$.

El ancho de banda ocupado por este espectro es en teoría infinito y por esta razón se debe acudir a algún criterio que nos permita desprestigiar algunas componentes de pequeña magnitud.

Teniendo en cuenta que la potencia es la integral de la densidad espectral de potencia, se puede demostrar que la integral del primer lóbulo espectral es más del 90% de la integral total, por lo que tomaremos como el ancho de banda efectivo a la gama de frecuencia ocupada por el mencionado primer lóbulo de la densidad espectral de potencia, que en este caso, es igual a la velocidad de transmisión del mensaje.

En todo sistema de comunicación digital, el receptor debe tener un reloj sincronizado con el reloj del transmisor y para lograr esto se tienen tres técnicas:

- Sincronía de ambos relojes con una fuente independiente que envíe señales a los dos simultáneamente.
- Envío de señales de sincronía desde el transmisor, junto con los mensajes e independientemente de ellos.

- Sincronización del reloj receptor usando la misma señal de mensaje como señal de sincronización.

La última opción es la que suele usarse con más frecuencia, ya que no modifica el ancho de banda original ni requiere canales adicionales de sincronía.

También, podemos afirmar que si la señal sufre inversión de fase, el mensaje se pierde, ya que cambia el significado y el receptor no se da cuenta de este fenómeno, ya que la estructura de la señal NRZ es igual al derecho o al revés.

Código NRZ M

Este código es similar al NRZ y la letra "M" significa "marca".

Este formato se usa cuando se tiene la seguridad de que el mensaje contiene mucho mayor cantidad de unos que de ceros, entonces la señal cambia de nivel cuando se presenta un uno y no cambia cuando se presenta un cero. (Figura 1.2-c)

Tiene como características que el ancho de las marcas y los espacios es el mismo en ambos casos; esto es, un ciclo de reloj. Aunque la proporción de marcas no sea la misma, sólo afecta a la altura de los lóbulos y no a su anchura, siendo lo mismo que para el NRZ-L, esto se muestra en la figura 1.2-d.

Con respecto a la sincronización del receptor, o sea a la recuperación del reloj, esta se realiza con facilidad ya que hay más cambios de nivel entre más largas sean las cadenas de ceros, esto se hace usando un circuito alineal.

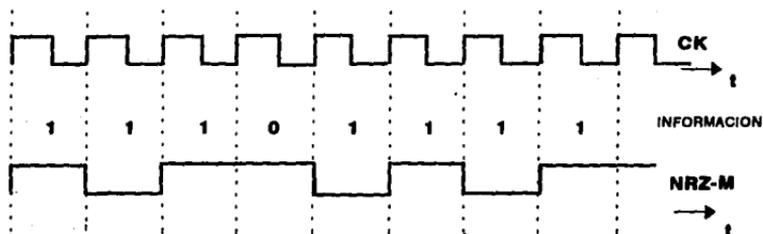


Figura 1.2-c Código NRZ-M

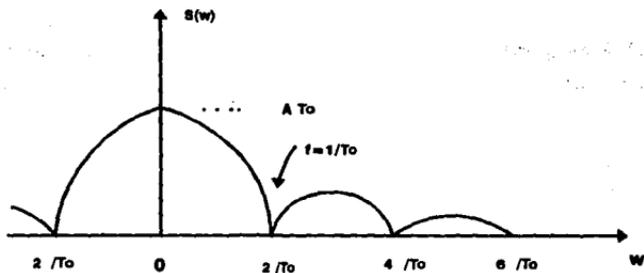


Figura 1.2-d Densidad espectral de potencia del código NRZ-M

Este formato es inmune a la inversión de fase, ya que la información no está en los niveles, sino en los cambios de nivel; por esto, aún cuando la señal se invierta, se puede recuperar el mensaje sin problema.

Código NRZ BIPOLAR

También llamado pseudoternario; consiste en alternar la polaridad de los unos sin tomar en cuenta la presencia de los ceros. (Figura 1.2-e)

Puede notarse, en dicha figura, que la componente de cd es nula, ya que la señal arriba del eje de referencia (o eje de tiempo) es igual al área de la señal abajo del mismo eje.

En este caso no hay propagación de errores y estos son detectables, pero solo se puede corregir un error cuando se presenta entre varios pulsos correctos ya que de esta forma se puede descubrir la violación a la regla de inversión alternada de marcas.

Este código es inmune a la inversión de fase y en cuanto a la sincronía es un poco mejor que el *NRZ-L*, ya que la señal y el reloj pueden tener más puntos de coincidencia de fase.

La gráfica de densidad espectral de potencia se muestra en la figura 1.2-f, en la que se puede notar lo siguiente:

- No hay componente de corriente directa y las componentes de baja frecuencia son de pequeña magnitud.

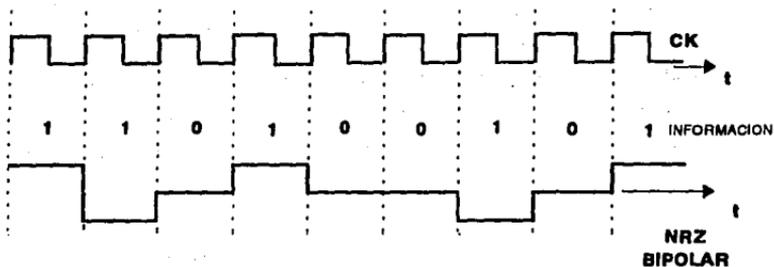


Figura 1.2-e Código NRZ Bipolar

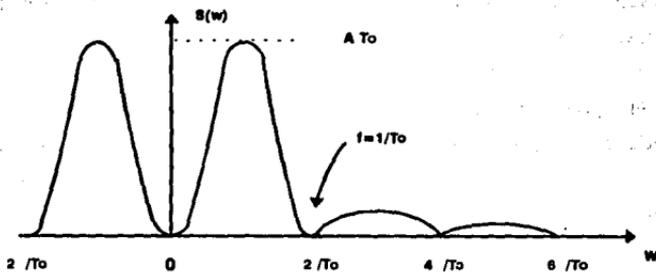


Figura 1.2-f Densidad espectral de potencia del código NRZ Bipolar

- El ancho del primer lóbulo espectral sigue siendo igual a la velocidad de transmisión en bauds. (Pero el ancho de banda aumenta).

Código RZ - Unipolar (Código con retorno a cero)

En este formato los ceros se codifican con cero volts y los unos se codifican con voltaje alto pero solo durante medio período; en el otro medio período, el voltaje retorna al nivel cero. (Figura 1.2-g)

No existe propagación de errores ni capacidad de corrección de ellos.

La inversión de fase de la señal puede ser detectada pero para poder recuperar el mensaje, la señal debe ser nuevamente invertida.

El espectro de densidad de potencia se muestra en la figura 1.2-h en la que podemos apreciar que el ancho de banda del primer lóbulo es el doble de la velocidad de transmisión en bauds.

El espectro presenta unos impulsos localizados en múltiplos impares de la frecuencia del reloj y recordando la teoría de Fourier, podemos asegurar que corresponden a una onda cuadrada cuya frecuencia fundamental es igual a la del reloj del transmisor.

Por las consideraciones anteriores, podemos asegurar que la sincronía del receptor es mejor que la lograda con el formato *NRZ-L*; sin embargo, esta se puede perder si se presenta en el mensaje un tren largo de espacios o ceros.

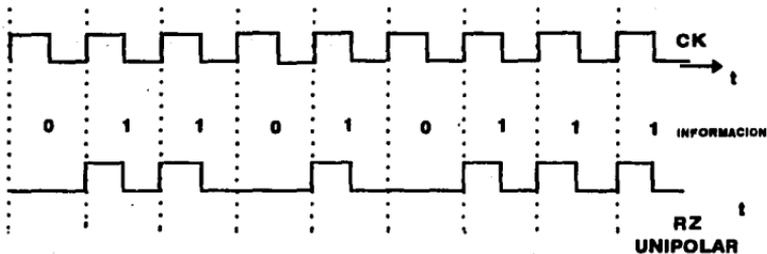


Figura 1.2-g Código RZ Unipolar

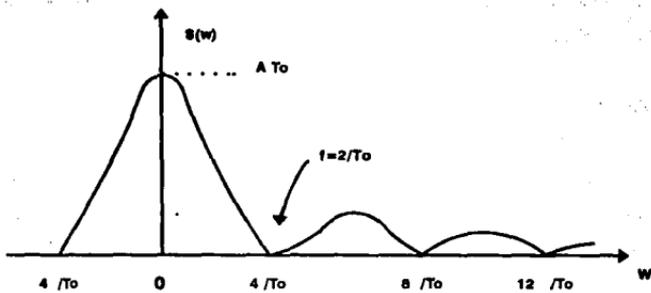


Figura 1.2-h Densidad espectral de potencia del código RZ Unipolar

Código RZ - Polar

La regla para estructurar este código es:

- Los unos tienen un voltaje positivo durante medio período y voltaje cero el otro medio período
- Los ceros tienen voltaje negativo durante medio período y voltaje cero en el otro medio período. (Figura 1.2-i)

La componente de directa en esta señal casi ha desaparecido, lo que se aprecia porque el área positiva casi es igual al área negativa de la gráfica.

No hay propagación de errores, ya que un pulso mal interpretado no induce a interpretar mal el siguiente pulso.

Hay una reducida capacidad de detectar errores, si un nivel diferente de cero es cambiado a nivel cero, ya que este sólo puede durar medio ciclo de reloj.

En este código no hay inmunidad a la inversión de fase de la señal.

La densidad espectral de potencia se presenta en la figura 1.2-j, en la que apreciamos que el ancho de banda del primer lóbulo es el doble de la velocidad de transmisión.

La sincronía se puede llevar a cabo rectificando en onda completa la señal recibida, ya que esto la convierte directamente en la señal de reloj.

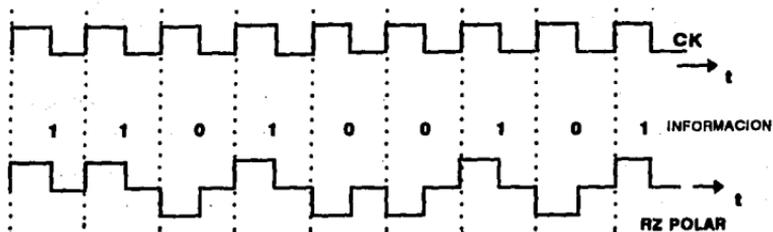


Figura 1.2-i Código RZ Polar

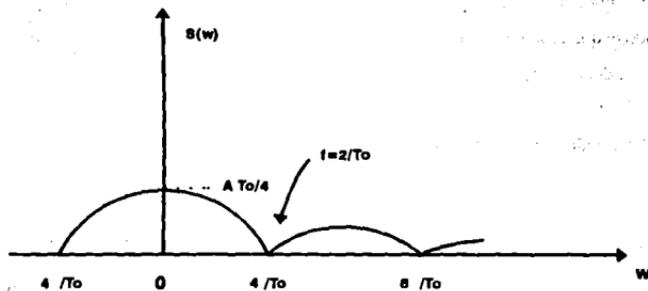


Figura 1.2-j Densidad espectral de potencia del código RZ Polar

Código RZ Bipolar

También llamado *AMI*, que significa inversión alternada de marcas, requiere dos pasos de conversión: primero pasar de *NRZ* a *RZ* y después, hacer la inversión alternada de marcas. (Figura 1.2-k).

Como se puede apreciar, este es una variante del formato *NRZ* Bipolar en la que los unos contiguos están separados cuando menos por medio período, durante el cual la señal vale cero volts. No hay componente de directa y su capacidad para detectar y corregir errores es muy limitada ya que solo puede corregir una violación a la regla de inversión alternada de marcas, cuando se presenta entre dos marcas correctas.

La sincronización del receptor no es muy buena y se puede lograr rectificando la señal recibida, lo que la convierte en *RZ* Unipolar, en la que un tren largo puede propiciar el desajuste del receptor.

La gráfica de densidad espectral de potencia se presenta en la figura 1.2-1, apreciándose que el ancho de banda del primer lóbulo espectral es igual a la velocidad de transmisión del mensaje.

Este código es inmune a la inversión de fase.

Código Bifásico L

También llamado *Manchester II*; el nombre se refiere a que la señal binaria cambia de fase según el bit que se va a codificar. La letra "L" significa nivel (level).

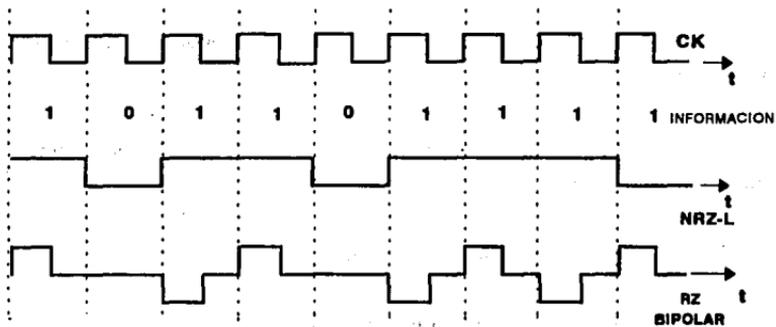


Figura 1.2-k Código RZ Bipolar

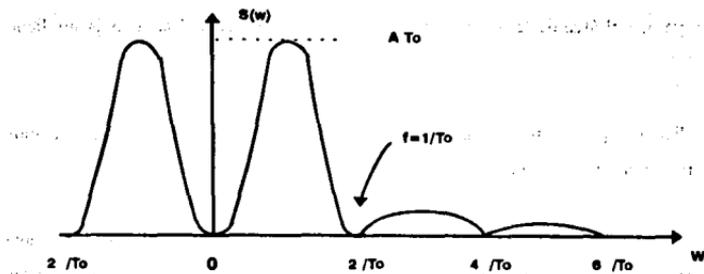


Figura 1.2-l Densidad espectral de potencia del código RZ Bipolar

Para codificar en este formato, se sigue la siguiente regla:

- Si vamos a codificar un cero, la señal permanece en nivel alto durante el primer medio período y regresa a nivel bajo el otro medio período.

- Si vamos a codificar un uno, la señal permanece en nivel bajo durante el primer medio período y pasa a nivel alto durante el otro medio período.(Figura 1.2-m)

Con esta codificación se pueden tener algunas variantes:

- Unipolar, si la parte inferior de la señal está a cero volts.

- Polar, si el eje de referencia pasa a la mitad de la figura y las partes inferiores son negativas.

En este último caso, la señal pierde totalmente la componente de corriente directa, ya que el área de la señal sobre el eje horizontal es igual al área abajo de dicho eje.

Este código sí permite la propagación de errores, ya que en un tren largo de unos o de ceros, si el reloj invierte su fase, todo el tren se decodifica al revés.

Este formato tiene alguna capacidad de corrección de errores, debido a que una marca ancha siempre va después de un espacio ancho, aunque entre ellos haya varias marcas y espacios angostos; así mismo, las marcas y los espacios solo pueden durar medio período o un período.

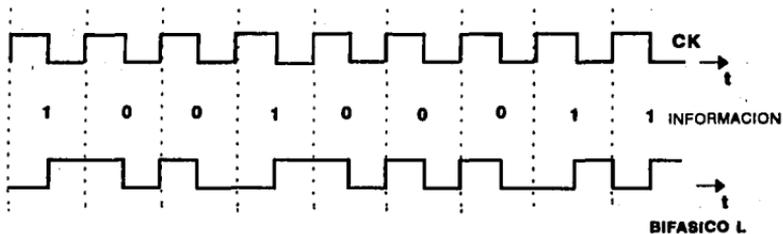


Figura 1.2-m Código Bifásico L

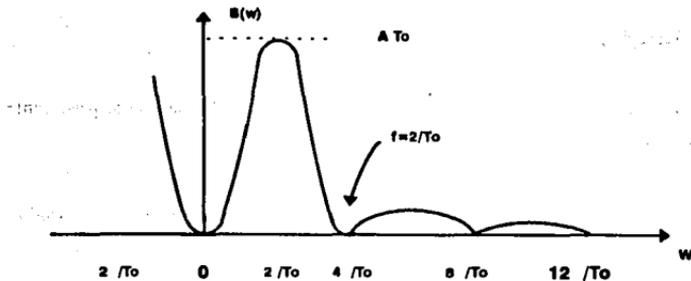


Figura 1.2-n Densidad espectral de potencia del código Bifásico L

La inversión total de fase del mensaje no es detectable y conduce a la interpretación del mensaje al revés.

La sincronía del receptor se facilita mucho durante los trenes largos de ceros, ya que en esas ocasiones, el reloj está en fase con la señal; pero durante los unos, el reloj está en contrafase con la señal recibida.

La densidad espectral de potencia para la señal polar se representa en la figura 1.2.n, donde podemos ver que no hay componentes de baja frecuencia de magnitud considerable y el ancho de banda es el doble que la velocidad de transmisión.

Código Bifásico M

En esta técnica, también se codifica con cambios de fase de la señal; la letra "M" significa marca (*Mark*).

La regla para este código es la siguiente:

- Si se va a codificar un uno, la señal, tomará el nivel contrario al precedente, durante todo el período.

- Si vamos a codificar un cero, la señal cambia de nivel al empezar el período y nuevamente cambia de nivel a la mitad del período. (Figura 1.2-o)

Nuevamente, podemos observar que si la señal es polar (marcas positivas y espacios negativos), la componente de corriente directa desaparece.

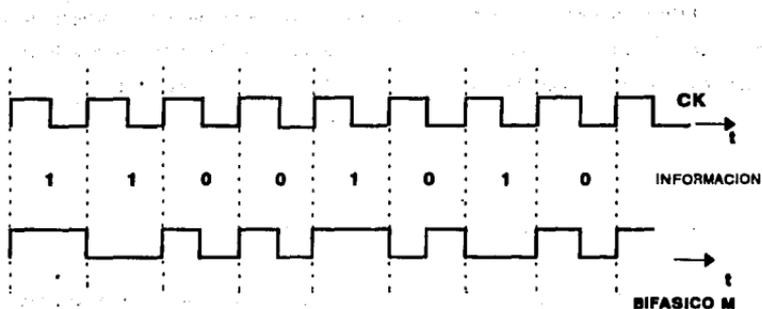


Figura 1.2-o Código Bifásico M

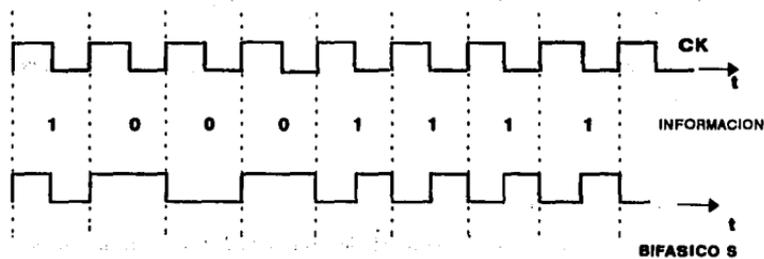


Figura 1.2-p Código Bifásico S

Este código no permite la propagación de errores y debido a que siempre de haber cambio de nivel al inicio del período, se pueden detectar los errores, pero solo se puede corregir un error cuando se presente intercalado entre varios bits correctos.

Código Bifásico S

En este formato la regla para codificar es la siguiente:

- Si el bit que vamos a codificar es un cero, habrá el nivel contrario al precedente durante todo el período.

- Si el bit que se va a codificar es un uno, habrá cambio de nivel al empezar el período y cambio de nivel a la mitad del período.

Como se puede apreciar, estas reglas son contrarias a las mencionadas para el código *Bifásico M* y gráficamente se verían como en la figura 1.2-p.

Este código tiene la mismas características que el *Bifásico M* analizado anteriormente.

Códigos Multinivel

Este tipo de códigos pueden tomar más de tres niveles de voltaje, de manera que cada nivel puede representar más de un bit.

Para calcular cuántos niveles se requieren, se usa la siguiente fórmula: $L=2En$

Siendo L el número de niveles y n el número de bits que serán representados por cada nivel. Por ejemplo, si se desea que cada nivel represente tres bits, la señal resultante tendrá 8 niveles de voltaje.

Códigos de cuatro niveles

Para codificar un mensaje en este formato, se requiere elaborar una tabla de verdad como la que se muestra a continuación:

A	B	SALIDA
0	0	-15
0	1	-5
1	0	+5
1	1	+15

De esta forma, cada par de bits es representado por un nivel de voltaje diferente. La asignación de niveles es arbitraria pero es conveniente que el nivel más bajo represente al par de bits de menor valor numérico. (Figura 1.2-q)

Dependiendo de las combinaciones de unos y ceros, este código podría tener una componente de corriente directa, pero su característica sobresaliente es que presenta menos cambios de nivel por unidad de tiempo que el formato *NRZ-L* lo que implica una reducción del ancho de banda, como se puede observar en el espectro de densidad de potencia de la figura 1.2-r.

La desventaja de esta técnica de codificación estriba en que conforme aumenta el número de niveles, se hace más difícil distinguir unos de otros; aunado a esto esta la presencia de ruido, pudiéndose dar el caso de que el receptor confunda un nivel con otro.

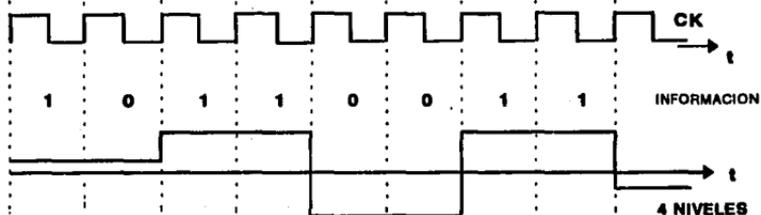


Figura 1.2-q Código de cuatro niveles

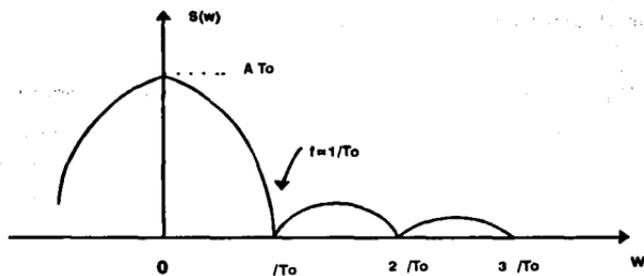


Figura 1.2-r Densidad espectral de potencia del código de cuatro niveles

Este código no permite la propagación de errores ni tiene capacidad de detectarlos o corregirlos, ni es inmune a la inversión de fase.

Códigos BNZS

Las siglas significan "*Binary N Zero Substitution*" que se puede traducir como sustitución de n ceros.

Cuando el mensaje contiene un tren largo de ceros y la señal se mantiene en cero volts, el receptor pierde la sincronía. Los códigos *BNZS* remedian este inconveniente sustituyendo los trenes de n ceros por adecuados arreglos de unos y ceros, que pueden ser reconocidos por el receptor y eliminados después de que han servido para el proceso de sincronización.

A continuación un par de ejemplos de tales formatos.

Código B6ZS

En este formato, cada vez que se presenta un tren de 6 ceros, se sustituye con una secuencia que depende de la polaridad del último uno que se presentó de acuerdo a la siguiente tabla:

Un ejemplo en el que el uno anterior al tren de 6 ceros es positivo y en el que el uno anterior al tren de 6 ceros es negativo se muestra en las figuras 1.2-t y 1.2-u respectivamente.

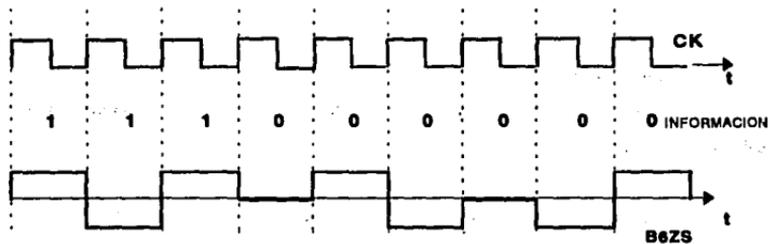


Figura 1.2-1 Código B6ZS (El uno anterior al tren de ceros es positivo)

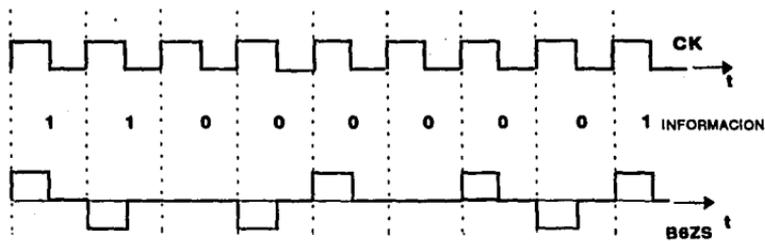


Figura 1.2-2 Código B6ZS (El uno anterior al tren de ceros es negativo)

En ambos ejemplos, el tren de 6 pulsos es fácilmente reconocible, ya que se está generando lo que se llama "*violación bipolar*", o sea que ya no se respeta la inversión alternada de marcas, esto forma un patrón perfectamente reconocible que puede ser reconvertido a seis ceros cuando sea necesario.

La sincronía del receptor es casi tan buena como la que se logra con la señal RZ Polar, ya que rectificando el formato *B6ZS* se obtiene un tren de pulsos muy aproximado al reloj.

Este código tiene una nula componente de directa, presenta inmunidad a la inversión de fase, pero debido a que tiene que preservar el tren de pulsos de sustitución, permite la propagación de errores y no facilita la detección y corrección de los mismos.

Su densidad espectral de potencia es prácticamente igual a la del formato RZ Bipolar, por lo que su ancho de banda es igual a la velocidad de transmisión en bauds.

Código HDB3

Las siglas significan "*High Density Bipolar Three*" y es una variación sobre la idea fundamental de los códigos *BNZS*.

Este formato nos permite reemplazar trenes de cuatro ceros con el código mostrado en la siguiente tabla 1.2.

La tabla se lee así:

Ultimo uno	Codigo
+	0+-0-+
-	0-+0+-

polaridad ultimo uno	codigo	
	impar	par
+	000+	-000-
-	000-	+000+

Tabla 1.2

Sí el siguiente uno antes del tren de cuatro ceros es positivo y el número de unos desde la última sustitución es par, se usa la secuencia - 0 0 -.

Sí el último uno antes del tren de cuatro ceros es negativo y el número de unos desde la última sustitución es impar, se usa la secuencia 0 0 0 -.

Con los otros dos casos se procede de forma similar.

Sus características se resumen a continuación.

- Ancho de banda igual que el del RZ Bipolar, igual a la velocidad de transmisión.

- Componente de corriente directa casi nula.

- Capacidad de sincronía muy buena.

- Es inmune a la inversión de fase.

- Tiene propagación de errores.

- Detección de errores muy pequeña.

Código de Relación

En esta técnica los unos y los ceros se representan siempre con un nivel alto, sólo que de diferente duración; por ejemplo: los unos pueden durar dos tercios del período, el resto del tiempo la señal regresa al nivel cero. (Figura 1.2-v)

La componente de corriente directa estará siempre presente aunque se use señal polar, ocasionando deformaciones en la onda que pueden ser perjudiciales.

Una característica favorable de este código es que cada pulso se interpreta por sí mismo sin el auxilio de los anteriores pulsos, lo que impide la propagación de errores.

Este formato tiene la capacidad de detectar algunos errores, no así de corregirlos.

La sincronía es muy sencilla puesto que el flanco ascendente de cada marca está en fase con el reloj.

Código CMI

Las siglas significan "*Código de Inversión de Marcas*" y las reglas para codificar en este formato son como sigue:

- Un cero siempre codifica como transición de nivel bajo a nivel alto a la mitad del período.

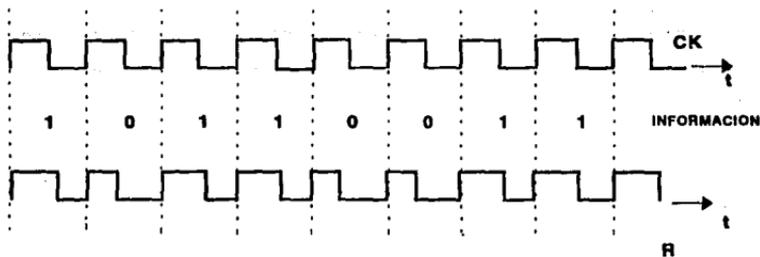


Figura 1.2-v Código de relación

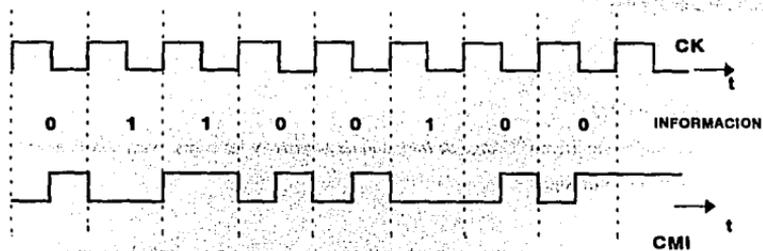


Figura 1.2-w Código de Inversión de marcas

- Un uno se codifica como el nivel contrario al del uno precedente durante todo el período. (Figura 1.2-w)

La componente de corriente directa será nula si se usa señal polar. Los ceros siempre se reconocen por que son transiciones de nivel bajo a nivel alto y los unos se distinguen por que duran un ciclo completo del reloj, ya sea que estén en nivel alto o bajo.

A pesar de que el nivel asignado a un bit uno depende del uno anterior, se puede ver que no hay propagación del error y es posible corregir un error siempre que ocurra entre dos bits correctos.

Código DMM

Estas siglas significan "*Delayed Modulation Mark*" y también se conoce como código *Miller*; su estructura es un poco complicada; la regla es:

- Para codificar un uno, se hace cambio de nivel a la mitad del período del pulso.
- Para codificar un cero, se hace cambio de nivel al final del período, si el próximo bit es un cero; pero si el próximo bit es un uno no se hace cambio de nivel.

Estas reglas hacen necesario determinar el valor lógico del siguiente bit antes de asignarle su nivel al bit que estamos codificando; de aquí el nombre de modulación retardada. (Figura 1.2-x)

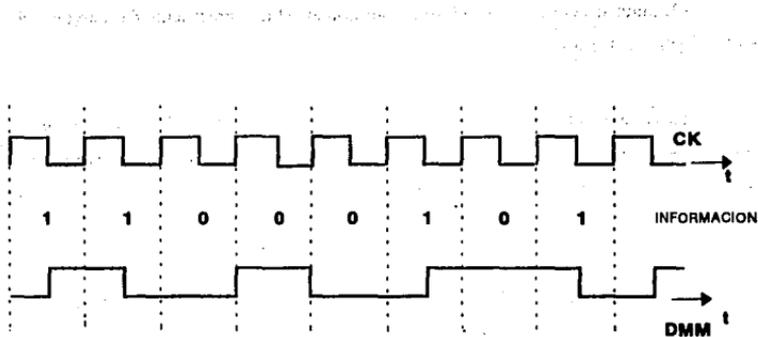


Figura 1.2-x Código Miller

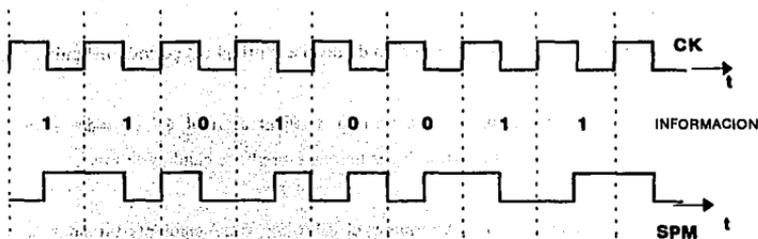


Figura 1.2-y Código Manchester Diferencial

Es probable que aún con la señal polar, exista la componente de directa.

Hay propagación de errores a la inversa y no se pueden detectar ni corregir.

Existe inmunidad a la inversión de fase.

Código Split Face Mark

También se conoce como codificación por división de fase o codificación *bifásica diferencial* o *Manchester diferencial*.

En este código los unos se convierten en un cambio de nivel a la mitad del período y los ceros se convierten en un cambio de nivel al principio del período y otro cambio de nivel a la mitad del período (Figura 1.2-y)

Si la señal es polar no existirá componente de corriente directa.

Este formato presenta la desventaja de que el nivel correspondiente a un bit depende del nivel asignado al bit anterior, por lo que si el receptor se equivoca al decodificar un bit, también se equivoca al decodificar el siguiente bit.

Por otra parte, existe capacidad de detección de errores, ya que las marcas anchas se alternan con espacios anchos, aunque vayan separados por marcas y espacios angostos. Este código puede ser tomado fácilmente como *Bifásico L* ya que su estructura es similar.

Por lo antes expresado, la gráfica de densidad espectral de potencia y el ancho de banda de la señal *SPM* son los mismos que los de la señal *Bifásica L*.

1.3 TRANSMISION DE DATOS

El procesamiento electrónico de datos nos ha liberado de tediosas tareas de la contabilidad y de papeleo. La transmisión de datos nos permite ahora liberarnos de nuestros confinamientos geográficos. Para beneficiarse de este significativo desarrollo técnico, requerimos de un completo entendimiento de las funciones involucradas y de sus simplificaciones, y esto no es algo que sólo el personal de procesamiento de datos debe aprender, es también la materia de interés para los administradores ya que a menudo afecta áreas funcionales muy alejadas del área de procesamiento de datos.

Las primeras formas de la transmisión de datos fueron dispositivos simples que copiaban la información de una cinta sobre otra a través de una línea telefónica ordinaria. La función de transmisión en este caso fué completamente independiente de la computadora. Sin embargo, esta técnica era demasiado lenta y fué útil en el envío de pequeñas cantidades de información en períodos de aproximadamente una hora. Las compañías de servicio para computadoras utilizaron estas técnicas para abrir nuevos mercados. El trabajo de un cliente podía ser capturado en una ciudad y después enviarse a otra lejana, procesarlo y tenerlo de regreso en pocas horas.

Para 1962 la computadora se conectaba directamente a la línea de comunicaciones, surgiendo el trabajo de lote remoto (*remote batch*) con esta técnica, el usuario interactuaba directamente y se reducían los costos de operación mediante la eliminación de una parte del personal de operación requerida en la computadora para manejar trabajos entre la computadora y la terminal donde éstas se recibían.

Un poco después se comenzó la investigación de nuevas formas de hacer la computadora más fácil de usar, para ese entonces la diferencia relativa de velocidades entre el canal de datos de la computadora y la línea de transmisión de datos había proporcionado el desarrollo de un componente especial llamado multiplexor. El multiplexor comunicaba líneas de comunicación múltiples a través de un sólo canal de datos de la computadora. Mediante el uso del principio del multiplexor y un poco de psicología se creó lo que actualmente se llama "*Tiempo Compartido*". Se proporcionó la interacción entre el usuario y la computadora. Esto significó que el usuario pudiera programar y corregir errores mientras esperaba en línea. La respuesta inmediata de la computadora permitieron al usuario corregir errores más efectivamente y también secuencialmente desarrollar una estrategia de solución mediante el método de prueba y error para el problema que intentaba resolver. El concepto de tiempo compartido estremeció al mundo de los negocios con la idea existente de que las computadoras serían la herramienta de toda la gente. Desafortunadamente el lenguaje central de "*Tiempo Compartido*" básicamente tendía a ser más bien matemático, lo que lo hacía no muy apropiado para manejar información que no fuese matemática.

Todos los usos de la transmisión de datos descritos hasta ahora asumen esencialmente una sola computadora de procesamiento con terminales distribuidas en forma de estrella rodeando a ese sistema de cómputo, sin embargo, existe un interés creciente para acoplar múltiples computadoras en lo que llamamos una red de computadoras. Se ha realizado ya algún trabajo con computadoras acopladas que se localizan en la misma instalación y se comunican a altas velocidades a través de sus canales de datos. Estos sistemas múltiples aumentan la capacidad de carga y se respaldan mutuamente para asegurar una alta disponibilidad de sus servicios pero existe también una necesidad de intercambio de información de manera acoplada entre sistemas de cómputo independientes y físicamente separados. La complejidad de la transmisión en

ese entorno, es evidente. Ya no es posible usar efectivamente un simple multiplexor como interfaz para computadora en la transmisión de datos. El tráfico de transmisión de datos entre las terminales y muchas computadoras requiere de técnicas más sofisticadas para comprobar las facilidades de transmisión de datos. La conmutación de paquetes que es una forma altamente generalizada de comprobar una facilidad de transmisión de datos, es ahora la forma más popular para interconectar múltiples computadoras en una red de computadoras.

Algunas características y topologías de redes son las siguientes:

Topología de bus

En este arreglo es fácil de controlar el tráfico, todas las computadoras pueden acceder a un canal común. La topología bus permite que la información sea transmitida a todos los nodos simultáneamente, en este esquema a diferencia del anillo se requiere que cada nodo pueda transmitir, recibir y resolver problemas (Figura 1.3).

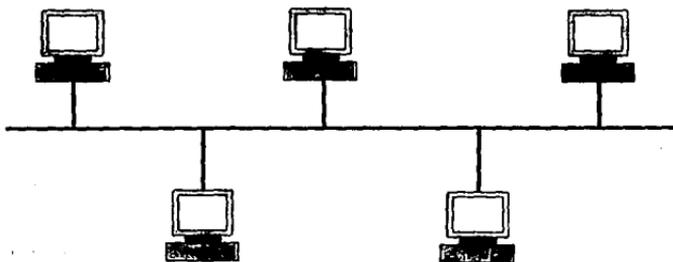


Figura 1.3 Topología tipo Bus

Topología estrella

En esta topología se tiene el control de la red concentrado, si existiera una falla es posible identificarla y aislarla únicamente desconectando la línea en problemas. La desventaja es que con cantidades grandes de tráfico el nodo central se puede saturar creando problemas. El rendimiento de esta topología es bajo en general (Figura 1.3-a).

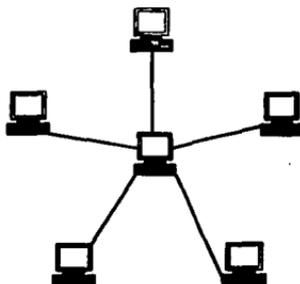


Figura 1.3-a Topología tipo Estrella

Topología de anillo

En este arreglo no hay saturación por tráfico, cada estación recibe la información y la retransmite a la siguiente. La desventaja es que como están unidos por un mismo canal, al fallar éste, la red deja de funcionar. La opción para esta falla es tener canales de respaldo, algunos fabricantes han diseñado conmutadores que redirigen el tráfico automáticamente saltándose el nodo dañado, evitando que falle toda la red (Figura 1.3-b).

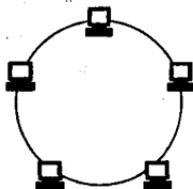


Figura 1.3-b Topología tipo Anillo

Topología de malla

Esta configuración es inmune a los problemas de tráfico ya que existen varios caminos para conectar a los equipos, la desventaja es que la lógica de control de protocolos puede ser complicada (Figura 1.3-c).

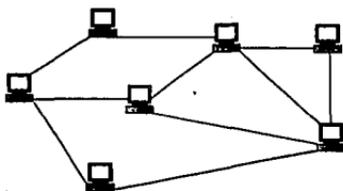


Figura 1.3-c Topología tipo Malla

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

1.3.1 DESCRIPCION DE UN SISTEMA DE TRANSMISION DE DATOS

Un sistema de transmisión de datos puede definirse como el conjunto de dispositivos que permiten el transporte de información. En estos sistemas generalmente se entiende por datos a la información que ha sido tomada de documentos fuente, tales como ordenes de pago, records de producción, nóminas de personal, etc. En la figura 1.3.1 se muestra la arquitectura de un sistema de transmisión de datos.

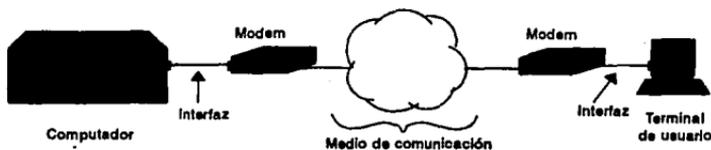


Figura 1.3.1 Configuración de un sistema de transmisión de datos

1.3.2 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE TRANSMISION DE DATOS

Básicamente un sistema de transmisión de datos está compuesto por:

- *Terminal.*
- *Medio de comunicación.*
- *Equipo de procesamiento.*
- *Modems.*
- *Interfaz.*

Terminal

La terminal convierte los mensajes que le introduce el usuario por medio del teclado en diferentes combinaciones de pulsos y no pulsos de corriente, estas pueden ser de dos tipos:

- *Terminales de diálogo hombre-máquina.*
- *Terminales de lote remoto (batch).*

Los primeros son dispositivos hechos para que un operador establezca conversación a distancia con la computadora. En las terminales de lote remoto, la información a transmitir es introducida por algún medio de almacenamiento (Estas terminales operan en modo asíncrono a velocidades generalmente altas).

Es la vía por la cual se va a transmitir la información y puede ser un par de hilos físicos, cable coaxial, canal de radio de alta frecuencia, canal de microondas, por satélite ó bien fibra óptica.

Los dos conceptos fundamentales que deben considerarse en un canal, son el ancho de banda y la frecuencia, ya que el canal debe ser capaz de transmitir la información en la medida que la fuente la produzca.

Equipo de procesamiento

Es el lugar donde se efectuó el procesamiento de datos del sistema de transmisión de datos o teleproceso, en donde se encuentra la unidad de procesamiento central (CPU), entre otros dispositivos, formando una gran variedad de arquitecturas de sistemas de acuerdo a la función a realizar.

El sistema puede ser en línea (*on line*) o fuera de línea (*offline*). En el sistema en línea los datos van directamente a la computadora, siendo esta la que controla la transmisión de datos. En el sistema fuera de línea, los datos no van directamente hacia la computadora, sino que son almacenados en dispositivos de memoria para su procesamiento posterior.

El sistema en línea se dice que trabaja en *tiempo real*, si el tiempo de respuesta de la computadora a la terminal es lo suficientemente rápido para dar la impresión al usuario de que la computadora lo está atendiendo únicamente a él.

Existe además sistema de *tiempo compartido*, donde varios usuarios utilizan la computadora al mismo tiempo. Cada uno de ellos posee una terminal en operación, enlazada al centro de computo. Cuando hay pausa en el proceso de un usuario la computadora dirige su atención a otro usuario.

Modems

Para transmitir información en forma de señales digitales, es necesario modular una señal portadora y para recuperar la información en el lado receptor demodular dicha portadora. El nombre de *modem* es una contracción de esa descripción.

Aparte de su función básica de la conversión bidireccional en señales binario-digitales y señales moduladas, el modem realiza funciones de control que coordinan el flujo de información entre equipos digitales de datos por ejemplo:

- Limita los niveles de la señal de datos
- Genera una señal de reloj para establecer una base de tiempo de sincronía.

Sin embargo, no todos los tipos de modem realizan las funciones anteriores. La velocidad a la que trabajan es un factor que determina las operaciones a ejecutar.

La interfaz

Existen organismos como la CCITT (*Comité Consultivo Internacional de Telegrafía y Telefonía*) que se han dado a la tarea de normalizar la interfaz eléctrica entre las terminales y los modems. Esta interfaz especifica el nivel de las señales de control y datos que se intercambian entre un modem y una terminal, todas las señales de datos son enviadas a través de la interfaz en forma de pulsos de dos niveles y en serie de bit a bit.

La interfaz, físicamente comprende un par de conectores tipo "D" de 25 pines unidos por un cable multipar, que conectan la terminal al modem. Cada hilo de la interfaz a excepción de las tierras es activado, ya sea por la terminal o por el modem, de tal

manera que pueden considerarse direccionales. Cada hilo puede en cualquier momento llevar un nivel de voltaje correspondiente a un "1" o a un "0" binarios.

1.3.3 ELEMENTOS DE UNA RED DE TRANSMISION DE DATOS

Modo de operación a través del canal.

Simplex

Se dice que el enlace entre modems es *simplex* cuando hay transmisión de datos en un sólo sentido. (Figura 1.3.3)



Figura 1.3.3 Comunicación Simplex

Half-Duplex

Se dice que el enlace entre modems es *Half-Duplex* cuando hay transmisión de datos en ambas direcciones pero no simultáneamente, en un instante sólo hay transmisión en un sentido. (Figura 1.3.3-a)



Figura 1.3.3-a Comunicación Half-duplex

Full-Duplex

Se habla de enlace duplex completo o *Full-Duplex* cuando hay transmisión de datos en ambas direcciones en forma simultánea, (el modem transmite y recibe al mismo tiempo) (Figura 1.3.3-b).

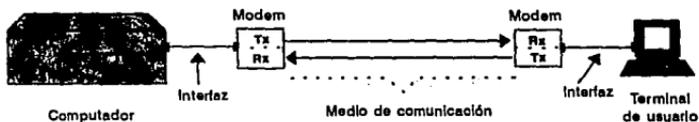
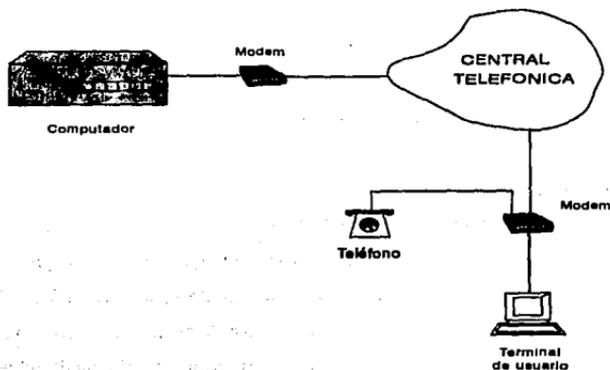


Figura 1.3.3-b Comunicación Full-duplex

Línea Conmutada

Refiriéndose al canal de comunicación se habla de un enlace por línea conmutada cuando dos terminales distintos (o una terminal con una computadora) se comunican a través de una línea telefónica que pasa por centrales telefónicas públicas conmutadas. En este caso el enlace se hace marcando en un extremo el número telefónico de la terminal (o computadora) remota y la línea se ocupará solamente el tiempo que dure la conexión. Una vez terminada ésta, tal línea podrá ser utilizada por otros usuarios. En cada nueva conexión entre las terminales, la línea telefónica a través de la cual se conectan, será diferente del enlace anterior. (Figura 1.3.3-c)

**Figura 1.3.3-c Red conmutada**

Línea Privada

Es la conexión entre terminales a través de la línea privada cuando dichas líneas se han rentado a la compañía telefónica para uso exclusivo del usuario. Esta línea no pasa por centros de conmutación pública y por lo tanto no está sujeta a degradaciones a que están propensas las líneas conmutadas en los centros de conmutación. (Figura 1.3.3-d).

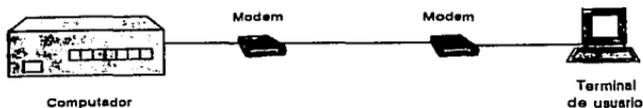


Figura 1.3.3-d Línea privada

Conexión punto a punto

Para conectar terminales y computadoras pueden utilizarse diferentes tipos de líneas de comunicación. Toda línea empleada como conexión en una configuración fija de dos terminales (o computadoras) se denomina línea punto a punto. En la figura 1.3.3-c y 1.3.3-d se observan dos ejemplos de conexiones punto a punto, en las que se emplean respectivamente, una línea de conmutación y una línea privada. En el caso de la línea con conmutación, se establece una conexión a través de la compañía telefónica pública que sólo se mantiene por la duración de una comunicación establecida. Las líneas privadas, en cambio, proporcionan un trayecto permanente entre las terminales o computadoras, estén o no en actividad.

Conexión multipunto

La línea multipunto, que usualmente es una línea privada es compartida en tiempo real por dos o más terminales distantes. La conexión de las distintas terminales se efectúa por "*agrupamiento*" cuando se conectan varias terminales a la línea en el mismo punto; por "*derivaciones múltiples*", cuando se conectan terminales a la línea en puntos diferentes, o por una combinación de ambos métodos. Las señales transmitidas por la estación principal situada en el punto A son recibidas por todas las terminales distantes en los puntos B,C y D. (Figura 1.3.3-e) No obstante, cada mensaje será dirigido a una sola estación distante, que será la única que aceptará efectivamente los datos. Así mismo, las terminales distantes utilizan la línea por turno y transmiten a la computadora los mensajes que puedan tener pendientes.

En un momento dado, sólo puede transmitir una terminal distante determinada; el orden exacto de la transmisión está presente por una lista de interrogación secuencial de las terminales a fin de que envíen sus mensajes pendientes. Las principales ventajas de la configuración multipunto radican en la economía que presenta y el hecho de que cada estación puede utilizar la velocidad total de la línea. Sus desventajas son el largo tiempo de respuesta cuando varias terminales deben transmitir al mismo tiempo.

Dentro de los modos de transmisión a través de un canal tenemos:

- *Transmisión asíncrona*
- *Transmisión síncrona*

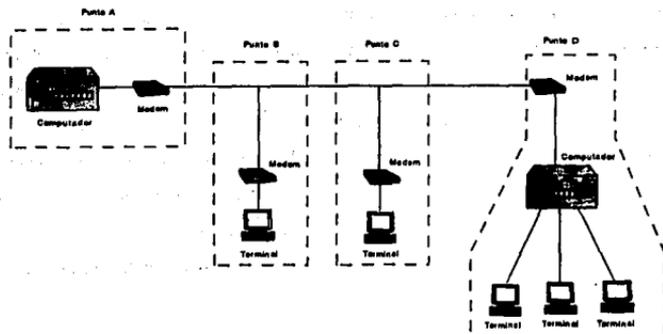


Figura 1.3.3-e Conexión multipunto

Transmisión asíncrona

Los datos asíncronos son producidos de ordinario por terminales de baja velocidad. En los sistemas asíncronos, cuando la línea de transmisión está en reposo, se encuentra en el estado correspondiente al binario 1 (Figura 1.3.3-f). La transmisión de cada carácter es precedida de un bit de arranque, o paso del estado de "reposo" al estado de "actividad" (binario 0), que indica a la terminal receptora que se está transmitiendo un carácter. El receptor detecta el bit de arranque y los bits de datos que forman el carácter. Al finalizar la transmisión de éste, se vuelve a colocar la línea en estado de "reposo" mediante uno o más bits de parada, con lo cual se está en condiciones de iniciar el carácter siguiente. Los bits de arranque y parada permiten que la terminal receptora se sincronice con el transmisor para la recepción de cada carácter.

1.4 CONCEPTOS DE ANTENAS

Una antena es un dispositivo destinado a la radiación o a la captación de ondas electromagnéticas, la función de las antenas es la de concentrar las ondas electromagnéticas de la señal en una dirección deseada, lo suficiente para que esta tenga un nivel adecuado y sea posible procesar esta señal, es decir, que tenga la suficiente potencia para que la señal pueda ser amplificada por el *LNA* (*Amplificador de bajo ruido*). Las antenas son generalmente estructuras metálicas o arreglos de conductores, que son los encargados de realizar la función anterior.

La antena esta localizada a la entrada y a la salida de los puntos transmisores y receptores en el trayecto de la señal, para transmitir eficientemente la potencia de la señal hacia su destino, y al mismo tiempo tiene que alimentar eficientemente la débil señal que llega del satélite hacia el receptor, la antena tiene una importancia vital sobre las funciones operacionales en el sistema de recepción o de transmisión.

Con el objeto de sobreponerse a las altas pérdidas que se tienen en los enlaces de subida y de bajada es necesario utilizar antenas con alta ganancia en la estación terrestre. Si la ganancia de la antena es grande el ancho del haz es angosto, en cambio si la ganancia de la antena es baja requiere una potencia de salida alta que deberá ser proporcionada por un amplificador de potencia (HPA) en la transmisión; y una temperatura de ruido baja que es proporcionada por un amplificador de bajo ruido (*LNA*).

Las antenas tipo reflector son las que más se han utilizado en sistemas de microondas y satelitales (Figura 1.4).

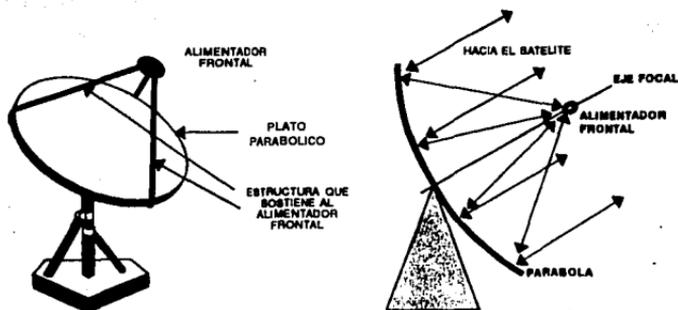


Figura 1.4 Antena tipo reflector (parabólico) de alimentación frontal

En las frecuencias de las microondas, el reflector parabólico de una antena es quizá el más útil y extensamente usado en antenas para propósitos de comunicación. La mayoría de los enlaces de comunicación vía satélite usan en sus antenas reflectores parabólicos. El reflector es comunmente iluminado por un pequeño alimentador localizado en el foco de la parábola.

En la superficie parabólica todas las ondas electromagnéticas originadas del foco son reflejadas paralelamente al eje focal.

Antena tipo Cassegrain

Actualmente el uso de este tipo de antenas se ha extendido a los principales fabricantes de estaciones terrenas. La antena *Cassegrain* es un tipo de antena de doble reflector, un reflector principal parabólico y un subreflector hiperbólico

Una alternativa para el sistema alimentador que generalmente fué una mejora al sistema de alimentación frontal, es el sistema *Cassegrain* mostrado en la figura. 1.4-a.

En este sistema el alimentador primario está localizado en el vértice y es usado para iluminar un subreflector localizado entre el foco y el reflector principal. Este subreflector proporciona iluminación al reflector paraboloide. El subreflector debe cumplir el requisito de ser una superficie hiperbólica.

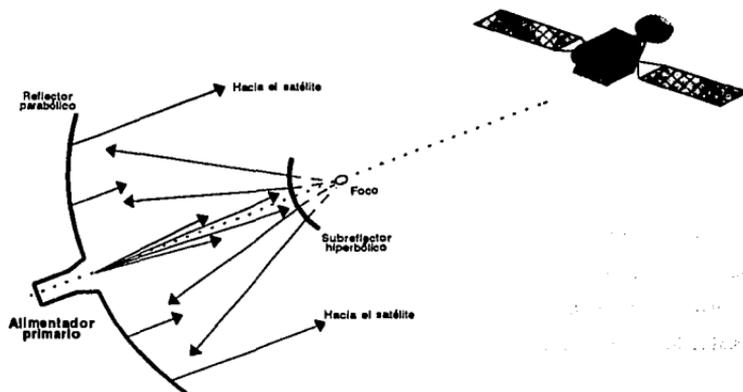


Figura 1.4-a Antena tipo Cassegrain

La antena *Cassegrain* es mucho más eficiente que cualquiera de los otros tipos, su ganancia es mayor pero su precio es más alto.

Las antenas *Cassegrain* son las que más se utilizan actualmente en la mayor parte de las estaciones terrenas transmisoras y receptoras de televisión, así como en todas las que transmiten y reciben cantidades muy grandes de telefonía y datos, incluyéndose en ellas desde las pequeñas antenas de las empresas hasta las medianas y grandes, usadas en el servicio público doméstico e internacional.

Su configuración geométrica involucra un segundo reflector con superficie hiperbólica, llamado subreflector, y el alimentador o corneta ya no tiene su apertura orientada hacia el piso, sino hacia arriba, por lo que el ruido que se introduce en la señal ya no es generado por reflexiones en la tierra; sino principalmente por emisiones de la atmósfera. Los ejes de la parábola del alimentador y la hipérbola coinciden, y el diseño es equivalente a tener una antena imaginaria menos cóncava y con un alimentador más alejado de su vértice, de esta forma la parábola equivalente captura mejor la energía radiada por la corneta y el desborde se reduce significativamente.

Además con el diseño *Cassegrain* se tiene la ventaja de que el equipo electrónico se puede colocar sin problemas en una pequeña cabina inmediatamente atrás del alimentador, sin importar mucho su peso y dimensión, reduciéndose así todo tipo de pérdidas por cableado (Figura 1.4-b). De cualquier forma las antenas parabólicas de alimentación frontal y *Cassegrain* son las más aceptadas en la actualidad, tanto en banda C como en banda Ku.

El alimentador desempeña varias funciones dependiendo de las características de transmisión que sean adoptadas, estas funciones son:

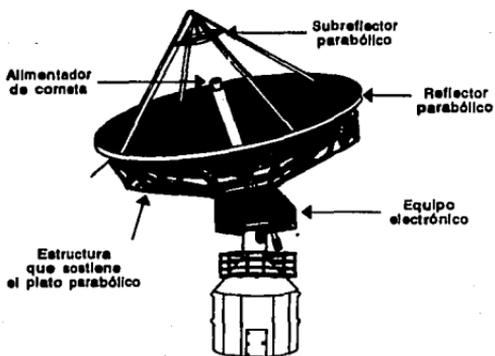


Figura 1.4-b Antena tipo Cassegrain

a) Separación de las señales transmitidas y recibidas, la cual es realizada por un transductor ortomodal o duplexor. El duplexor acepta las señales transmitidas del amplificador de potencia y las dirige al puerto común de la antena y acepta las señales recibidas de este puerto y las transmite al amplificador de bajo ruido. El duplexor es un acoplador de polarización ortogonal, que consiste de una guía de onda circular y una guía de onda rectangular las cuales están unidas ortogonalmente, estas dos guías de onda a través de una abertura de acoplamiento, con el objeto de asegurar que la potencia no cause ningún deterioro a la señal recibida en el amplificador de bajo ruido.

b) Proporcionar la polarización adecuada a las señales transmitidas y recibidas, la cual es dada por el polarizador, este dispositivo tiene dos modos de aplicación, uno de ellos consiste en convertir la polarización de una señal de circular a lineal y la otra consiste en variar el ángulo de polarización arbitrariamente de una onda polarizada linealmente. El cambio de modo de aplicación es realizado simplemente cambiando la alineación de los dos cambiadores de fase sin necesidad de reemplazar el polarizador.

c) Derivación de señales de rastreo para apuntar la antena de la estación hacia el satélite, donde un acoplador de rastreo es instalado en el alimentador, cuando el satélite se desplaza fuera de la línea de vista de la antena, el acoplador produce una señal de error que es usado por la unidad de control de antena para poner a esta en la línea de vista del satélite, otro método de rastreo es el rastreo por paso, donde una señal variable en amplitud transmitida desde el satélite es empleada para apuntar la antena hacia el satélite. En la figura 1.4-c se muestra un alimentador de corneta para antenas tipo *Cassegrain*.

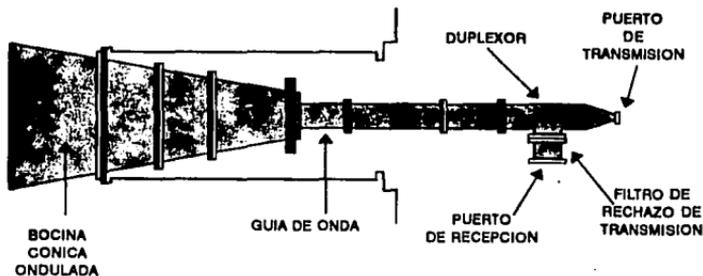
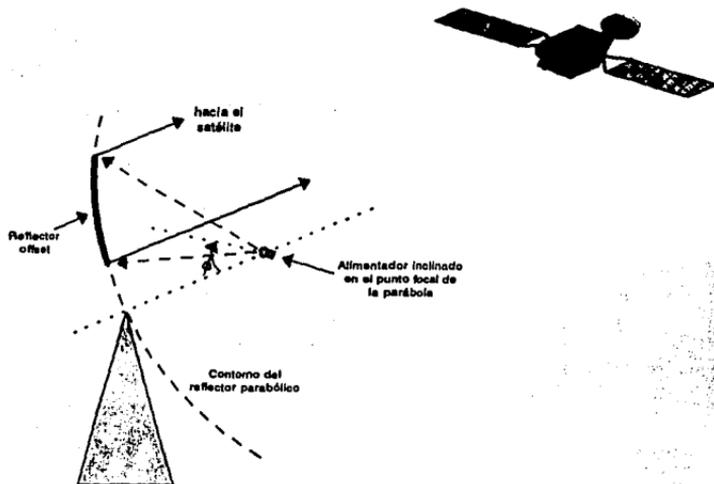


Figura 1.4-c Alimentador de una antena tipo Cassegrain

Antena tipo Offset

Un reflector *offset* es una sección circular de un reflector parabólico en el cual ya no tenemos obstrucción para la radiación proveniente del alimentador o del satélite. El reflector *offset* y el sistema del alimentador tienen simetría circular.

Un alimentador con patrón simétrico rotacional se utiliza para que sea colocado en el punto focal y tiene una inclinación respecto al eje en un ángulo ϕ relativo al eje del reflector. Este tipo de antenas se muestra en la figura 1.4.d.

**Figura 1.4-d Antena tipo Offset**

Los ejes del alimentador y del paraboloide no coinciden, de ahí el nombre de alimentación tipo *offset* (descentrada). Sin embargo la construcción de toda la estructura reflectora y de soporte es más costosa que la de alimentación frontal, en antenas de dimensiones considerables además se presenta el problema de desborde por las orillas de la superficie parabólica. Este tipo de antenas se utiliza en varias estaciones receptoras y transmisoras de televisión, telefonía y datos; aunque la *Cassegrain* es mucho más popular.

Actualmente este tipo de antenas pero de dimensiones más pequeñas (1.8m y 2.4m) son utilizadas en las redes digitales de transmisión de datos tipo VSAT (Figura 1.4-c).

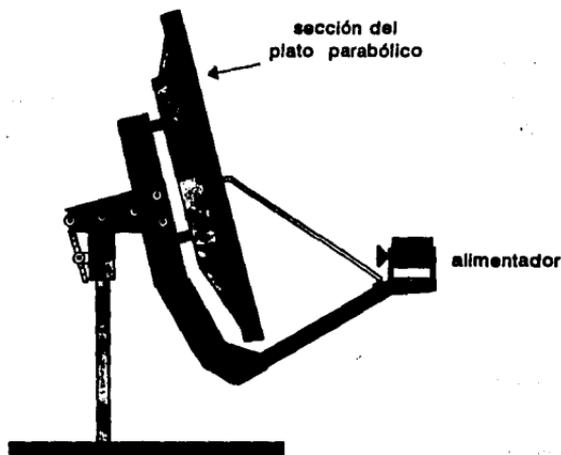


Figura 1.4-c Antena Offset tipo VSAT

Antena tipo Yagi

Una antena Yagi es aquella formada por un dipolo alimentado y por lo menos dos parásitos (un reflector y un director).

En términos prácticos las longitudes de los elementos y su separación no son muy críticos, y se pueden permitir variaciones del 1% en la longitud y hasta el 5% en la separación. La longitud del reflector es más tolerante que la del director aunque en algunos casos se utilizan estas tolerancias para ampliar el ancho de banda de la antena, es decir, con reflectores un poco más largos y directores un poco más cortos aumenta el ancho de banda, sin embargo en sentido contrario, el efecto es tolerantemente dañino y anula el comportamiento de la antena.

En antenas hasta de 4 elementos, la separación entre elementos debe estar entre 0.15λ a 0.2λ aunque en algunos casos se logra una ganancia mayor si el segundo director está a 0.25λ del primero, se puede obtener mayor ganancia separando un poco más el tercero y cuarto elementos hasta un máximo de 4λ .

Respecto a la longitud de los elementos, es recomendable que el dipolo sea de $\lambda/2$, el reflector 5% más largo y el director 5% más corto.

La separación entre elementos determina la longitud total de la antena la cual también juega un papel importante en sus características.

La ganancia crece rápidamente para pocos elementos y después más lentamente para un número grande de parásitos, esto nos lleva a la conclusión de la inconveniencia de aumentar el número de parásitos indefinidamente, por lo que no se hacen antenas Yagi

de más de 12 a 15 elementos. Este defecto se debe principalmente a que al aumentar el número de parásitos disminuye la resistencia de radiación del dipolo, y por tanto su campo radiado, por esta razón en muchas antenas *Yagi* se utilizan dipolos doblados con el fin de aumentar la resistencia de radiación.

Orientación de una antena parabólica

La orientación de la antena hacia un satélite geostacionario se realiza ajustando dos ángulos, el ángulo de elevación y el ángulo de azimut; los valores de estos ángulos dependen de la posición geográfica de la estación terrena en latitud y longitud, y de la ubicación en longitud del satélite.

Tomando como referencia el eje de simetría del plato parabólico, que coincide con su eje de máxima radiación, el ángulo de elevación es aquel formado entre el piso y dicho eje de simetría dirigido hacia el satélite (Figura 1.4-f).

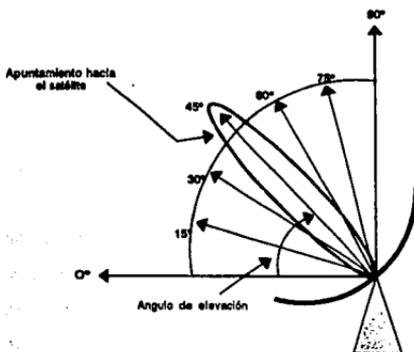


Figura 1.4-f Ángulo de elevación de una antena parabólica

Por su parte el ángulo de azimut es la cantidad en grados que hay que girar la antena en el sentido de las manecillas del reloj con relación al norte geográfico de la tierra, para que ese mismo eje de simetría prolongado imaginariamente pase por la posición en-longitud del satélite (Figura 1.4-g).

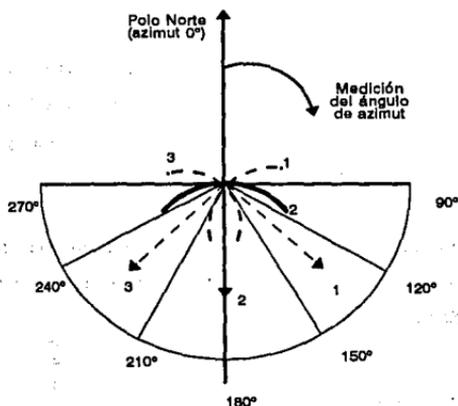


Figura 1.4-g Ángulo de azimut de una antena parabólica

Dependiendo de la aplicación de la estación terrena, también es necesario efectuar con frecuencia correcciones pequeñas en ambos ángulos, ya que ningún satélite geostacionario es realmente fijo, sino que tiende a salirse poco a poco de su posición orbital. En otros casos las condiciones ambientales como la lluvia, viento y el mismo peso de la antena modifican su orientación y es necesario realizar ajustes en sus ángulos de elevación y azimut para garantizar una recepción o transmisión óptima de las señales.

1.4.1 PARAMETROS BASICOS DE LAS ANTENAS

Se analizarán aquellos parámetros de una antena que afectan al desempeño total del sistema y que llevarán al entendimiento de la función de una antena como elemento acoplador de potencia. Esto es, se tratará a una antena como un transductor, que acepta la potencia contenida en una línea de transmisión al espacio y viceversa.

Los principales parámetros que describen las propiedades de una antena son:

- *Impedancia de entrada*
- *Eficiencia de radiación*
- *Patrón de radiación*
- *Directividad*
- *Ganancia de la antena*
- *Area efectiva*
- *Polarización*

Impedancia de entrada

La Z_e es el parámetro que describe a la antena como un elemento de circuito. Es de primordial importancia para determinar la eficiencia con que se transfiere la potencia en la línea de transmisión a la antena y viceversa. Para utilizar una antena de manera eficiente, su impedancia debe acoplarse a la línea de transmisión. El acoplamiento de impedancias entre la antena y las líneas de transmisión T_x , es generalmente expresada en términos de la relación de onda estacionaria (ROE) o del coeficiente de reflexión en la antena cuando ésta es conectada a una línea de T_x de una Z dada. El coeficiente de reflexión expresado en decibeles es conocido como pérdidas de retorno.

Eficiencia de radiación

La eficiencia de radiación de una antena es la relación de potencia radiada a la potencia neta aceptada por la antena en sus terminales, durante el proceso de radiación.

$$K = \frac{\text{Potencia - radiada}}{\text{potencia - efectiva}} = \frac{P_{rad}}{P_d} \quad (1)$$

La diferencia de la potencia aceptada por la antena y la potencia radiada es la potencia que se disipa en la antena.

$$\text{Potencia disipada en la antena} = P_{at} - P_{rad} \quad (2)$$

La eficiencia de radiación es una propiedad inherente de la antena y no depende de tales factores del sistema, como son desacoplamiento de impedancias o de la polarización.

Patrón de intensidad de radiación

Las antenas no radian la potencia uniformemente en todas las direcciones del espacio. Las antenas tienen la habilidad de concentrar la potencia radiada en ciertas direcciones, o en el caso de una antena receptora la absorción en forma efectiva de la potencia, incidente en cierta dirección.

Para especificar estas características direccionales de una antena, primero se determinará una cantidad conocida como intensidad de radiación.

Utilizando un sistema de coordenadas esféricas central en una antena (Figura 1.4.1).

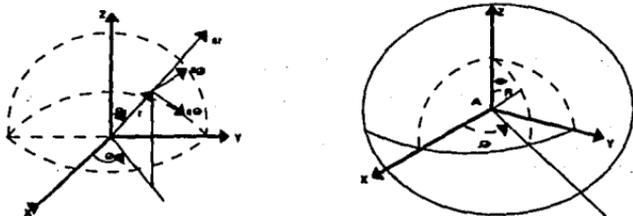


Figura 1.4.1 Sistema de coordenadas esféricas

Para una distancia radial grande R , desde la antena radiadora los campos eléctricos (vector) E y magnético H son ortogonales en un plano normal al radiado vector r , por lo tanto la potencia radiada por unidad de área dada por el vector de Poynting S , es totalmente radial.

$$S = S_r a_r, S_\theta = S_\phi = 0$$

La magnitud del vector de Poynting puede ser calculado mediante:

$$S = S_r = (E)^2 / \eta_0 \quad [\text{w/m}^2] \quad (3)$$

Donde:

E es el valor RMS del campo eléctrico que varía inversamente con la distancia.

η_0 Es la impedancia del espacio libre = 120π ohms.

Para una distancia $r = R$ y haciendo referencia en la figura 1.4.1-a se observa que hay $R^2 m^2$ de superficie por unidad de ángulo sólido, por lo tanto se definirá la intensidad de radiación $V(\theta, \phi)$ en una dirección dada como la potencia radiada por unidad de ángulo sólido en esa dirección, esto es:

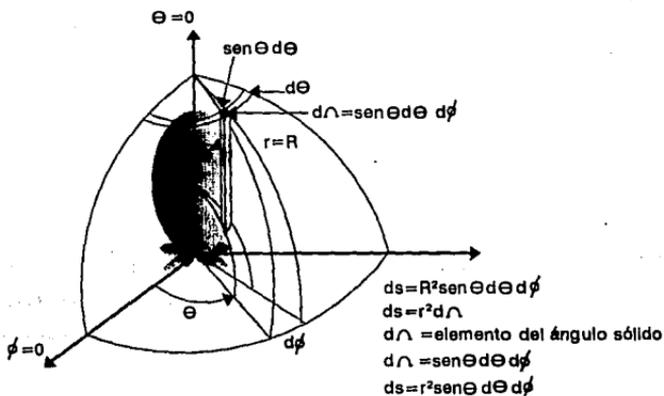


Figura 1.4.1-a

$$\begin{aligned} \text{Intensidad de radiación} &\Rightarrow V(\theta, \phi) = r^2 S_r \\ &= r^2 E^2 / \eta_0 \text{ [watts / estereadian]} \end{aligned}$$

(4)

Se debe hacer la observación de que la intensidad de radiación es independiente de r . La potencia total radiada está dada por:

$$Prad = \iint V(\theta, \phi) d\Omega = \iint V(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi \quad (5)$$

Ya que hay 4π esteradianes de ángulo sólido total, la intensidad de radiación media es igual a:

$$V_o = Prad / 4\pi = \iint V(\theta, \phi) d\Omega / 4\pi \quad [\text{w/ esteradianes}] \quad (6)$$

Graficando a $V(\theta, \phi)$ como una función de las direcciones angulares θ y ϕ se obtiene el patrón de radiación absoluto, en el cual se describe la intensidad de radiación en cualquier dirección espacial. Obviamente al considerar todos los valores posibles de θ y ϕ , el patrón de intensidad de radiación aparece como una superficie, como se ilustra en la figura 1.4.1-b.

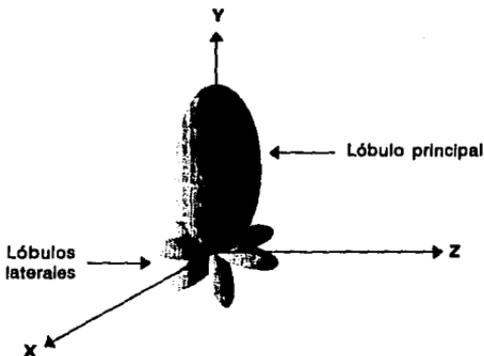


Figura 1.4.1-b Patrón de intensidad de radiación

En muchos sistemas de comunicaciones se requiere que la antena transmisora concentre la mayor parte de potencia radiada en una sola dirección del receptor, como se observa en la figura anterior.

El receptor recibirá la máxima potencia posible, si la antena transmisora está físicamente orientada de manera que el pico del lóbulo principal este en la dirección del receptor.

Es obvio que los lóbulos laterales representan un desperdicio de potencia, ya que ésta es radiada en direcciones no deseadas; por lo tanto se debe buscar que estos estén de 70 a 30 dB abajo del valor pico del lóbulo principal, y en otros diseños de 30 a 40 dB.

Si $V(\theta, \phi)$ es expresada en términos de un valor en cierta dirección de referencia, al graficarla se obtiene un patrón de intensidad de radiación relativa. Es costumbre tomar la dirección de referencia como aquella en que $V(\theta, \phi)$ es máxima de esta forma la cantidad que se grafica es $V(\theta, \phi) / V_m$; donde V_m es el valor máximo de $V(\theta, \phi)$. Así el máximo valor de un patrón de radiación es la unidad.

En un patrón de radiación lineal se utiliza un sistema de coordenadas rectangulares donde el eje de las abscisas esta indicando la variación angular (θ, ϕ) y el eje de las ordenadas esta indicando la intensidad de radiación relativa $(V(\theta, \phi) / V_m)$; que puede también estar expresada en dB como:

$$10 \log_{10} V(\theta, \phi) / V_m$$

Un patrón de radiación polar consiste de un radio que gira sobre un plano y cuyo valor es igual a la intensidad de radiación relativa $(V(\theta, \phi) / V_m)$. Este tipo de patrón es útil

para visualizar la cobertura de radiación de la antena alrededor de 360° . El valor del radio puede estar expresado en dB.

La separación angular entre los puntos de media potencia del patrón de radiación es llamado "ancho del haz". En los dos patrones ortogonales, llamados patrones planos principales, se denominarán a éstos ancho del haz con θ_B y ϕ_B y está dado en grados o radianes (Figura 1.4.1-c).

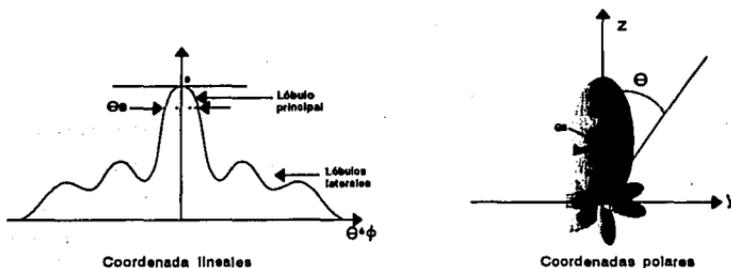


Figura 1.4.1.-c Intensidad de radiación relativa

Ganancia

La ganancia es la capacidad de la antena para amplificar las señales que transmite o recibe en cierta dirección, y se mide en decibeles, en relación con la potencia radiada o

recibida por una antena isotrópica (dBi). Por lo tanto, siempre se desea tener la mayor ganancia posible en la dirección en la que vienen las señales que se quieren recibir, o en la que se va a transmitir algo, y la mínima en todas aquellas direcciones que no sean de interés.

De aquí que los lóbulos laterales o secundarios de radiación de la antena deben ser lo más pequeños que sea posible, para que no capten señales indeseables provenientes de otros satélites o de sistemas terrestres de microondas, o bien para que no transmitan en direcciones no autorizadas o innecesarias.

Estrictamente, la ganancia de una antena tiene siempre un valor definido en cualquier dirección a su alrededor, pero por convención se acostumbra asociarla a la dirección de máxima radiación, su valor depende de varios factores, entre ellos el diámetro de la antena, su concavidad, la rugosidad de su superficie, el tipo de alimentador con que es iluminada, así como la posición y orientación geométrica del mismo.

Cuanto mayor es el diámetro de una antena parabólica, mayor es su ganancia, su haz o lóbulo principal de radiación es más angosto, y los lóbulos secundarios se reducen; así mismo si su diámetro se conserva fijo, el mismo efecto anterior se obtiene mientras mayor sea la frecuencia de operación, porque eléctricamente hablando, la antena es más grande en términos de longitudes de onda.

El tipo de alimentador define la ganancia final de la antena y las características de sus lóbulos. Hay varios tipos de alimentación de una antena parabólica, pero los tres más utilizados son los de *alimentación frontal*, *descentrada (offset)* y *Cassegrain*.

Ganancia Directiva

Cuando la antena de referencia es un radiador isotrópico, la relación entre las densidades de potencia se llama ganancia directiva.

Un radiador isotrópico es una antena hipotética que tiene la facultad de radiar igualmente en todas direcciones, tal facultad implica que la potencia total radiada se distribuye uniformemente en el espacio y por tanto el patrón de radiación para θ y para ϕ es omnidireccional, bajo esta condición la potencia radiada está distribuida uniformemente en el área de una esfera.

Una definición similar, considera que la ganancia directiva es la relación entre la densidad de potencia de la antena y la densidad de potencia promedio, que implica que la potencia radiada se distribuye uniformemente en el espacio.

La ganancia directiva es función del ángulo θ , físicamente ésta dependencia implica que la ganancia no es la misma en todas direcciones, es decir, que la densidad de potencia radiada por la antena puede ser mayor, menor o igual que la densidad de potencia radiada por el radiador isotrópico.

Usualmente las antenas se dirigen a la máxima recepción por lo que un término muy útil es el valor máximo de la ganancia directiva (directividad).

$$d = G_{Dmax}$$

La ganancia directiva, $G_D(\theta, \phi)$ en una dirección dada se define como la relación de intensidad de radiación producida por la antena en esa dirección a la intensidad de radiación media, esto es:

$$GD(\theta, \phi) = V(\theta, \phi) / V_0 = V(\theta, \phi) / (Prad / 4\pi) \quad (6)$$

$$GD(\theta, \phi) = 4\pi V(\theta, \phi) / Prad = 4\pi V(\theta, \phi) / \iint V(\theta, \phi) d\Omega \quad (7)$$

La directividad D de una antena es su máxima ganancia directiva, mientras que la ganancia directiva sea una función de los ángulos (θ, ϕ) que deben ser especificados. La directividad es una constante que debe ser especificada en una dirección particular.

$$D = 4\pi V_m / Prad = 4\pi V_m / \iint V(\theta, \phi) d\Omega \quad (8)$$

$$\therefore V_m = V(\theta, \phi)_{max}$$

En la práctica comunmente GD (sin ninguna especificación de ángulo) se utiliza de manera intercambiable con D para designar la ganancia directiva en la dirección de máxima radiación.

La ecuación de la directividad también puede ser escrita como:

$$\begin{aligned} D &= 4\pi V_m / \iint V(\theta, \phi) d\Omega \\ &= 4\pi / \iint [V(\theta, \phi) / V_m] d\Omega \\ &= 4\pi / B \end{aligned} \quad (9)$$

por lo tanto, B se define como el área del haz

$$B = \iint [V(\theta, \phi) / V_m] d\Omega \quad (10)$$

El área del haz es un ángulo sólido a través del cual toda la potencia radiada pasaría si la intensidad de radiación fuera igual a V_m sobre todo el haz. Así mismo define un patrón de la antena equivalente, si θ_B y ϕ_B son los anchos del haz en los dos planos ortogonales principales, el área del haz B es aproximadamente igual a $\theta_B \phi_B$, sustituyendo en la ecuación 9 obtenemos:

$$D = 4\pi / \theta_B \phi_B \quad (11)$$

Donde:

θ_B y ϕ_B deben estar dados en radianes

Si θ_B y ϕ_B están dados en grados, entonces:

$$D = 41253 / \theta_B \phi_B \quad (12)$$

Donde:

$P_{a.t.}$ = Potencia aceptada por la antena

$$G(\theta, \phi) = 4\pi \epsilon_0 / P_{a.t.} \quad (13)$$

$$G(\theta, \phi) = 4\pi / \epsilon_0 P_{a.t.} \quad (14)$$

$$G(\theta, \phi) = 4\pi V(\theta, \phi) / P_{a.t.} \quad (15)$$

De acuerdo a esta definición (15) la ganancia de una antena isotrópica es igual a la unidad, independientemente de la dirección.

Comunmente a la máxima ganancia de potencia, se le designa con el nombre de ganancia de la antena G (sin ninguna especificación de los ángulos).

$$G = G(\theta, \phi)_{\max} = 4\pi V(\theta, \phi)_{\max} / P_{a.t.} \quad (16)$$

Ya que la eficiencia de radiación de la antena K esta dada por:

$$P_{rad} = K P_e \quad (17)$$

Podemos relacionar la ganancia de la antena y la directividad utilizando la ecuación 17, mediante la expresión:

$$G = KD \quad (18)$$

De 18 se observa que si la antena no tiene pérdidas, la potencia de entrada P_e es la potencia radiada P_{rad} , de manera que $K=1$ y la ganancia de la antena y la directividad son iguales.

Si la antena tiene pérdidas la eficiencia de radiación K es menor que 1 ($K < 1$) y la ganancia de la antena es menor que la directividad.

La directividad D nunca es menor que la unidad, su valor debe encontrarse entre:

$$(1 \leq \infty), (1 \leq D \leq \infty)$$

En cambio el valor de la ganancia de la antena debe encontrarse entre:

$$(0 \leq \infty), (0 \leq G \leq \infty)$$

La ganancia de la antena puede ser expresada en decibeles como:

$$G_{dB} = 10 \log_{10} G \quad (19)$$

En cálculos de potencia en sistemas de comunicaciones debe utilizarse siempre la ganancia de la antena ya que indaga las pérdidas introducidas por la antena. La directividad o la ganancia directiva tiene importancia en consideraciones de cobertura y en factores relacionados con el ancho del haz de la antena.

Debe hacerse notar que la ganancia de potencia solo incluye las pérdidas disipativas de la antena pero no incluye pérdidas que surgen por desacoplamiento de impedancias o por la polarización.

Las diferencias de ganancia de potencia y de ganancia directiva fueron descritas en términos de una antena transmisora.

Unos de los teoremas fundamentales de la teoría de las antenas es el de reciprocidad, que enuncia "*bajo ciertas condiciones los patrones de radiación y de recepción de una antena son los mismos*". Así las definiciones de ganancia son aplicables cuando la antena se utiliza tanto para transmisión como para recepción.

La única diferencia práctica de la cual debe hacerse mención entre las antenas receptoras y transmisoras, es que una transmisora debe ser capaz de soportar mayores potencias.

La densidad de potencia $S_r(\theta, \phi)$ o flujo de potencia por unidad de área en el frente de onda transmitido a una distancia R desde la antena en la dirección (θ, ϕ) puede ser determinada de las ecuaciones 16 y 4.

$$G(\theta, \phi) = 4\pi V(\theta, \phi) / P_{a.t} = 4\pi r^2 S_r(\theta, \phi) / P_{a.t} \quad (20)$$

Para la distancia $r=R$

$$G(\theta, \phi) = 4\pi R^2 S_r(\theta, \phi) / P_{a.t} \quad (21)$$

De donde:

$$S_r(\theta, \phi) = [P_{a.t} / 4\pi R^2] G(\theta, \phi) \quad (22)$$

Relación frontal-trasera

La relación frontal-trasera es la relación de la directividad de una antena a la ganancia directiva en una dirección específica hacia atrás.

$$\text{Relación frontal - trasera} = D / G_D(\theta, \phi) \quad (23)$$

en decibeles:

$$\text{Relación frontal - trasera dB} = D_{dB} - G_D(\theta, \phi) \quad (24)$$

La ganancia directiva generalmente es la del lóbulo de mayor intensidad localizado en la región de $180^\circ \pm 80^\circ$, figura 1.4.1-d (* desde el lóbulo principal).

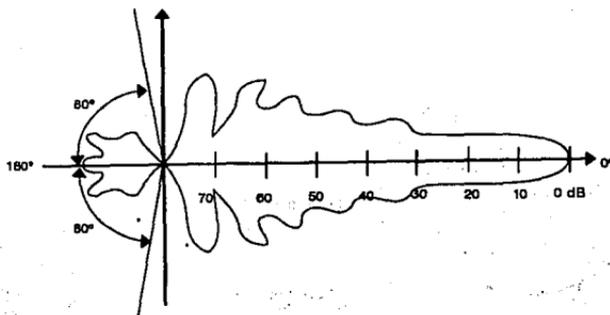


Figura 1.4.1-d Ganancia directiva

*Valor para antenas de alto desempeño, en antenas sencillas puede ser un ángulo menor.

Directividad

El grado en que un campo radiado es concentrado en una dirección, es generalmente llamado directividad de una antena (Figura 1.4.1-e). El patrón de una antena se representa mediante una gráfica o carta, en la cual se encuentran gráficamente las mediciones de la directividad $D(\theta, \phi)$ desglosados en un plano ya sea el plano θ o el plano ϕ .

El ancho del haz puede determinarse a partir de la gráfica del patrón de la antena. El ángulo comprendido entre los dos puntos que se encuentran $3dB$ por debajo del punto máximo del patrón de radiación se le considera ancho de haz, que generalmente se da en grados.

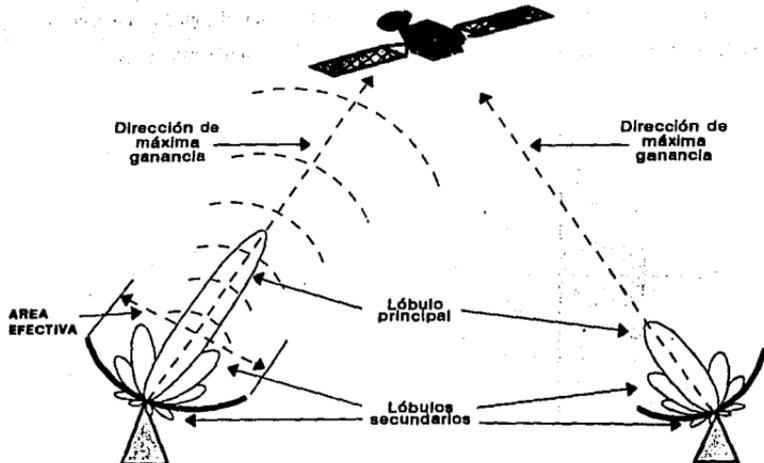


Figura 1.4.1-e Directividad de una antena

Area efectiva

Una antena receptora extrae la potencia de las ondas que inciden en ella y la alimenta al receptor a través de una línea de transmisión. La cantidad de potencia extraída depende de la orientación de la antena, de la polarización de las ondas y del acoplamiento de impedancias en el receptor.

Las características directivas de una antena receptora, pueden ser descritas considerando que poseen una área o apertura $A(\theta, \phi)$, que extrae la potencia de las ondas que inciden en ella. Se define esta área o apertura en una dirección dada; como la relación entre la potencia recibida que aparece en las terminales de la antena, cuando está acoplada al sistema y la densidad de potencia de la onda incidente en esa dirección.

$$A(\theta, \phi) = P_{a.r.} / S_r(\theta, \phi) \quad [m^2] \quad (25)$$

Esta apertura esta relacionada con la ganancia de potencia por la expresión:

$$A(\theta, \phi) = [\lambda^2 / 4\pi] G(\theta, \phi) \quad (26)$$

Cuando la antena receptora esta orientada para obtener la máxima potencia de recepción, se obtiene la máxima área o apertura de la antena conocida como área efectiva o apertura efectiva (A_e):

$$A_e = A(\theta, \phi)_{max} \quad (27)$$

El área efectiva esta relacionada con la verdadera área física A de una antena por:

$$A_e = \eta A \quad (28)$$

Donde η es llamada eficiencia de la apertura y ($0 < \eta < 1$). Si todas las posiciones posibles del área física de una antena estuvieran captando (o radiando) potencia con la misma intensidad, resultaría una apertura con la máxima eficiencia posible ($\eta = 1$).

El área o apertura efectiva A_e está relacionada con el área de la antena por la expresión:

$$A_e = [\lambda^2 / 4\pi] G \quad [m^2] \quad (29)$$

De esta última ecuación se ve que para una antena isotrópica donde la ganancia es igual a la unidad ($G=1$), su área efectiva esta dada por:

$$Ae_{\text{total}} = \lambda^2 / 4\pi \quad (30)$$

Polarización

La polarización de una onda electromagnética se define como la dirección del vector de campo eléctrico de la onda. La polarización de una antena, es la polarización de la OEM radiada por ella en una dirección dada. El lóbulo principal del patrón de radiación generalmente es normal al plano radiado de la antena.

Si la vertical local de la antena está en el eje Y y E está contenido en un plano vertical, la radiación se dice esta polarizada verticalmente. Si el vector E esta contenido en un plano horizontal, la radiación se dice esta polarizada horizontalmente. Ambos tipos de polarización son casos específicos de la polarización lineal (Figura 1.4.1-f).

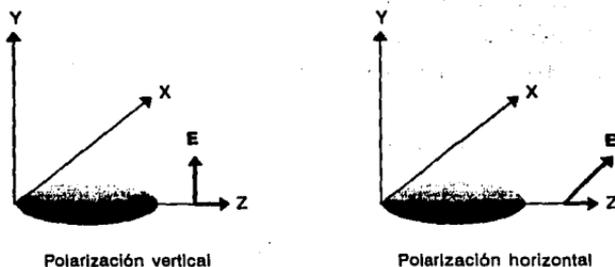


Figura 1.4.1-f Polarización lineal

Aquí el campo eléctrico está todavía contenido en un plano pero tiene componentes vertical y horizontal que están en fase en el tiempo. Si el lóbulo principal de la antena apunta en otra posición diferente de la horizontal, las polarizaciones horizontal y vertical pierden su significado y se convierte simplemente en polarización lineal.

Algunos sistemas diseñados para transmitir ondas cuyo vector E tiene componentes vertical y horizontal pero que están fuera de fase en el tiempo. De este caso quizá el más útil es la polarización circular, donde las componentes horizontal y vertical del vector E tienen la misma magnitud pero están $\pm 90^\circ$ fuera de fase en el tiempo.

Si la componente horizontal está atrasada 90° con respecto a la componente vertical, el campo vertical gira con respecto al tiempo, en el sentido contrario de las manecillas del reloj en el plano XY . Si alguien se situara en la antena y viera alejarse la onda de la antena, vería lo que se denomina polarización circular izquierda.

Si la componente horizontal se adelanta 90° a la componente vertical, el campo resultante gira con respecto al tiempo en el sentido de las manecillas del reloj en el plano XY , y es llamada polarización circular derecha (Figura 1.4.1-g).

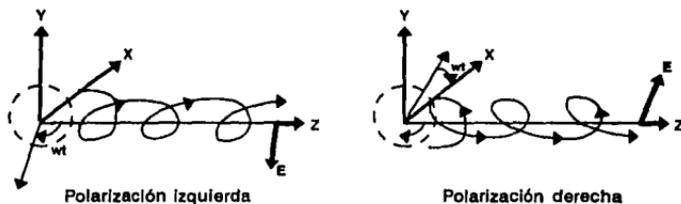


Figura 1.4.1-g Polarización circular izquierda y derecha

La polarización circular es un caso especial de una más general llamada elíptica, donde las dos componentes lineales tienen amplitudes y fases en el tiempo arbitrarias. La polarización elíptica no ha tenido una utilización práctica.

Es necesario que las antenas transmisoras y receptoras de un enlace de comunicaciones tengan la misma polarización. Si no tienen la misma polarización una cierta cantidad de potencia radiada no podrá ser captada por la antena receptora.

La potencia recibida en una antena en caso de que las antenas T_x y R_x no tengan la misma polarización (lineal) será dada por:

$$P_{a.r.} = (P_{a.r.})_{\max} \cos^2\theta \quad (31)$$

$P_{a.r. \max}$ es la potencia que se recibiría si las antenas T_x y R_x tuvieran la misma polarización.

θ = ángulo entre las orientaciones relativas de la polarización de las antenas T_x y R_x .

Cantidad especificada por fabricantes aparte del patrón de radiación tanto vertical como horizontal y patrón de radiación (componente del campo eléctrico de esta radiación, es perpendicular a la polarización deseada).

La discriminación de polarización cruzada de la antena, que es la relación de la intensidad de radiación del lóbulo principal a la intensidad de radiación del mayor lóbulo

de polarización dentro del ancho del haz de 10 dB abajo del máximo valor del lóbulo principal.

Discriminación de la polarización

$$= V/V \text{ por cada polarización cruzada} \quad (32)$$

Patrón de radiación

El patrón de radiación es una gráfica usualmente en papel polar que muestra la forma en que el campo eléctrico (o el magnético) varía con el ángulo θ o el ángulo ϕ de las coordenadas esféricas. Físicamente el patrón de radiación representa la distribución de la energía del campo electromagnético en el espacio.

En general el campo eléctrico de cualquier antena puede representarse por:

$$E = KF(\theta, \phi)$$

donde:

$F(\theta, \phi)$ es una función de θ o de ϕ o de ambas.

Puede tabularse para θ o para ϕ .

Esta teoría de antenas se conoce a $F(\theta, \phi)$ como la amplitud normalizada del patrón direccional de la antena, que se define como la relación de la magnitud de la intensidad del campo en la zona de radiación, en una dirección determinada, a la magnitud de la intensidad de campo en la zona de radiación en la dirección de máxima radiación.

Es necesario suprimir los niveles de los lóbulos laterales tanto como sea posible, ya que éstos pueden ser una fuente de interferencia para estos sistemas de comunicación terrestre (Figura 1.4.1.h).

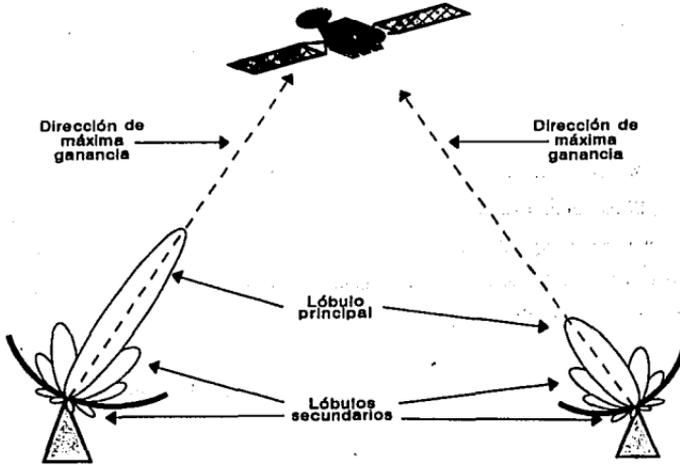


Figura 1.4.1-h Patrón de radiación de dos antenas de diferentes dimensiones

1.4.2 TEMPERATURA DE RUIDO DE UNA ANTENA PARABOLICA

En los sistemas de comunicación el ruido causado por agitación térmica de la tierra y de la atmósfera, contaminan la señal, el ruido tiene un valor pico en la antena, arriba de los lóbulos laterales del haz central de la antena de los cuales tienden a ser

suprimidos. Al mismo tiempo se tiende a utilizar receptores de bajo nivel de ruido, ya que la señal que recibimos del satélite es muy pequeña.

Se debe de considerar que esta cantidad de ruido es el que se capta en la antena sin señal y que la temperatura de ruido debe de incrementarse por un factor de 6.7°K debido a la atenuación que presenta el atenuador que es de 0.1 dB, lo cual hace que se incremente la temperatura de ruido de la antena.

1.4.3 FIGURA DE MERITO

La figura de mérito esta dada por la relación ganancia a temperatura de ruido G/T (dB°K), y se utiliza como una guía para indicar que tan buena es una antena para este caso, en comunicaciones por satélite en donde T es la temperatura de ruido expresada en °K. Una buena antena debe de tener una alta ganancia y una baja temperatura de ruido. Si la temperatura de ruido T_s de todo el sistema receptor es incluida en la temperatura de ruido de la antena T es posible indicar la figura de mérito de todo el sistema receptor, incluyendo el de la antena del sistema alimentador y receptor.

1.4.4 AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO (LNA)

La antena recibe las señales provenientes del satélite y a través del duplexor se las entrega a un amplificador de bajo ruido, éste funciona similarmente al amplificador de bajo ruido del satélite, por las mismas razones de que a su llegada la señal tiene una

intensidad muy baja y además es muy vulnerable a cualquier ruido que se le pueda añadir antes de ser amplificada a un nivel aceptable.

La antena y el amplificador de bajo ruido son los elementos más importantes de una estación terrena receptora y juntos definen la calidad de su operación (al menos en la primera etapa de recepción). El amplificador de bajo ruido tiene una temperatura de ruido como su principal parámetro indicativo, y mientras ésta sea más baja tanto mejor, porque el ruido que se añade a la señal es menor y la calidad de la recepción aumenta. Sin embargo no solamente se introduce ruido en la señal a través del amplificador de bajo ruido, sino también por la antena, la suma de la temperatura de ruido de la antena y la propia del amplificador de bajo ruido determinan casi completamente la temperatura total T de ruido del sistema de recepción, siempre y cuando las pérdidas producidas por los conectores sean bajas (Figura 1.4.4).

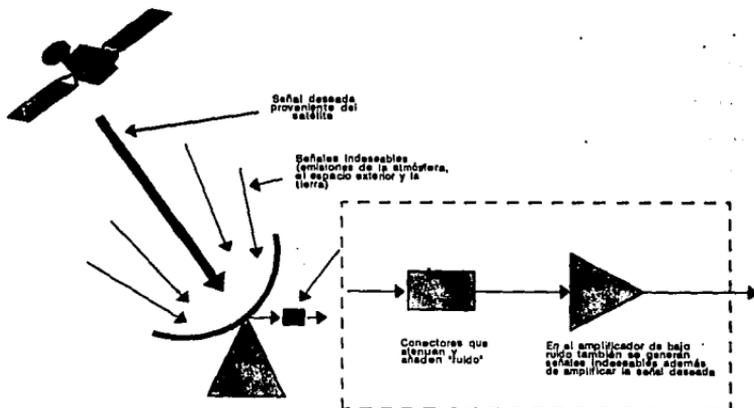


Figura 1.4.4 Pérdidas producidas por conectores y ruido introducido por la antena

Como el nivel de potencia de la señal a su llegada a una estación terrena receptora es muy bajo, el amplificador de bajo ruido debe ser altamente sensible, es decir, que el ruido interno generado por él caracterizado por su temperatura de ruido sea lo más bajo posible.

La temperatura de ruido del amplificador es función de varios de sus parámetros, como su ganancia, las características de sus componentes, y la temperatura física de ellas. Si la temperatura física se logra reducir, entonces la temperatura de ruido, también baja; por lo tanto, es deseable enfriar el amplificador lo más que se pueda, muchas veces hasta temperaturas cercanas al cero absoluto, además de colocarlo lo más cerca posible del duplexor de la antena para reducir las pérdidas.

La señal de RF proveniente del subsistema de antena entra al complejo del *LNA*, dentro de este pasa por 2 etapas de amplificación, la primera un amplificador paramétrico de un solo paso, con su fuente de bombeo (PUMP) asociada, de una ganancia típica de 14 dB; la segunda, utiliza un amplificador FET de varias etapas y una ganancia típica de 45 dB, obteniéndose después de estas dos etapas una ganancia nominal de 58 dB. La señal de RF amplificada se envía al divisor de RF por medio de cable coaxial.

Cada *LNA* es energizado y controlado desde su respectiva unidad de control y monitoreo, esta unidad convierte la energía de AC en varios voltajes de DC y AC y los aplica a los circuitos respectivos, por otra parte suministra un voltaje de polarización y un control de bombeo al amplificador paramétrico y ejerce control sobre la temperatura de las dos etapas de amplificación.

Existen diferentes tipos de *LNA's* que se emplean en las estaciones terrenas, los que actualmente se utilizan son los *paramétricos* y *fet*. Los amplificadores paramétricos

son realizados por medio de un diodo varactor (o un circuito con capacitor), el cual es superior a otros amplificadores por tener una temperatura de ruido baja y por la flexibilidad de trabajar dentro de un rango de frecuencia amplio. El amplificador *fet* utiliza un transistor de efecto de campo, los cuales han remplazado en la actualidad a otros tipos de *LNA's*

En un sistema de comunicaciones vía satélite, si la ganancia de la antena es grande, un amplificador de bajo ruido con una temperatura de ruido grande es empleado para una cierta *G/T*, en cambio si la ganancia de la antena receptora es baja se requiere un *LNA* más costoso (con una temperatura de ruido más baja).

Los amplificadores paramétricos son empleados para muchos de los satélites actuales, y pueden ser enfriados y no enfriados; y la temperatura de ruido oscila entre 30 y 60 °K para banda *C* y entre 80 y 100 °K para banda *Ku*, los enfriados pueden ser por gas helio o termoelectricamente.

Las principales características de estos amplificadores son:

- *Temperatura de ruido baja*
- *Alta confiabilidad*
- *Alta confiabilidad del varactor*
- *Fácil instalación*
- *Medida pequeña y peso grande*
- *Fácil transportación*

Para el caso de los *LNA's* tipo *fet* pueden ser de varios tipos:

- *Mos fet*
- *Juntura fet*
- *Schottky Barrier fet*

Actualmente se ha desarrollado el amplificador *Ga As Schottky y Barrier fet* el cual tiene casi las mismas características eléctricas que el amplificador paramétrico, este tipo de amplificador muestra características superiores a las de los amplificadores con transistores bipolares, con respecto a las características de R.F., como son bajo ruido, alta ganancia y rango de frecuencia amplio, los rangos de temperatura para los *LNA's* tipo *fet* es de 80 y 100 °K para sistemas no enfriados y enfriados termoelectricamente en banda **C**; para banda **Ku** el rango varía de 125 hasta 240 °K, estos amplificadores son empleados para sistemas de satélites domésticos.

La temperatura de ruido **T** usual con la que opera es del orden de 250 °K aproximadamente, en banda **C** esta temperatura varía entre 90 y 100 °K, pero en banda **Ku** entre 100 y 200 °K.

Es importante mencionar que el valor elevado de la temperatura de ruido del amplificador importa menos que la temperatura de ruido de la antena, cuando se utiliza la banda **Ku** que cuando se emplea la banda **C**.

El gran aumento de la temperatura de ruido de la antena en banda **Ku** se debe al comportamiento de la atmósfera en esas frecuencias y a la atenuación de la señal causada por la lluvia cuando ésta ocurre; en cambio las señales que se propagan en la banda **C** son atenuadas muy poco por la lluvia y la temperatura efectiva de ruido de la antena es relativamente baja.

Debido a lo anterior, cuando un enlace de comunicaciones funciona en banda **Ku**, es diseñado con un buen margen de operación, para que cuando llueva, la señal no se degrade a niveles de potencia insatisfactorios.

Es más común que el factor de ruido se dé para banda **Ku** y la temperatura de ruido para banda **C**.

Ambos parámetros están relacionados entre sí mediante una expresión muy sencilla:

$$T=290(F-1)$$

Donde:

T = Temperatura de ruido

F = Factor de ruido

Que demuestra que cuando sea más pequeño el factor de ruido, será mejor el amplificador de bajo ruido.

1.5 CONCEPTOS SATELITALES

El sistema de comunicaciones vía satélite está compuesto por dos elementos estrechamente ligados, las estaciones terrenas llamadas *segmento terrestre* y los satélites que se les denomina comunmente *segmento espacial*. El mayor volúmen de equipo necesario para la operación de las comunicaciones vía satélite se encuentra en las estaciones terrenas, la figura 1.5 muestra el diagrama básico de comunicación vía satélite. En este diagrama se puede apreciar que necesitamos de dos estaciones terrenas para que se establezca la comunicación entre ellas, y de un satélite; una de las estaciones terrenas debe de ser transmisora y la otra receptora. Aunque en un sistema más completo ambas estaciones terrenas pueden ser tanto transmisoras como receptoras al mismo tiempo.

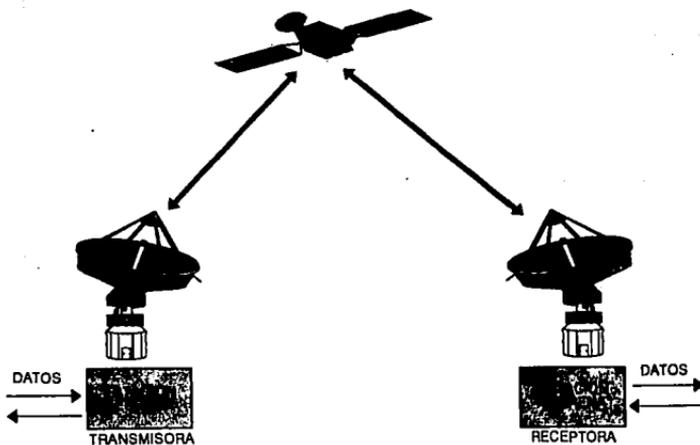


Figura 1.5 Esquema básico de las comunicaciones vía satélite

1.5.1 SEGMENTO TERRESTRE

Las estaciones terrenas se clasifican en diferentes categorías, dependiendo del servicio que prestan, podemos encontrar estaciones terrenas para el servicio de satélite fijo y estaciones terrenas móviles (las que se emplean a bordo de barcos y aeronaves), así como estaciones portátiles.

En general, e independientemente del tipo de estación terrena que se hable, los subsistemas que componen cada segmento terrestre son esencialmente los mismos.

Para facilitar la comprensión de la figura anterior, a continuación se dividirá dicho dibujo en dos secciones a bloques, una de las cuales será la etapa de transmisión y la otra será la etapa de recepción, en las cuales se explica cada uno de los componentes que las integran.

Trayectoria de transmisión o ascendente

En la figura 1.5.1 se muestra el diagrama a bloques correspondiente a la sección de transmisión, la cual consta de:

- *Interfaz con el usuario*
- *Modulador*
- *Convertidor de subida*
- *Amplificador de potencia*
- *Antena*

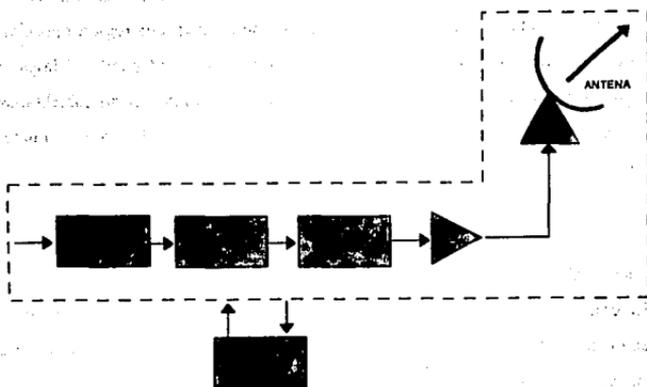


Figura 1.5.1 Diagrama a bloques de la trayectoria de transmisión

Interface con el usuario

Este bloque es de análisis común entre transmisión y recepción, pues su función es la de interconectar la información del usuario al sistema satelital.

Modulador

Combina la forma de la señal original con la señal portadora, modificando el ancho de banda de frecuencias y la posición de la información dentro del espectro radioeléctrico, la cual es transferida a frecuencias más altas (Figura 1.5.1-a); este paso de la señal modulada (la señal modulada contiene tanto la información original como la

portadora) a frecuencia intermedia es el primero en su ascenso de conversión a microondas. Aunque el modulador coloca a la señal modulada en una región más alta del espectro radioeléctrico, la frecuencia intermedia (F.I.) no es adecuada todavía para radiarla eficientemente a través de la atmósfera. Por lo tanto, es necesario subirla más en frecuencia, empleándose para ello un equipo convertidor elevador o de subida de frecuencia.

Convertidor de frecuencia de subida

El convertidor de subida transfiere a la señal de frecuencia intermedia que, dependiendo del sistema, puede tener una frecuencia central de 70 MHz, 140 MHz, 1 GHz, o más, a una posición dentro del espectro radioeléctrico en donde las nuevas frecuencias que la integran son mucho más altas que cuando salieron del modulador (Figura 1.5.1-a); por ejemplo, la señal nueva puede estar centrada aproximadamente a 6 GHz o 14 GHz. La señal tiene ahora las frecuencias apropiadas para poder ser radiadas hacia el satélite, pero su nivel de potencia es aún bajo, por lo que es preciso amplificarla antes de pasar a la antena; para esto se utiliza un amplificador de alta potencia (HPA).

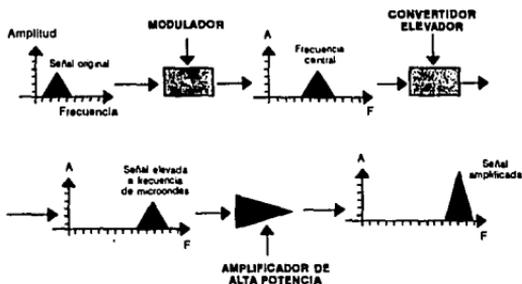


Figura 1.5.1-a Sistema de transmisión y transformación de una señal para poder radiarla hacia el satélite

Amplificador de potencia

Es un amplificador de microondas de ancho de banda muy grande, que abarca todas las frecuencias utilizables del satélite (500 MHz o más en algunos casos), por lo que puede amplificar simultáneamente señales dirigidas hacia distintos transpondedores del mismo.

Sus características de operación son satisfactoriamente uniformes o constantes a cualquier frecuencia, pero cuando se amplifican simultáneamente muchas señales distintas así estén dirigidas hacia un mismo transpondedor o transpondedores separados, su potencia de salida no se puede aumentar al máximo; de hacerlo, el ruido de intermodulación sería muy grande.

Para reducir el ruido, es necesario operar el amplificador a un nivel de potencia de salida bajo, con la consiguiente pérdida de potencia en relación con la potencia máxima nominal de salida.

El sistema de **HPA** es utilizado como la etapa final de amplificación en la trayectoria de transmisión y su función es asegurar un nivel de portadora adecuado, para la comunicación vía satélite (Figura 1.5.1-a).

Antena

Este subsistema es común tanto en transmisión como recepción y su función es la de concentrar energía en una dirección, asegurando la adaptación entre los equipos radioeléctrico y el medio de propagación, además de procurar una transmisión fiel de información.

Los tipos de antenas más usuales para estaciones terrenas se clasifican básicamente en dos grupos:

- *Por su forma estructural*
- *Por su sistema de radiación*

Tipo de estructura

- Montaje:
 - Azimut/elevación y polar
- Acabado:
 - Fibra de vidrio, aluminio

Sistema de radiación

- Cassegrain
- Gregoriana
- Foco descentrado (offset)

Trayectoria de recepción o descendente

En la figura 1.5.1-b se muestra el diagrama correspondiente a la sección de recepción o descendente, detallándose a continuación

- *Interfaz con el usuario*
- *Demodulador*
- *Convertidor de bajada*
- *Amplificador de bajo ruido*
- *Antena*

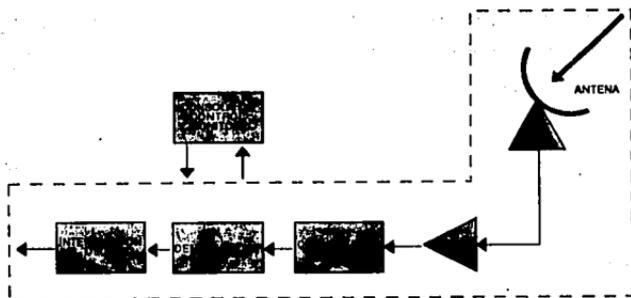


Figura 1.5.1-b Diagrama a bloques de la trayectoria de recepción

Interface con el usuario

Es lo mismo que para la trayectoria de transmisión o ascendente vista anteriormente.

Amplificador de bajo ruido

Este funciona similarmente al amplificador de bajo ruido del satélite, por las mismas razones de que a su llegada la señal tiene una intensidad muy baja y de que es muy vulnerable ante cualquier ruido que se le pueda añadir antes de ser amplificada a un nivel aceptable. La antena y el amplificador de bajo ruido son los elementos más importantes de una estación terrena receptora y juntos definen la calidad de su operación.

La antena tiene una capacidad de ganancia o amplificación; para fines de recepción este es su parámetro más importante y se designa como G . Por su parte, el amplificador de bajo ruido tiene una temperatura de ruido como su principal parámetro indicativo, y mientras ésta sea más baja tanto mejor, porque el ruido que se añade a la señal es menor y la calidad de la recepción aumenta. Sin embargo, no solamente se introduce ruido en la señal a través del amplificador de bajo ruido, sino también por la antena, y su magnitud se calcula en función de una "temperatura de ruido de la antena", la suma de la temperatura de ruido de la antena y la propia del amplificador de bajo ruido determinan casi completamente la temperatura total T de ruido del sistema de recepción, siempre y cuando las pérdidas producidas por los conectores sean bajas.

El valor del cociente G/T es una cantidad que se utiliza para definir las cualidades de recepción de una estación terrena, y según el satélite con el que se comunique debe tener un valor mínimo para funcionar aceptablemente, esta relación se conoce como *factor de calidad o figura de mérito* y como la ganancia esta dada en decibeles y la temperatura en grados Kelvin, sus unidades son $dB / ^\circ K$.

Si la temperatura física del LNA se reduce, automáticamente se reduce la temperatura de ruido del amplificador, todo lo referente al LNA se describió con más detalle en 1.4.2.

Convertidor de bajada

Se refiere al equipo en donde una señal de radio frecuencia, que es recibida del satélite es convertida a una señal de frecuencia intermedia. Normalmente el intervalo de frecuencias que se trabaja para la recepción en banda Ku es de 11 a 12 GHz y para banda C es de 3.5 a 4.5 GHz.

Demodulador

Es el que efectúa el proceso inverso del subsistema modulador.

Distribución, control y monitoreo

Su función es la de asegurar las interconexiones entre los diferentes subsistemas por medio de líneas de radiofrecuencia, del combinador, del divisor y del conmutador; además, realiza las órdenes de mando en particular para asegurar la redundancia deseada.

1.5.2 SEGMENTO ESPACIAL

Es conveniente presentar en esta parte algunos de los conceptos que nos permiten visualizar, en forma general el segmento espacial y los elementos o subsistemas principales que lo constituyen.

Podemos definir a un satélite como un repetidor fijo situado en el espacio, y como tal, puede utilizarse ventajosamente para asegurar las comunicaciones entre países diferentes o dentro de un mismo país.

Actualmente la mayor parte de los satélites comerciales han sido colocados en una órbita circular o una altitud de 35,800 Km. por encima de la superficie terrestre.

Lanzamiento y colocación en órbita

La tierra gira sobre su propio eje, completando una vuelta cada 24 hrs, se coloca a un satélite de tal forma que gire circularmente alrededor de ella en un plano imaginario que la atraviese por el círculo ecuatorial, y si el satélite también completa una vuelta en 24 hrs, entonces, para un observador sobre un punto fijo de la tierra, se produce la ilusión de que el satélite no se mueve.

Esta fue la idea de Arthur C. Clarke en 1945; esta idea es muy buena y debían cumplirse los siguientes requisitos; primero el satélite debía desplazarse en el mismo sentido de rotación que la Tierra.

Además para que no pueda perder altura poco a poco y completarse una vuelta cada 24, debía estar a aproximadamente 36000 km de altura sobre el nivel del mar, para lograrlo, el satélite debía tener una velocidad constante de 3075 m/s, siguiendo una órbita circular alrededor de la Tierra (Figura 1.5.2).

A esta se le llamó órbita geostacionaria; pero muchos autores se refieren a ella como cinturón de Clarke en reconocimiento a su autor.

En la actualidad es la órbita más congestionada alrededor de la tierra; por su sencillez y bajo costo.

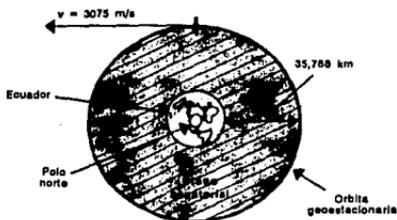
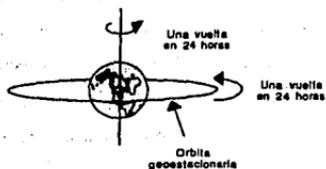


Figura 1.5.2 Cinturón de Clarke

Como llegar a la órbita geostacionaria

En teoría, el número de tipos de órbitas en los que un satélite se puede colocar alrededor de la Tierra es infinito pero la más codiciada y utilizada es la geostacionaria. Para llevar a un satélite a esta órbita tan especial existen tres procedimientos distintos, los cuales se describen a continuación.

a) Inyección directa en órbita geoestacionaria

En este caso, el satélite es transportado por un cohete de varias etapas hasta el cinturón de Clarke, sin que necesite esfuerzos propios. La inyección directa en órbita geoestacionaria es muy costosa y sólo se utiliza para lanzar satélites militares; como el satélite no realiza esfuerzos propios, es decir, no lleva motores acoplados directamente a él, para pasar de una órbita a otra, la probabilidad de que llegue a su destino aumenta.

b) Inyección inicial en órbita elíptica

En este procedimiento las etapas del sistema lanzador colocan al satélite en una órbita elíptica de gran excentricidad, es decir, muy alargada, en la que el centro de la tierra es uno de los dos focos.

Una vez ahí el satélite se separa del cohete y da una o varias vueltas en esa órbita, llamada transferencia geosíncrona, hasta que se lleve a cabo la siguiente etapa del proceso, ya con esfuerzos propios de él mismo.

El perigeo de la órbita de transferencia geosíncrona está normalmente a una altura de 300 Km sobre el nivel del mar y su apogeo cerca de los 35 788 Km que es la altura final en la que el satélite debe quedar para funcionar.

El paso siguiente es circularizar la órbita y para ello el satélite lleva acoplado un motor que se enciende en el punto de apogeo de la última vuelta elíptica que se haya programado; este motor se enciende a control remoto, y cuando esto sucede el satélite recibe un incremento de velocidad y su órbita cambia de la elíptica a la geoestacionaria (Figura 1.5.2-a).

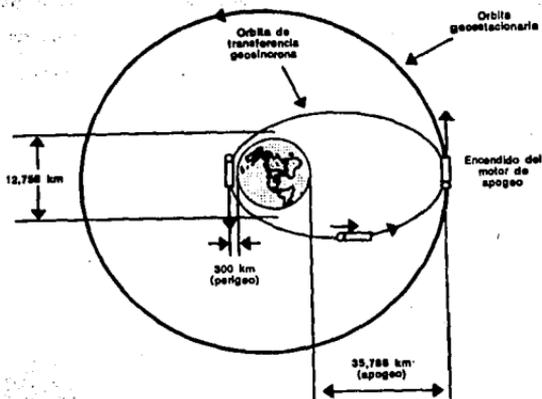


Figura 1.5.2-a Inyección inicial en órbita elíptica

c) Inyección inicial en órbita baja

Consiste en tres pasos, los dos primeros son idénticos al caso anterior, y el tercer paso es el siguiente:

El orbitador despega llevando al satélite en su compartimento de carga (Figura 1.5.2-b), y entra en órbita alrededor de la tierra siguiendo una trayectoria circular a una altura de aproximadamente 300 Km sobre el nivel del mar (Figura 1.5.2-c).

En una de las muchas vueltas que da la nave, el satélite es liberado del compartimiento de carga. La separación se realiza cuando la nave va cruzando el plano del ecuador, y cuarenta y cinco minutos más tarde cuando el satélite vuelve a cruzar el plano del ecuador, su motor de perigeo se enciende. Este le da un empuje tal que modifica su órbita, cambiándola de circular baja o estacionamiento a una elíptica similar a la anterior.

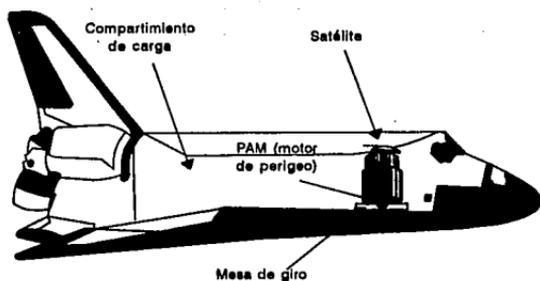


Figura 1.5.2-b. Configuración de un satélite almacenado en el compartimiento de carga de un orbitador

Una vez que ha cumplido su función, el motor de perigeo se desprende del resto del cuerpo del satélite, dando así las condiciones adecuadas para que, más adelante y en el momento preciso, un motor de apogeo acoplado al cuerpo del satélite se encienda para circularizar la órbita con su altura final.

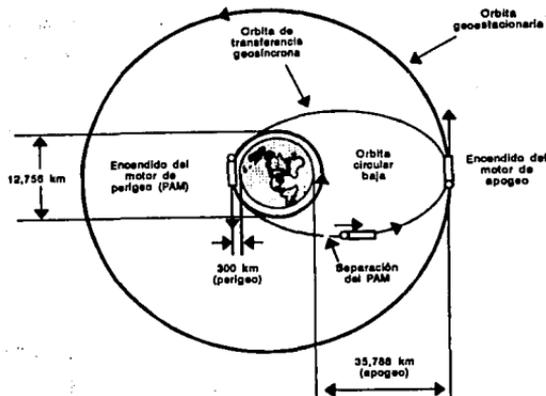


Figura 1.5.2-c Inyección inicial en órbita circular baja

El satélite y el medio ambiente en el espacio

Mientras el satélite se mueva dentro de una caja imaginaria que mide 70 kilómetros y no se salga de ésta, no existen problemas pero hay que rastrearlo constantemente para observar su posición y encender el subsistema de propulsión para que no se salga y regresarlo dentro de la caja. Para esto se necesita contar con un centro de control coputarizado que permita mantenerlo dentro del rango (Figura 1.5.2-d).

Cada vez que el subsistema de propulsión se enciende, gasta combustible y poco a poco los tanques de almacenamiento se van gastando; cuando se gasta el combustible el

satélite se sale de la caja imaginaria y ya no es posible maniobrarlo causando interferencia o provocando problemas en tierra por lo que su vida útil se termina y tiene que apagarse, para no causar problemas, la vida útil del satélite depende en gran medida que los operadores en Tierra administren el combustible de los tanques de almacenamiento del satélite.

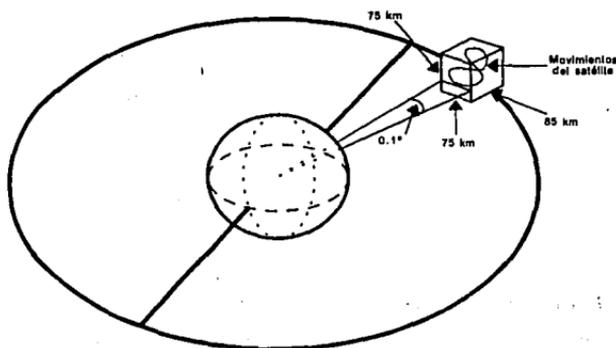


Figura 1.5.2-d Cubo imaginario de aproximadamente 70 Km por lado

1.5.3 ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE UN SATELITE

Un satélite es un sistema muy complejo y delicado, integrado por varios subsistemas; cada uno de ellos es igualmente importante, pues su probable falla podría causar la inutilidad parcial o total del conjunto.

El satélite necesita energía eléctrica, disipar calor, corregir sus movimientos y mantenerse en equilibrio, ser capaz de regular su temperatura, ser resistente al medio ambiente en el que vive, y desde luego poder comunicarse con la Tierra (Figura 1.5.3 y 1.5.3-a).

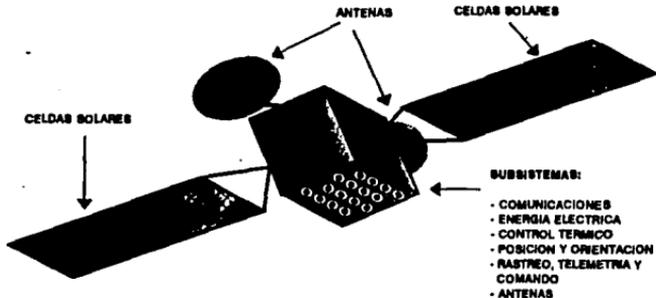


Figura 1.5.3. Estructura y funcionamiento de un satélite

Los subsistemas más importantes son:

- Antenas
- Comunicaciones
- Energía eléctrica
- Control térmico
- Posición y orientación
- Rastreo, telemetría y comando

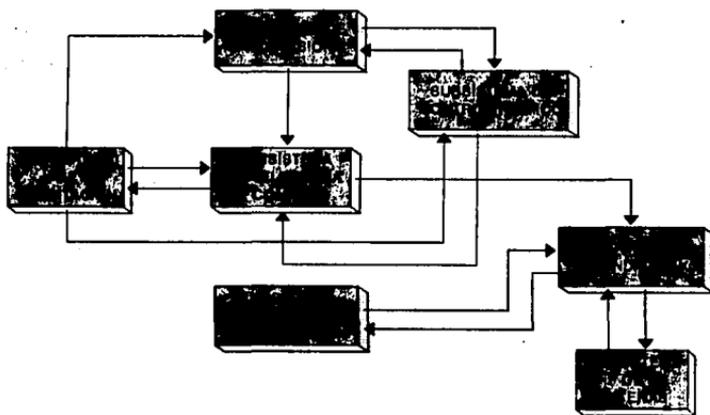


Figura 1.5.3-a. Principales subsistemas del segmento espacial

Subsistema de antenas

Las antenas reciben las señales de radiofrecuencia proveniente de las estaciones terrenas transmisoras, y después de que son procesadas en el satélite, las transmite de regreso a la tierra, concentradas en un haz de potencia.

Las antenas son, al mismo tiempo, el puerto de entrada y salida de ese mundo electrónico que es el interior del satélite; son la interface o etapa de transformación entre las señales electromagnéticas que viajan por el espacio y las señales que circulan dentro de varios de sus subsistemas.

Las hay de distintos tamaños, configuraciones y acabados, según las frecuencias a las que tengan que trabajar y la cobertura que deban tener de ciertas zonas geográficas de la Tierra.

Cuanto más grande son las antenas, tienen la propiedad de una mayor capacidad para concentrar la energía en un haz electromagnético muy angosto, que ilumina pocas unidades cuadradas, pero que irradia con niveles muy altos de densidad de potencia; esto facilita el diseño y reduce el costo de las estaciones terrenas receptoras.

La dimensión eléctrica de una antena es igual a su dimensión física, dividida entre lo que mide la longitud de onda a la frecuencia de operación.

La forma y número de antenas depende del tipo de satélite que sea y el uso que se le de, por ejemplo para el Morelos II.

El subsistema de antenas para comunicaciones es en realidad un arreglo de varias antenas, con las cuales se forman seis diferentes haces de comunicaciones, además de tres haces para rastreo.

El corazón del subsistema de antenas es un reflector parabólico dual, ensamblado y localizado en el extremo de la plataforma no giratoria y apuntando normalmente hacia la zona de cobertura.

El reflector dual se ensambla con sus respectivos alimentadores formando cinco de los seis haces de comunicación.

Los cinco haces son para la transmisión en la banda C, con polarización vertical y horizontal, y la transmisión en la banda Ku, con polarización horizontal.

Subsistema de comunicaciones

Las señales de comunicaciones (telefonía, televisión e información digital) recibidas por el satélite entran a él a través de sus antenas, y ellas mismas se encargan de retransmitir toda esa información hacia la Tierra después de procesarla debidamente.

Los principales pasos del proceso son amplificar las señales a un nivel de potencia adecuado, para que puedan ser recibidas de regreso con buena calidad, así como cambiarlas de frecuencia, para que salgan por el conjunto de antenas sin interferir con las señales que están llegando simultáneamente.

El subsistema de comunicaciones realiza estas funciones mediante filtros, amplificadores, convertidores de frecuencia, conmutadores y multiplexores, estos equipos se instalan repetidos, o sea, existe un bloque de respaldo por si alguno llegase a fallar automáticamente entraría en operación el de respaldo, por medio de conmutadores que hacen el cambio de un elemento a otro. A la trayectoria completa de cada repetidor, comprendiendo todos sus equipos desde la salida de la antena receptora hasta la entrada de la antena transmisora se le da el nombre de *transpondedor*, o sea que el subsistema de comunicaciones consta de muchos transpondedores, y su número depende del diseño del satélite (Figura 1.5.3-b).

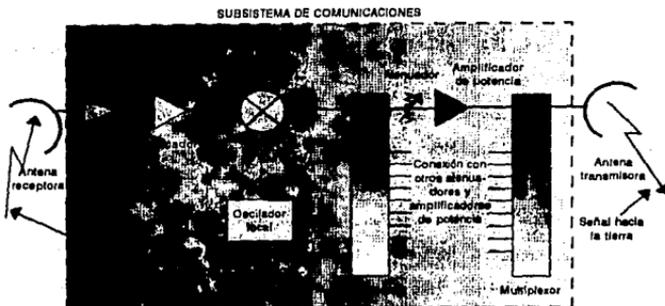


Figura 1.5.3-b Subsistema de comunicaciones

La señal proveniente de la Tierra que entra por la antena receptora puede tener muchos canales de televisión o miles de canales telefónicos etc., todos ellos enviados en frecuencias diferentes, al rango de frecuencias que hay entre la frecuencia más baja y la más alta de las que se transmiten se le da el nombre de *ancho de banda*. Cuanto mayor sea el ancho de banda de un equipo, éste será más capaz de trabajar de igual forma dentro de un mayor rango de frecuencias.

Las antenas receptoras y transmisoras, tienen un ancho de banda muy grande, suficiente para operar a las frecuencias asignadas para los satélites de comunicaciones, cuya mayor parte funciona actualmente en las bandas de frecuencia C y Ku.

En cada una de estas bandas, el ancho de banda de operación, o sea, el rango de frecuencias disponible, es de 500 MHz para transmisión y 500 MHz para recepción.

En la banda C, las frecuencias que se utilizan para transmitir de la Tierra hacia el satélite están entre 5.92 y 6.425 GHz. La antena receptora del satélite detecta todas estas frecuencias, pues su ancho de banda de recepción es igual o mayor a 500 MHz, con una frecuencia central de 6.175 GHz.

Los transpondedores, entre otras funciones, cambian las frecuencias de todas las señales contenidas en ese rango, trabajándolas a otro de igual ancho de banda, pero cuyos límites inferior y superior son, respectivamente, 3.7 y 4.2 GHz; posteriormente todas las señales contenidas en estas últimas frecuencias son entregadas a la antena transmisora, para que las envíe de regreso a la Tierra. Un enlace de este tipo se representa con la nomenclatura 6/4GHz, indicando que la señal sube al satélite con frecuencia cercana a los 6 GHz y baja con frecuencia cercana a los 4 GHz.

En la banda Ku, el proceso de recepción, conversión de frecuencias y transmisión es similar al de la banda C, sólo que las frecuencias ascendentes están entre 14.0 y 14.5 GHz, con una frecuencia central de 14.25 GHz, y las frecuencias descendentes entre 11.7 y 12.2 GHz, en este caso, el enlace se representa con la nomenclatura 14/12 GHz.

En los satélites híbridos, los procesos descritos para las bandas C y Ku se llevan a cabo simultáneamente a través de sus amplificadores y demás equipos correspondientes.

Por conveniencia el ancho de banda de 500 MHz se divide en espacio o ranuras, cuyo número depende de la aplicación del satélite, por lo general se divide en 12 ranuras

o espacios iguales de 36 MHz de ancho de banda cada uno. Entre cada ranura se deja un espacio libre adyacente para disminuir la posibilidad de interferencia entre señales que cada una contiene (Figura 1.5.3-c y 1.5.3-d).

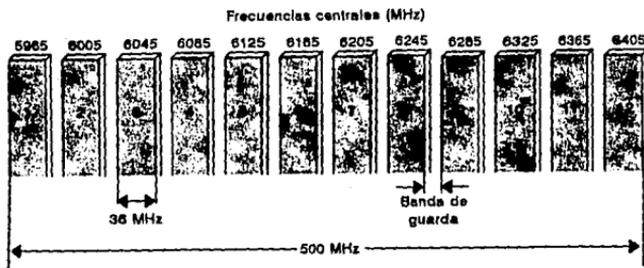


Figura 1.5.3-c Configuración de la ocupación del espacio de frecuencias de un transpondedor de 36 MHz.

Ahora bien, recuérdese que la antena receptora del satélite no capta solamente las frecuencias que corresponden al rango del transpondedor 4, sino a todas las frecuencias de los 12 transpondedores. Es decir, por ella entran diferentes clases de señales al mismo tiempo. Para la antena no es difícil, pero no es fácil construir aparatos electrónicos de alta potencia que realicen las funciones de amplificación con todas esas señales al mismo tiempo. Por tanto, es necesario aislarlas, para procesarlas y amplificarlas por separado, y ésta es una de las razones principales por las que se divide el ancho de banda del satélite en transpondedores; después del proceso, todas las señales se vuelven a juntar o agrupar, para que la antena transmisora las envíe hacia la Tierra.

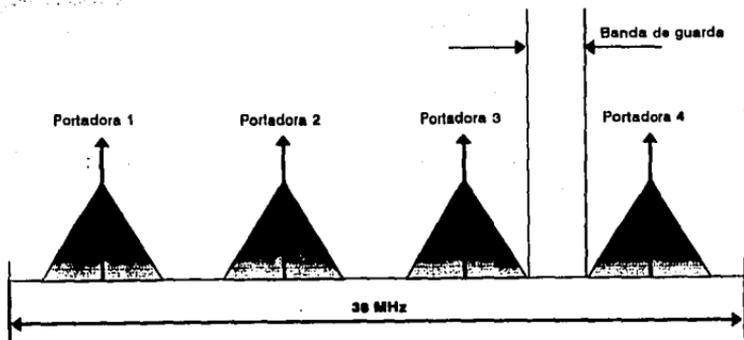


Figura 1.5.3-d Posible ocupación de un transpondedor de 36 MHz

Subsistema de energía eléctrica

Para funcionar adecuadamente, todo satélite necesita un suministro de energía eléctrica sin interrupción y sin variaciones significativas en los niveles de voltaje y corriente. La cantidad de potencia depende de las características de operación y normalmente varía entre los 500 y 2000 watts. El subsistema de energía eléctrica consiste en tres elementos fundamentales: una fuente primaria, una fuente secundaria y un acondicionador de potencia; este último está integrado por dispositivos como reguladores, convertidores y circuitos de protección, que permiten regular y distribuir la electricidad con los niveles adecuados a cada una de las partes del satélite.

Con excepción de las primeras horas inmediatas a su lanzamiento, en donde la electricidad necesaria es suministrada por baterías, la fuente primaria de energía del satélite está constituida por el arreglo de celdas solares, la desventaja de utilizar celdas solares es que su factor de eficiencia en la conversión de energía solar a eléctrica es muy bajo; y funcionan bajo el principio del efecto fotovoltaico; cuanto mayor sea la densidad de flujo de la radiación solar sobre ellas, mayor es la electricidad que generan; este efecto fotovoltaico depende también de la temperatura a la que estén expuestas las celdas solares, cuanto más baja sea ésta, mayor será el nivel de voltaje entregado por las celdas.

La fuente secundaria o de respaldo la constituye un conjunto de baterías, que se cargan cuando las celdas solares se hallan expuestas al Sol y se descargan durante los eclipses o en las horas pico de mayor demanda de energía. En el momento de que ocurra un eclipse ya sea de la Tierra o de la Luna, unos relevadores eléctricos detectan la disminución en el nivel de la energía suministrada por las celdas a los equipos y conectan las baterías automáticamente.

Los eclipses pueden durar de minutos a horas por lo que las baterías se van descargando poco a poco y dejan de funcionar cuando termina el eclipse, las baterías son recargadas nuevamente por las celdas solares.

Los eclipses ocurren cuando la Tierra o la Luna se interponen entre el Sol y el satélite. Dada la inclinación del eje de rotación del globo terráqueo con respecto a la elíptica y a que el satélite gira alrededor de la tierra sobre el plano ecuatorial, los eclipses de Tierra no ocurren todo el año, sino solamente dentro de los 21 días antes y después de cada equinoccio; pueden durar unos cuantos segundos hasta 70 minutos en la fecha de los equinoccios de primavera y otoño (Figura 1.5.3-e).

Las baterías que más se utilizan en los satélite geostacionarios de comunicaciones son de níquel-cadmio, su potencia/peso es baja , pero son muy confiables y de larga duración.

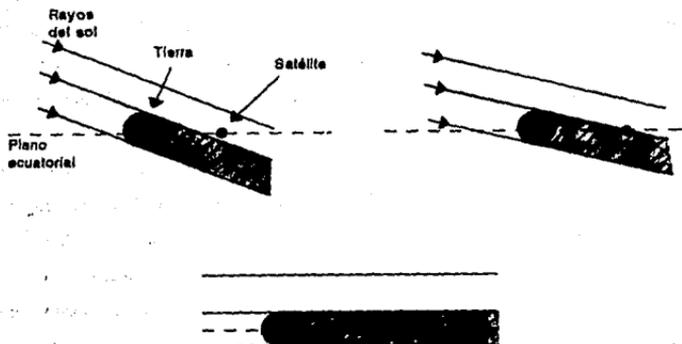


Figura 1.5.3-e

Subsistema de control térmico

Este subsistema tiene como objetivo mantener el balance y el control térmico en todo el satélite, lo cual permite el buen funcionamiento de las unidades de los diferentes subsistemas. Lo anterior se logra por medio de calentadores, cobertores o protectores, disipadores, y sensores que nos permiten monitorear vía telemetría la temperatura, estos dispositivos se encuentran ubicados en puntos estratégicos a lo largo del cuerpo del satélite, utilizando el criterio de absorción/disipación de calor que tiene cada unidad.

Subsistema de orientación

Para la orientación del satélite se puede utilizar para ello una variedad de sensores, de los cuales los más comunes son los de Sol y de Tierra, estos son dispositivos fotovoltaicos en los que se produce una corriente eléctrica cuya magnitud depende de la dirección de la radiación solar sobre ellos, se mide un ángulo entre la dirección en la que se halla el Sol y uno de los ejes del cuerpo del satélite y si el satélite cambia su orientación, los sensores van detectando esa variación.

El procedimiento de corrección de la posición y orientación del satélite se basa en comparar los resultados de las mediciones de los sensores con ciertos valores de referencia considerados como correctos.

Subsistema de telemetría y comando

Este subsistema recibe instrucciones para modificar o para informar del estado que guardan los diferentes subsistemas que componen al satélite, envía señales de telemetría para informar del estado y funcionamiento de los diferentes subsistemas, así como también hace un rastreo automático para detectar el nivel de señal que genera la estación terrena para controlarlo y dirigirlo.

Por último, nos permite realizar la función de rango (medición de distancia entre la estación terrena y el satélite).

1.5.4 ATENUACION EN LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES

Consiste básicamente en la pérdida de la potencia de la señal entre el transmisor y el receptor. Existen muchas y variadas formas en las cuales se puede atenuar una señal en un enlace radioeléctrico. A continuación se tratarán los principales tipos de atenuaciones que existen.

Atenuación por dispersión

La atenuación por dispersión consiste en la atenuación que sufre la señal emitida, al viajar una gran distancia, en una región sin obstáculos y bajo las condiciones de una atmósfera normal. Si una antena transmisora emite una señal con cierta potencia, esta señal se distribuirá sobre una área muy grande, resultando que en la antena receptora llegará una señal, con una fracción de la potencia emitida ya que la atenuación varía inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

Atenuación por absorción atmosférica

En adición a la atenuación inherente a las grandes distancias del espacio libre, es decir, la atenuación por dispersión, la atmósfera terrestre también causa atenuaciones en la propagación de las señales.

La atenuación por absorción atmosférica es causada por seis factores y son:

Atenuación debida:

- *al oxígeno molecular*
- *al vapor de agua sin condensar*
- *a la lluvia*
- *a la niebla y a las nubes*
- *a la nieve y granizo*
- *a los elementos libres en la atmósfera*

Atenuación debida al oxígeno molecular

La tropósfera es la región de la atmósfera en contacto con la superficie de la tierra. Su límite superior (tropopausa) se sitúa a una altura de aproximadamente 17 Km en el ecuador y de 6 Km en los polos.

Las ondas que se propagan a través de la tropósfera son afectadas por todos los componentes gaseosos de la atmósfera, principalmente por el oxígeno molecular. Estos influyen en la propagación de las ondas radioeléctricas tanto por la absorción de energía como por las variaciones del índice de refracción que origina la reflexión, la refracción y la dispersión de las ondas.

Atenuación debida al vapor de agua sin condensar

Tiene importancia a frecuencias mayores de 10 GHz, la absorción por las moléculas del agua con las que está formado el vapor de agua, producen una atenuación aproximadamente entre 21 GHz. Es causada por el cambio en el radio de las moléculas en sus niveles de energía al rotar y por el efecto de resonancia que ocurre a estas frecuencias entre las moléculas adyacentes y la energía electromagnética que lleva nuestra señal.

Atenuación debida a los electrones libres

Se sabe que existen electrones libres en la atmósfera terrestre y que las ondas electromagnéticas chocan con ellos, esto causa absorción porque la energía radiada es transferida a los electrones libres. La densidad de electrones de la ionosfera es reducida grandemente durante ciertas horas del día y afecta principalmente a las comunicaciones que utilizan frecuencias de radiación que están abajo de 100 MHz.

La ionización atmosférica es creada por los electrones libres y es muy baja a nivel de la superficie de la tierra y sólo resulta apreciable a unos 500 Km de altura, tras lo cual se acrecienta hasta un máximo y luego empieza a decaer, desapareciendo totalmente más allá de los límites externos de la atmósfera. Por razones vinculadas con el desarrollo histórico de la investigación ionosférica, la ionosfera se divide en tres regiones (o capas), designadas respectivamente *D*, *E* y *F*, en orden creciente de altura.

En ciertas condiciones, esas capas pueden subdividirse, desde el punto de vista de la propagación de las ondas decamétricas, las capas *E* y *F* actúan principalmente como reflectores de las ondas radioeléctricas y permiten la propagación a gran distancia entre terminales terrenas. La región *D* actúa primordialmente como un absorbente, provocando la atenuación de la señal en la banda de ondas decamétricas, si bien las ondas milimétricas y hectokilométricas se reflejan en la región *D*. La transición entre las reflexiones a la altura de la región *D* y a la altura de la *E* se produce a la altura de la gama de ondas hectométricas.

Una onda transmitida con incidencia vertical penetra en la ionosfera a la altura en que el índice de refracción es igual a cero, se trata de la altura a la cual la frecuencia del plasma es igual a la frecuencia de la onda utilizada, si ésta aumenta la reflexión se

producirá a una altura mayor hasta que alcance la densidad de la onda electromagnética máxima.

Dicha capa no reflejará una onda de frecuencia superior, sino que resultará transparente a la misma. La densidad electromagnética máxima de cada capa de la ionosfera aumenta con la altura de ésta. Al mismo tiempo disminuye el número de moléculas y, por consiguiente el número de colisiones.

Atenuación causada por lluvia

A las frecuencias que están por debajo de 10 GHz, que se utilizan para enlaces por satélite doméstico (4/6 GHz) que se ven muy poco afectadas. EL obstáculo fundamental es para arriba de 10 GHz. La lluvia produce también otro tipo de degradación en la señal, tal como la despolarización, interferencia, incremento en el ruido de la estación terrena y la deteriorización de la antena receptora.

Atenuación causada por niebla y nubes

Es mayor que la causada por la lluvia, debido a que la distribución de las moléculas del agua se hayan más dispersas y crean una barrera mayor, y esta atenuación es casi lineal y tiene más importancia para frecuencias mayores a los 10 GHz.

Atenuación causada por nieve y granizo

Este tipo de atenuación es muy parecida al provocado por la lluvia, e inclusive se puede considerar igual al causado por la lluvia.

Atenuación causada por el equipo y guías de onda

La atenuación provocada por las guías de onda y el equipo anexo, como son multiplexores, filtros, circuladores, mezcladores, acopladores direccionales etc, es una atenuación relativamente pequeña comparada con las otras atenuaciones, esta atenuación la da el fabricante del equipo y guías de onda, y son casi siempre menores de un decibel, para cada elemento.

1.6 TECNICAS DE ACCESO MULTIPLE AL SATELITE

El acceso múltiple es la posibilidad proporcionada a varias estaciones terrenas de transmitir simultáneamente sus portadoras respectivas al mismo transpondedor del satélite, buscando un equilibrio entre el ancho de banda y la potencia disponible del transpondedor.

Entre los diversos sistemas de acceso múltiple aplicados actualmente, existen dos tipos fundamentalmente, *FDMA* y *TDMA*.

Acceso multiple por división de frecuencia (FDMA)

Este tipo de acceso consiste en la transmisión simultánea de un número diverso de portadoras a diferentes frecuencias con anchos de banda no traslapados.

En *FDMA*, la capacidad de ancho de banda de un transpondedor se divide en los siguientes tipos de bandas:

- Se pueden tener pocas bandas (hasta una portadora por transpondedor de 36 MHz.) de gran capacidad donde cada banda puede manejar un nivel jerárquico del multiplexaje por división de frecuencia con modulación (*FDM/FM*), o del multiplexaje por división de tiempo con modulación digital (*TDM/MPSK*).

- Se pueden tener muchas bandas (con portadoras con un solo canal de voz) cada una de las cuales puede manejar un canal analógico o digital. Este tipo de esquemas se conoce como canal único por portadora *SCPC (Single Channel Per Carrier)*.

- Se puede tener una mezcla de las dos anteriores categorías.

La figura 1.6 ejemplifica el uso de un transpondedor por varias estaciones terrenas a través de *FDMA*.

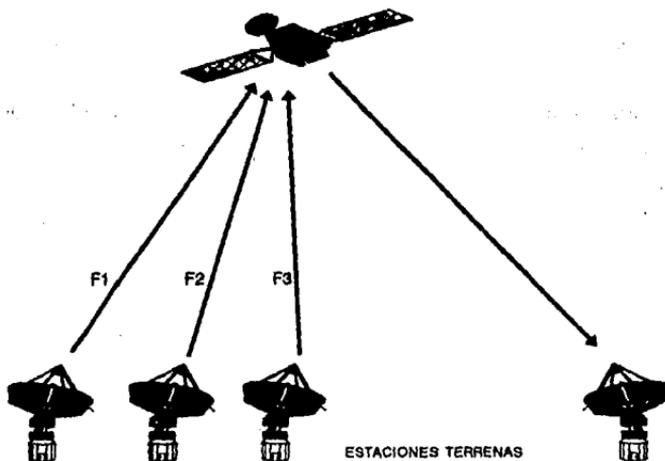


Figura 1.6 Concepto de un sistema FDMA

Al haber varias portadoras presentes en el mismo transpondedor de un satélite, y debido a la característica no lineal del amplificador de tubo de ondas progresivas (TWT), es necesario operar este último con varios decibeles abajo de su punto de saturación o nivel máximo de potencia de salida. A esta reducción en la potencia aprovechable se le denomina *back-off*. Si el amplificador se opera en una región altamente no lineal, se producirán niveles muy altos de productos de intermodulación que afectan significativamente la calidad de las señales amplificadas (Figura 1.6-a).

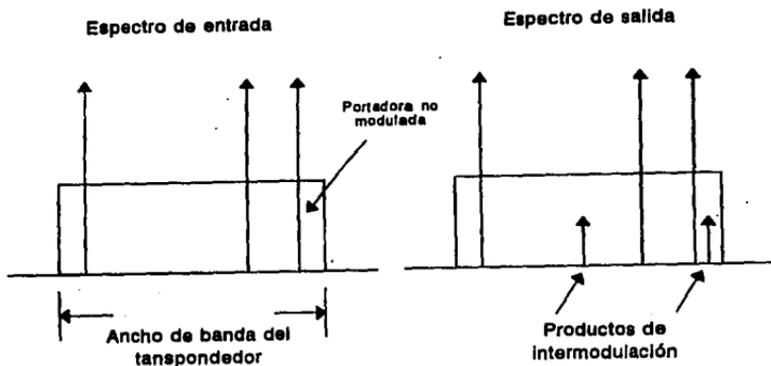


Figura 1.6-a Productos de intermodulación en un transpondedor de un satélite

Al observar la característica típica entrada/salida de un amplificador de tubo de ondas progresivas puede notarse que el *back-off* de entrada no es proporcional al *back-off*

de salida más allá del punto A, (Figura 1.6-b). Es deseable operar el transpondedor en la región comprendida entre el origen y el punto A, que representa la región lineal del dispositivo. Por ejemplo, los satélites Morelos operan con un *back-off* de salida de 4.5 dB, en banda Ku y 5.8 dB en banda C.

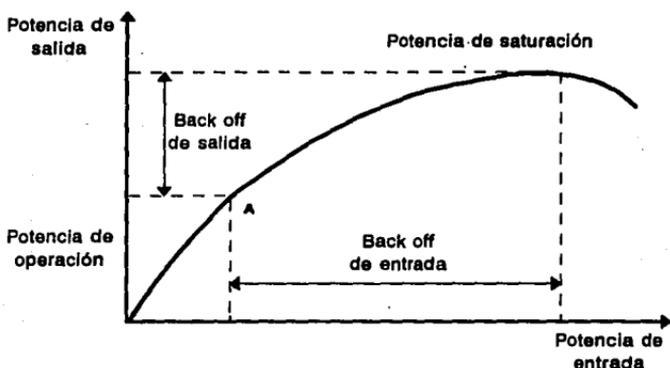


Figura 1.6-b Operación de un amplificador de satélite

Las características más importantes de la técnica *FDMA* son:

- Transmisión simultánea de un número diverso de portadoras a diferentes frecuencias con espectros no traslapados.

- Formato de la distribución de portadora depende de la distorsión de la señal, de la interferencia de canales adyacentes y de la intermodulación de los amplificadores.

Las ventajas que presenta esta técnica son:

- No se requiere sincronía en la red.
- La asignación de canales es simple y directa.

Sus desventajas:

- Los niveles de los enlaces de subida se deben coordinar estrechamente para hacer un mejor uso de la potencia de salida de RF del transpondedor.

- Por las dificultades en la intermodulación es necesario reducir la potencia conforme aumenta el número de portadoras con la consecuente pérdida de eficiencia.

- Debido a la utilización de *back-off* en el amplificador del satélite, así como de bandas de guarda entre los espectros de portadoras hay un uso ineficiente del ancho de banda.

Acceso multiple por división de tiempo (TDMA)

Esta técnica de acceso le permite al satélite recibir las transmisiones de las diversas estaciones terrenas de la red con un esquema de ranuras de tiempo separadas y evita, por lo tanto la generación de productos de intermodulación en un transpondedor no lineal. Cada estación terrena debe determinar con precisión el tiempo y rango de

adquisición de la señal de tal manera que las señales transmitidas son temporizadas para arribar al satélite en la ranura de tiempo adecuada.

La figura 1.6-c muestra la configuración típica para un sistema *TDMA* en la cual cada ráfaga de alta velocidad de energía de RF, típicamente sin modulación *QPSK*, arriba al satélite en una ranura de tiempo asignada. Debido a que una señal solamente se encuentra presente en un momento dado, en el transpondedor no existirán productos de intermodulación.

TDMA permite operar el amplificador de potencia de salida en saturación, resultando en un incremento significativo en la potencia útil de salida. Las degradaciones debidas a productos de intermodulación son omitidas si se emplean tiempos de guarda suficientes que compensan inexactitudes de la temporización del sistema.

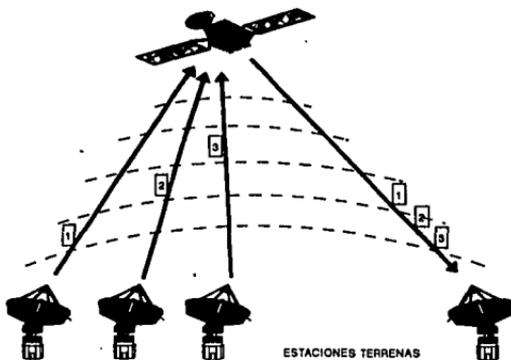


Figura 1.6-c Configuración TDMA típica

Típicamente estos tiempos de guarda consumen el 10% de la potencia y el transpondedor es utilizado, como consecuencia, con eficiencias mayores del 90%.

Cada una de las señales de entrada *TDMA* tiene señales que son direccionadas a diferentes estaciones utilizando porciones separadas de la ráfaga *TDMA* que sigue a la ráfaga de preámbulo (Figura 1.6-d).

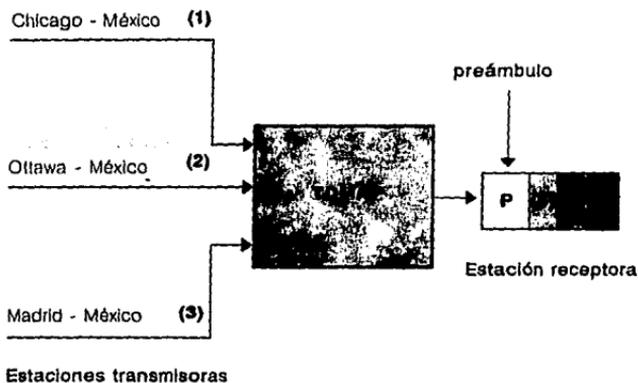


Figura 1.6-d Formato de transmisión TDMA

El receptor TDMA demodula cada una de las ráfagas TDMA enviadas para las estaciones transmisoras y las demultiplexa en flujos de bits individuales (Figura 1.6-e)

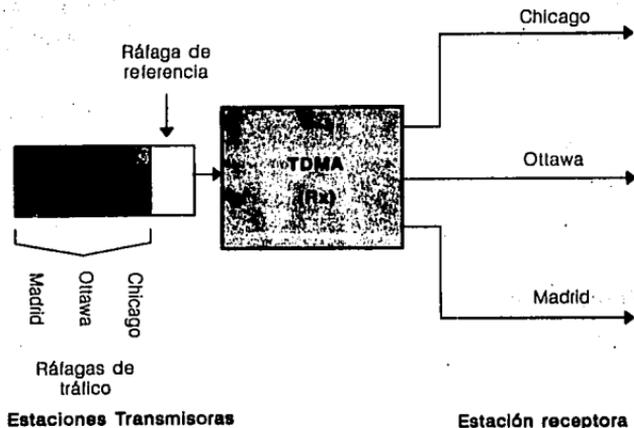


Figura 1.6-e Formato de recepción TDMA

Estructura del cuadro TDMA

En una red *TDMA* cada estación terrena transmite periódicamente una o más ráfagas al satélite. Las señales de entrada al transpondedor de tráfico *TDMA* consiste, por lo tanto, de un grupo de ráfagas originado en un número de estaciones terrenas transmisoras. Este conjunto de ráfagas es referido como cuadro *TDMA* y consiste en los siguientes elementos:

- Dos ráfagas de referencia *RB1* y *RB2*
- Ráfagas de tráfico
- Tiempo de guarda entre las ráfagas

Ráfagas de referencia

Para fines de confiabilidad, se utiliza un sistema de configuración redundante, el cual opera de la siguiente manera: cada cuadro *TDMA* consiste de dos ráfagas de referencia *RB1* y *RB2*. La ráfaga de referencia primaria (*PRB*), que puede ser *RB1* o *RB2*, es transmitida por una de las estaciones terrenas de la red, designada como estación terrena de referencia (*PRS*).

Una ráfaga de referencia secundaria (*SRB*), que puede ser *RB1* o *RB2* (dependiendo si $PRB = RB2$ o $PRB = RB1$) es transmitida por una estación terrena de referencia secundaria (*SRS*) lo que permite una conmutación automática en el caso de falla de la estación terrena de referencia primaria, evitándose, por lo tanto, una falla total del sistema.

La ráfaga de referencia contiene únicamente información de control que se utiliza para proporcionar referencias de tiempo para todas las estaciones que accesan al transpondedor del satélite. Esto permite la intercalación adecuada de un cuadro *TDMA*.

Ráfagas de tráfico

Las ráfagas de tráfico son transmitidas por las estaciones terrenas que accesan al satélite. Cada estación terrena puede transmitir una o más ráfagas de tráfico por trama *TDMA* y puede acomodarlas en cualquier parte de la trama de acuerdo a un plan de tiempo de ráfagas que coordina el tráfico entre estaciones, para este tráfico se considera una supertrama (o trama maestra) que consta de 27 tramas con un tiempo de 10 ms para cada trama (Figura 1.6-f). La longitud de la ráfaga depende de la información por transmitir y puede ser cambiada si se desea.

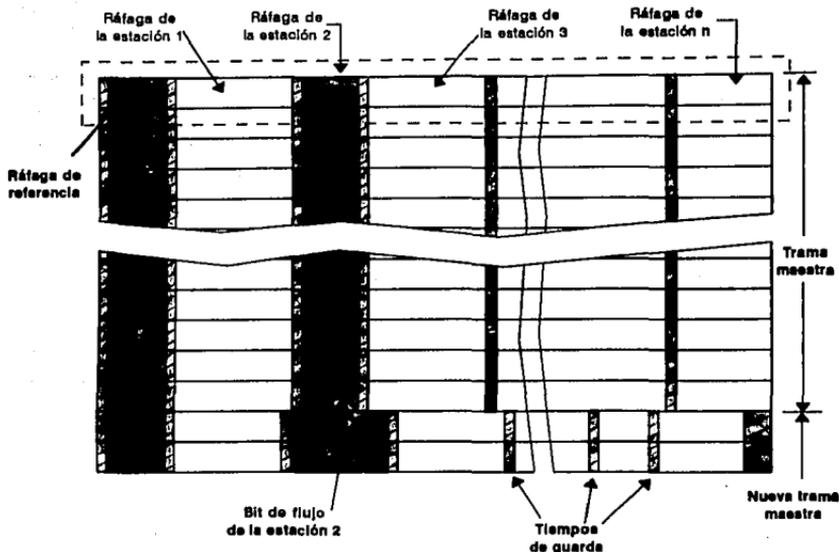


Figura 1.6-f Trama maestra del TDMA

Tiempo de guarda

Un tiempo de guarda pequeño (aproximadamente de 993 ns) es requerido entre ráfagas que se originan entre diversas estaciones para asegurar que dichas ráfagas nunca se traslapen cuando lleguen al transpondedor. Este tiempo de guarda debe ser lo suficientemente largo para permitir diferencias en la exactitud de temporizadores de transmisión y en las variaciones de la tasa de rango del satélite. El tiempo de guarda debe ser igual al intervalo de tiempo para detectar el pulso de recepción que marca el inicio de un cuadro TDMA recibido en una estación.

Estructura de la ráfaga TDMA

En general, la estructura de las ráfagas de referencia y de tráfico es la mostrada en la figura 1.6-g.

En la ráfaga de tráfico, los bits de información son precedidos por un grupo de bits referidos como preámbulo y que es usado para sincronizar la ráfaga y para portar información de control y de administración. La ráfaga de referencia solamente contiene el preámbulo, el cual consiste normalmente de tres partes contiguas, la secuencia de recuperación de portadora y de reloj (CDR), la palabra única (UW) y el canal de señalización.

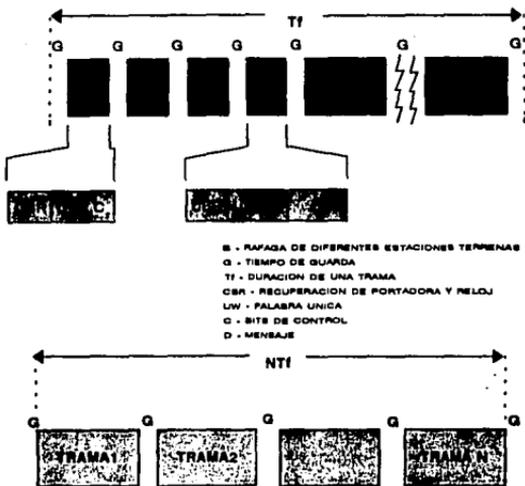


Figura 1.6-g Estructura de la ráfaga TDMA

La secuencia de recuperación de portadora y de reloj, como su nombre lo indica, permite al demodulador de la estación terrena recuperar la fase de la portadora y regenerar el reloj de temporización de bit o de símbolo para la demodulación de datos.

Típicamente un sistema *TDMA* de alta tasa (que ocupa un transpondedor de 72 MHz) requiere una secuencia larga, por ejemplo 300 - 400 bits para un *TDMA* de 120 Mbps.

La palabra única por su parte, sigue la secuencia de recuperación de la portadora y de reloj y es usada en la ráfaga de referencia para proporcionar la temporización de cuadro que permite a una estación localizar la posición de una ráfaga de tráfico en el cuadro. La palabra única en la ráfaga de tráfico es una secuencia de unos y de ceros seleccionada para exhibir propiedades de correlación adecuadas para incrementar la detección.

Finalmente, el canal de señalización de la ráfaga de referencia consiste de las siguientes subráfagas:

- Un canal de hilo (*order wire channel*) que porta tráfico de datos y de voz a través del cual las instrucciones son pasadas entre las estaciones.

- Un canal de administración enviado por las estaciones de referencia y que contiene instrucciones de administración del cuadro como son los cambios de plan de tiempo de ráfagas, los cuales describen la coordinación de tráfico entre estaciones.

- Un canal de temporización de transmisión, que lleva información de adquisición y sincronización a las estaciones de tráfico y que les permite ajustar su temporizador de tal manera que, las ráfagas transmitidas, lleguen al satélite dentro de la ranura de tiempo correcta en el cuadro *TDMA*. También contiene los códigos de estado que permite a las estaciones de tráfico identificar las ráfagas de referencia.

Por su parte, el canal de señalización de la ráfaga de tráfico consiste de las siguientes subráfagas:

- Un canal de hilo de orden que realiza las mismas funciones que el de la ráfaga de referencia.
- Un canal de servicio, que lleve el estado de las estaciones de tráfico a la estación de referencia o también otro tipo de información , como son la tasa de bits y alarmas.

Además de estas subráfagas en el preámbulo, las ráfagas de referencia y de tráfico pueden portar subráfagas adicionales conteniendo el número de identificación de cuadro, número de identificación de la estación y tipo de ráfaga transmitida.

A continuación del preámbulo, la información de tráfico es portada en la ráfaga de tráfico cuya longitud depende principalmente del tipo de servicio y del número de canales requerido para soportar dichos servicios en la ráfaga.

1.6.1 TECNICA TDM/TDMA

Esta técnica consiste de una portadora de onda continua (portadora fija), que transmite de la estación maestra a las distantes estaciones VSAT's diversos mensajes de datos multiplexados con división de tiempo. Mientras que cada estación VSAT transmite hacia la maestra su propio mensaje con acceso múltiple por división de tiempo (TDMA de baja velocidad binaria), es decir, envía una ráfaga de señal únicamente durante la duración del mensaje.

Las principales características que presenta la técnica TDMA son:

- Ocupación total del ancho de banda del transpondedor por una sola portadora.
- Utilización del amplificador en estado de saturación (satélite y estaciones terrenas).

Las ventajas principales de esta técnica son:

- No se comparte la potencia y no se presentan problema de productos de intermodulación.
- El sistema es flexible con respecto a las dificultades del usuario en la PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Efectiva) del enlace de subida y en las velocidades de transmisión de datos.
- Utilización de todo el ancho de banda y de toda la potencia del transpondedor.

Sus desventajas:

- Se requiere sincronía precisa de la red. Equipo complejo de sincronía.
- Se requiere gran capacidad de almacenamiento si la trama es larga.

1.7 CALCULO DE ENLACE

ENLACE SATELITAL

El objetivo de realizar un análisis del enlace de un sistema de comunicaciones vía satélite, es determinar la calidad de la transmisión desde una estación terrena a otra, a través de un satélite. Como se observa en la figura 1.7. Dicha calidad estará dada por la relación de potencia de la portadora a la potencia de ruido recibida (C/N), en el ancho de banda ocupado por la portadora modulada.

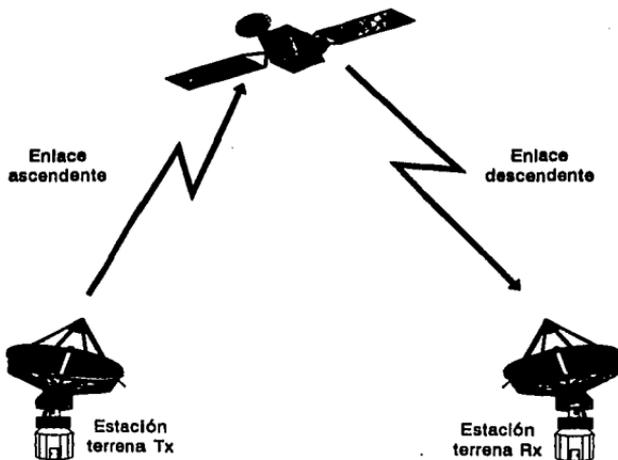


Figura 1.7 Calidad de transmisión de una estación terrena a otra (cálculo del enlace)

El análisis de un enlace vía satélite se realiza considerando que una estación terrena está transmitiendo hacia el satélite (*enlace ascendente*) y que éste a su vez transmite dicha información hacia una estación terrena receptora (*enlace descendente*). Por lo tanto, la relación total del sistema $(C/N)_{TOT\ SIST}$ debe incluir las relaciones correspondientes a los enlaces ascendente y descendente.

Antes de obtener las relaciones (C/N) es conveniente evaluar el término (AB) y calcular los valores de apuntamiento de antena así como la distancia *E/T-Satélite*.

a) *Ancho de Banda (AB)*

$$AB = V_{INF} (F.E.C.)^1 (F.M.) (\text{Roll-off})$$

donde:

V_{INF} = Velocidad de información

F.E.C. = Factor de corrección de errores y es característica de la señal a transmitir.

F.M. = Factor de modulación, depende de la modulación empleada

Roll-Off = Es el factor de calidad de los filtros del equipo

b) *Apuntamiento de antena y distancia E/T-Satélite*

Angulo de azimut (A°)

$$A^\circ = \text{Tan}^{-1} [\text{Tan} (\text{Long Sat} - \text{Long E/T}) / \text{Sen Lat E/T}]$$

Angulo de elevación (E)

$$E = \text{Tan}^{-1} [R - R_e(w) / R_e \text{ Sen} (\text{Cos}^1 w)] - \text{Cos}^1 w$$

donde:

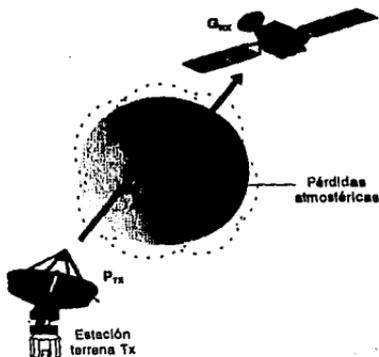
$$w = \text{Cos Lat E/T} [\text{Cos} (\text{Long Sat} - \text{Long E/T})]$$

$$R = 42164.2 \text{ km (distancia promedio del centro de la tierra al satélite)}$$

$$R_e = 6378.155 \text{ km (radio promedio de la tierra)}$$

Distancia entre E/T-Satélite

$$D = [(R)^2 + (R_e)^2 - 2R_e (R) \text{ Sen} [E + \text{Sen}^{-1} [(R_e/R) \text{ Cos E}]]]^{1/2}$$

ENLACE ASCENDENTE

Enlace ascendente

La relación de potencia de la portadora a la potencia de ruido del enlace ascendente $(C/N)_{ASC}$, se evalúa mediante la siguiente ecuación:

$$(C/N)_{ASC} = (C/N_0)_{ASC} - 10 \log (AB) \quad [\text{dB}]$$

donde:

AB = Ancho de banda de la portadora

$(C/N_0)_{ASC}$ = Relación de portadora a densidad de ruido ascendente

La relación portadora a densidad de ruido ascendente se determina mediante la ecuación:

$$(C/N_0)_{ASC} = \text{PIRE}_{ET} + (G/T)_{SAT} - L_s - L_a - \mu - K \quad [\text{dB-Hz}]$$

donde:

PIRE_{ET} = PIRE por portadora desde la estación terrena. (se considera su valor calculándolo de acuerdo a la tarifa comercial del satélite a utilizar)

$(G/T)_{SAT}$ = Figura de mérito del satélite en la localidad transmisora (característica del satélite)

L_s = Pérdidas en el espacio libre

$$L_s = 20 \text{ Log}(4\pi DF/C)$$

Siendo:

F = Frecuencia (Hz)

D = Distancia entre E/T y satélite (m)

C = Velocidad de la luz (3E08 m/s)

L_Δ = Pérdidas miscelaneas (es la sumatoria de las pérdidas por apuntamiento (0.3 dB), por depolarización (0.2 dB) y por absorción atmosférica (0.5 dB).

μ = Margen de atenuación por lluvia

K = Constante de Boltzman = -228.6 [dBJ/°K]

Para calcular la relación portadora a ruido ascendente del sistema se utiliza la siguiente ecuación considerando las relaciones de densidad de interferencia.

$$(C/N)_{ASC\ EST} = 10 \text{ Log} \left[\frac{1}{1/\text{Log}^{-1}((C/N)_{ASC}/10) + 1/\text{Log}^{-1}((C/T)/10) + 1/\text{Log}^{-1}((C/X)_{ADY}/10) + 1/\text{Log}^{-1}((C/X)_{POL\ CRZ}/10)} \right]$$

donde:

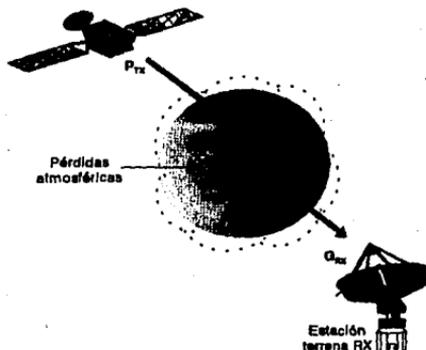
(C/I)_{INTERMOD.} = Densidad de interferencia por intermodulación
(se obtiene de tablas de acuerdo al satélite)

(C/X)_{POL. CRZ.} = Densidad de interferencia por polarización cruzada
(se obtiene de tablas de acuerdo al satélite)

(C/X)_{ADY.} = Densidad de interferencia por satélite adyacente.

(C/X)_{ADY.} = $G_{TX} - (29 - 25 \text{Log} 1.9)$

siendo: **G_{TX}** = Ganancia de la antena transmisora

ENLACE DESCENDENTE

Enlace descendente

La relación de potencia de la portadora a la potencia de ruido del enlace descendente $(C/N)_{DESC}$, se evalúa mediante la siguiente ecuación:

$$(C/N)_{DESC} = (C/No)_{DESC} - 10 \log (AB) \quad [dB]$$

donde:

AB = Ancho de banda de la portadora

$(C/No)_{DESC}$ = Relación portadora a densidad de ruido descendente

La relación portadora a densidad de ruido se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$(C/No)_{DESC} = PIRE_{SAT} + (G/T)_{BT} - L_s - L_a - \mu - K \quad [dB-Hz]$$

donde:

PIRE_{SAT} = PIRE por portadora desde el satélite

(G/T)_{ET} = Figura de mérito de la estación terrena (varia según las características del equipo de la estación terrena)

L_A = Pérdidas en el espacio libre.

L_A = Pérdidas misceláneas (es la sumatoria de las pérdidas por apuntamiento (0.3 dB), por despolarización (0.2 dB) y por absorción atmosférica (0.5 dB).

μ = Margen de atenuación por lluvia

K = Constante de Boltzman = -228.6 [dBJ/°K]

Antes de determinar el $(C/N_0)_{DES}$ se deben evaluar los términos de PIRE_{SAT}, la $(G/T)_{ET}$, y el de L_A , los cuales se determinan mediante las siguientes ecuaciones:

a) *Determinación del PIRE por portadora desde el satélite PIRE_{SAT}*

$$\mathbf{PIRE_{SAT}} = -DFS_{TX} - ATP + BOI - LP_{ASC} + PIRE_{ET} - BOO + PIRE_{SAT(BO)}$$

siendo:

DFS_{TX} = densidad de flujo máxima de saturación para la localidad transmisora (dato de acuerdo a características del satélite para la localidad de interés)

ATP = atenuador de posición (dato de acuerdo a características del satélite en función de la banda de operación)

BOI = Back-Off de entrada

BOO = Back-Off de salida (el BOI y BOO son características del satélite de acuerdo al amplificador de potencia del mismo)

PIRE_{ET} = PIRE por portadora desde la estación terrena.
(se considera su valor calculándolo de acuerdo a la tarifa comercial del satélite a utilizar)

PIRE_{SAT(RX)} = PIRE del satélite para la localidad receptora (dato de acuerdo a características del satélite para la localidad de interés)

L_{FASC} = pérdidas por dispersión

$$L_{FASC} = 10 \text{ Log } (4\pi D^2)$$

D = distancia al satélite (m)

b) *Figura de mérito de la estación terrena (G/T)_{ET}*

La ecuación con la cual se determina la $(G/T)_{ET}$ es la siguiente:

$$(G/T)_{ET} = G_{RX} - 10 \text{Log}(T_s + \Delta T) \quad [\text{dB-K}]$$

siendo:

G_{RX} = Ganancia de la antena receptora

$$T_s = T_{LNA} + T_{ANT}$$

T_s = Temperatura total del sistema

T_{LNA} = Temperatura característica del amplificador de bajo nivel de ruido, proporcionada por el fabricante

T_{ANT} = Temperatura de la antena, se determina por medio del ángulo de elevación de la antena y los datos que proporciona el fabricante

$$\Delta T = [1 - \text{Log}^{-1}(\mu_{DES}/10)] 275$$

ΔT = Variación de temperatura bajo condiciones críticas de lluvia

μ_{DES} = Margen de atenuación por lluvia en la localidad receptora

275 = Temperatura de precipitación

Cabe aclarar que la temperatura total del sistema (T_s) puede ser también un dato proporcionado por el fabricante.

c) Determinación de las pérdidas por el espacio libre L_s

Las pérdidas por el espacio libre para el enlace descendente se evalúan al igual que en el enlace ascendente mediante la ecuación $L_s = 20 \text{ Log}(4\pi DF/C)$, utilizando en este caso la distancia al satélite y la frecuencia de la estación receptora.

Determinación de la (C/N) total del sistema ((C/N)_{TOT SIST}).

Para calcular la (C/N)_{TOT SIST} se debe sumar la relación portadora a ruido ascendente del sistema ((C/N)_{ASC SIST}) y la relación portadora a ruido descendente del sistema ((C/N)_{DES SIST}) obteniéndose finalmente la ecuación:

$$(C/N)_{TOT\ SIST} = 10 \text{ Log} [1/[1/\text{Log}^{-1}((C/N)_{ASC\ SIST}/10) + 1/\text{Log}^{-1}((C/N)_{DES\ SIST}/10)]]$$

Margen del enlace

El índice que nos indica si un enlace es satisfactorio, es el margen del enlace (*ME*), el cual se evalúa mediante la siguiente ecuación:

$$ME = (C/N)_{TOT\ SIST} - (C/N)_{REQ} \quad [dB]$$

Donde: $(C/N)_{REQ}$ es la relación de potencia de la portadora a la potencia de ruido recibida que el sistema requiere para que la información enviada desde la estación terrena transmisora sea correctamente recibida en la estación receptora. Dicha relación dependerá de los parámetros del servicio cursado (voz, datos, y/o video) y su ecuación es la siguiente:

$$(C/N)_{REQ} = E_b/N_0 - 10 \text{ Log} (AB) + 10 \text{ Log} (Vel)$$

donde:

E_b/N_0 nos representa los errores de origen aleatorio y de decisión
y es un valor definido en los equipos de las estaciones terrenas

(AB) = Ancho de banda

(Vel) = Velocidad de la información

Para asegurar que la confiabilidad deseada en el enlace sea la correcta, el margen del enlace debe ser mayor o igual que 0 dB, esto implicará que la $((C/N)_{TOT\ SIST})$ sea por lo menos igual a la relación de potencia de la portadora a ruido mínima requerida por el sistema.

1.8 CONMUTACION DE PAQUETES

Todo sistema de comunicación utiliza técnicas de transmisión y conmutación para lograr transportar datos. La transmisión y la conmutación asocian dos conceptos que son la concentración y el multiplexaje.

La principal función de la conmutación es la de permitir al usuario de una red, por ejemplo, acceder a todos los demás miembros. Esta clase de conmutación es controlada por el usuario cuando él especifica el destino de su mensaje, por lo que la conmutación es el medio por el cual un mensaje es enviado a su destino.

Concentración

La concentración siempre implica un riesgo de congestión, la eficiencia de esta concentración mejora a medida que se incrementa el grupo de líneas. Con un mejor promedio de tráfico, la proporción de circuitos extras necesarios para limitar la congestión es reducida. En cada línea también el tráfico es más uniforme así como más concentrado; cuando se trabaja con un grupo grande de suscriptores, la utilización de las líneas es mejor.

Multiplexaje

El multiplexaje es algo similar a la concentración, pero éste reemplaza un grupo de líneas por una trayectoria de transmisión de mayor capacidad, que también es más costosa que cada línea individual normal, pero al eliminar trayectorias de transmisión el costo global puede ser reducido. Una trayectoria multiplexada proporciona el mismo servicio que el grupo de líneas que ésta reemplaza.

La diferencia del multiplexaje y la concentración es que el multiplexaje no tiene riesgo de congestión. Un canal telefónico multiplexado, da a cada circuito telefónico el ancho de banda completo, el cual se comportaría como si tuviera su propia línea.

Existen tres tipos de multiplexaje en redes de comunicación de datos. El multiplexaje por división de frecuencia (*FDM*), el multiplexaje por división de tiempo (*TDM*) y el multiplexaje estadístico o por demanda.

Una de las ventajas económicas grandes de *TDM* es que puede ser integrado con la conmutación por división de tiempo.

La desventaja de *TDM* es que la mayoría de las terminales interactivas utilizan sus líneas menos del 10% del tiempo y como ninguna otra transmite en la ventana de tiempo, la línea de salida es desaprovechada.

Si este multiplexor estuviera operando en el modo clásico (o por división de tiempo), el conmutador rotaría regular y constantemente de tal manera que la simple secuencia de bloques en la línea de salida indicaría cual de ellos seguiría en turno.

Con multiplexaje estadístico, más líneas de entrada pueden ser soportadas que con *TDM* o *FDM* (para una velocidad de línea de calidad dada). Por ejemplo, un multiplexor estadístico puede soportar típicamente hasta 80 terminales asíncronas de 300 bps, con una línea de salida única de 9600 bps y un multiplexor con *TDM* soporta un máximo de 32.

Podemos decir que la conmutación de circuitos establece una trayectoria o circuito entre dos abonados, por el tiempo que dure la comunicación entre ellos. Este

circuito se establece a solicitud de uno de los abonados, mediante la señalización adecuada entre su terminal y la central o centrales (*nodo de conmutación*) involucradas entre los abonados en cuestión. Las centrales son transparentes al contenido de los canales una vez establecida la trayectoria o circuito. La trayectoria no podrá establecerse si se encuentra en congestión alguno de los nodos o centrales; las centrales realizan enrutamientos alternativos con el fin de disminuir la probabilidad de congestión.

Conmutación de paquetes

Es una técnica para redes que divide los mensajes del usuario en bloques relativamente pequeños y utiliza numerosos nodos de conmutación distribuidos geográficamente para obtener un tráfico de datos en tiempo real con poco retraso de terminal a terminal.

Es un caso especial de la conmutación de mensajes en el que la longitud del mensaje se limita. Se basa en la técnica de almacenamiento y envío y en el retraso de mensajes bloqueados. Dado que la vida de los paquetes es corta en el sistema, el promedio de retraso y la variación de los retrasos se puede mantener al mínimo.

El concepto de conmutación de paquetes se basa en la capacidad de las computadoras digitales de alta velocidad de manejar la información transmitida y dividir las llamadas o mensajes en pequeñas porciones llamadas paquetes. Dependiendo de la implementación y de la forma de la implementación puede haber más de un nivel de subdivisiones.

Los paquetes que circulan en una red, de centro de conmutación a centro de conmutación se basan en el proceso de guarda y reexpide. Cada centro de conmutación, después de recibir un paquete guarda una copia de éste en un almacenamiento temporal hasta que el conmutador esta seguro de que ha sido recibido correctamente en el siguiente conmutador o por el usuario final. La conmutación de paquetes funciona con el método de guarda y reexpide, las copias de los paquetes se destruyen (se reescribe sobre la memoria) cuando el conmutador esta seguro de que el paquete ha sido correctamente entregado.

Esta forma de operación permite a la red no sobrecargarse debido a mensajes cortos y elimina tiempos de establecimiento para las llamadas que van de un circuito de conmutación a otro. Dado que todas las comunicaciones se descomponen en pequeños componentes (paquetes), los mensajes largos y cortos se pueden mover a través de la red con un mínimo de interferencia entre estos. Al mover los paquetes dentro de la red (casi) en tiempo real, los conmutadores pueden adaptar su operación rápidamente en respuesta a cambios de los patrones de tráfico o de una falla en alguna parte de la red.

No tiene etapa de establecimiento a diferencia de la conmutación de circuitos; el principio básico de esta técnica es el almacenamiento y envío de información, que es agrupada en paquetes, permitiendo tener un control de errores para transmisión y retardos. Cada paquete lleva información de destino que puede ser de dos tipos:

- Dirección de abonado de destino (datagrama)
- Número del circuito lógico asignado (circuito virtual)

La información de destino es la dirección del abonado (datagrama) por esta razón, cada paquete puede llegar a su destino por diferentes trayectorias y en orden diferente al que fueron enviados.

La información de destino es el número del circuito lógico asignado en la red (*circuito virtual*), esto asegura que la información llegue a su destino en el mismo orden en que se transmitió. El circuito virtual permanente se da cuando entre dos terminales existe un circuito virtual permanentemente conectado. En llamada virtual se requiere de un tiempo de establecimiento para cada comunicación, fijándose así un circuito virtual entre las dos terminales y que en cada llamada puede ser diferente.

Las funciones básicas que realiza una red de conmutación de paquetes son el almacenamiento, retransmisión y el control de ruta. El almacenamiento y retransmisión permite que las terminales puedan retransmitir en el momento que lo deseen ya que la central cuenta con capacidad de almacenamiento (*buffers*) temporal, en caso de que no exista trayectoria libre la transmitirá en cuanto haya camino libre. Este tipo de conmutación se denomina en términos de tráfico, como sistema de espera, en él existen retardos en la transmisión que aumenta cuando el tráfico es alto.

El control de ruta determina el camino lógico que debe seguir la información en base al destino del paquete.

En conmutación de paquetes es importante hacer notar que el circuito físico que enlaza a un par de nodos es compartido por varios circuitos virtuales correspondientes a otras comunicaciones, a diferencia de la conmutación de circuitos, en donde son de uso exclusivo.

La conmutación de paquetes surgió de la necesidad de tener una forma de sistema de mensaje o paquete conmutado para las redes de comunicación de datos en el que se tomó énfasis en la confiable entrega de cada mensaje sin importar un posible retardo.

La esencia de este método es almacenar el mensaje antes de enviarlo a la próxima etapa de un trayecto. Si las líneas están congestionadas o no disponibles por alguna razón el mensaje puede ser ya sea retenido para la transmisión posterior o enviarlo por una ruta diferente.

Dentro del conmutador de mensajes hay buffers y colas así como un área para almacenar mensajes muy grandes. El tráfico de arribo para entregar en una de las líneas puede fluctuar debido a que este llega de muchas fuentes y puede exceder la capacidad instantánea de la línea. Por lo tanto, una cola es establecida para cada línea de salida y una de estas colas se muestra llena en la figura.

La conmutación en este conmutador de mensajes consiste en mover el mensaje direccionado, de los buffers de entrada a la cola correcta de salida. El sistema de conmutación es responsable de esta actividad y probablemente podría llegar a sobrecargarse si un buffer de entrada no hubiera sido limpiado antes del arribo de otro mensaje. El incrementar el número de buffers no resolvería el problema ya que el tráfico podría arrivar aún más rápido que el que pueda ser manejado.

Ventajas y desventajas de la conmutación de paquetes

Esta técnica de conmutación de paquetes fue desarrollada teniendo en mente las necesidades de los usuarios de computadoras y de el funcionamiento de éstas. Una tabla comparativa de las ventajas y desventajas de la conmutación de paquetes se muestra en la figura 1.8.

Debido a las capacidades de procesamiento de los circuitos de conmutación de la red, se mantienen la mayoría de las características y ventajas de la conmutación de

mensajes. Esto es, la red puede suministrar formato, código y conversiones rápidas entre terminales diferentes. Se ve que es libre de bloqueo, da una gran eficiencia a la red y a la utilización de la línea. Debido al uso de multiplexores lógicos, en una línea una computadora grande puede conversar simultáneamente con varios dispositivos de baja velocidad, utilizando una sola línea de acceso a la red de alta velocidad. Esto se ilustra en la figura 1.8-a donde una computadora de 1200 bps puede comunicarse con 8 dispositivos que trabajan a 150 bps.

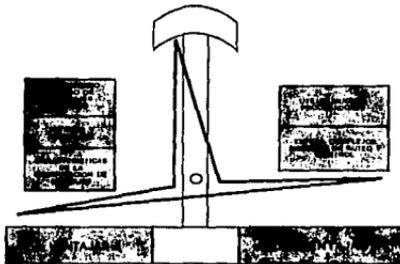


Figura 1.8 Ventajas y desventajas de la conmutación de paquetes de datos

Dado que los mensajes se descomponen en paquetes y que la mayoría de los mensajes cortos caben en un solo paquete o menos, los mensajes largos y cortos no se interfieren unos con otros. Esta no interferencia, da como resultado que la conmutación de paquetes dentro de la red suministra un rápido intercambio de mensajes cortos, con patrones de retardo consistentes, excepto bajo condiciones de sobrecarga extrema. Los conmutadores están diseñados para trabajar en casi tiempo real.

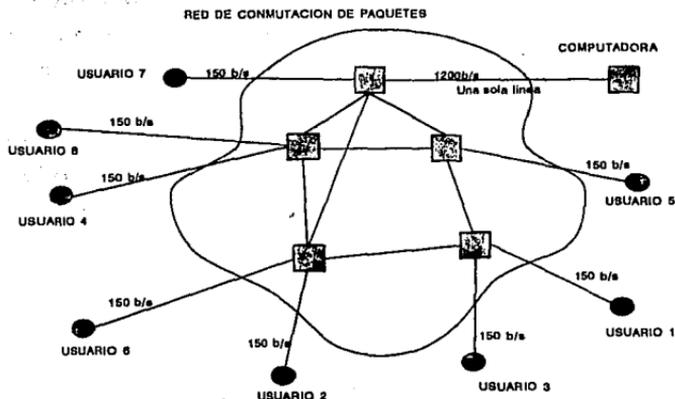


Figura 1.8-a Conexión de una computadora utilizando conmutación de paquetes

Como los paquetes de un mensaje no tienen que seguir una misma ruta hacia su destino, la red es muy flexible y adaptable. Si alguna falla ocurre durante alguna operación, se puede rutear por otra parte para evitar el lugar de la falla.

La principal desventaja de la conmutación de paquetes esta en la forma en que esta debe ser implementada para obtener sus ventajas, esto es, que para obtener la flexibilidad y adaptabilidad, es necesario emplear muchos conmutadores y procesadores, y por lo tanto con necesarios y complejos procedimientos de control y de ruteo. Esto involucra una tecnología de diseño de protocolos y de capas de protocolos para trabajar

con las interfaces de usuario y conmutador, así como la operación de las redes en los modos de falla o congestión.

Operación de la conmutación de paquetes

La figura 1.8-b ilustra una porción hipotética de una red de conmutación de paquetes. El usuario A está conectado al conmutador 1 y el usuario B al conmutador 3. Como ejemplo trazaremos el flujo de tres paquetes de un mensaje desde el usuario A hasta el usuario B. Debemos recordar que muchos otros paquetes de distintos usuarios están fluyendo en la red simultáneamente. El flujo del mensaje empieza por la transmisión del paquete 1 entre el usuario A y el conmutador 1. Cuando el conmutador recibe completamente el paquete 1, utilizando un conjunto de reglas de ruteo, lo transmite a su destino por medio del conmutador 2. Mientras, el paquete 2 se mueve del usuario A al conmutador 1. Pero durante este tiempo, las condiciones de la red cambian (por ejemplo, una gran cantidad de tráfico le llega al conmutador 2 por medio del conmutador 5), y el paquete 2 es ruteado por el conmutador 4. El tercer paquete es enviado al conmutador 1 después de que el segundo paquete es ruteado por el conmutador 4. Después de que el segundo paquete ha sido recibido correctamente por el conmutador 4, se transmite al conmutador 3. Pero durante la transmisión ocurre un error, cuando el conmutador 3 recibe el paquete 2, el mecanismo de detección de errores detecta el error y pide la retransmisión del paquete 2. Mientras esto está pasando, el paquete 3 ha sido transmitido inmediatamente después de la copia del paquete 2 que llegó errónea. Como resultado la segunda copia del paquete 2 ha llegado al conmutador después del paquete 3. Desde el punto de vista del conmutador 3, primero llegó el paquete 1, luego el 3 y finalmente el 2. Si el conmutador 3 entrega al destino los paquetes en el orden en el que le llegaron, el usuario B recibirá los paquetes en orden diferente al que estos entraron a la red.

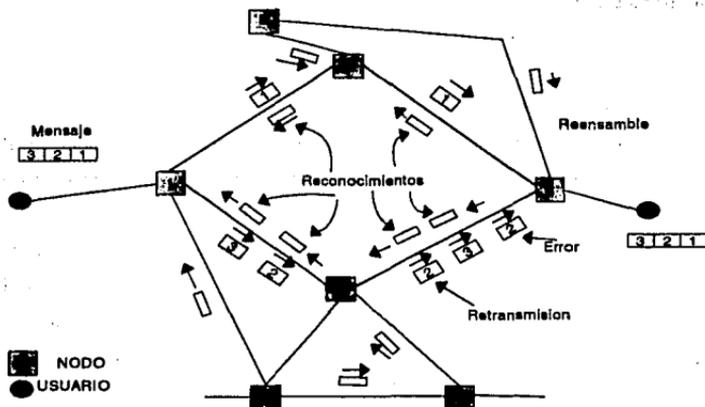


Figura 1.8-b Operación básica de una red de conmutación de paquetes

Errores en la red

La secuencia de paquetes es uno de varios posibles errores que introducen los protocolos de red y que pueden ocurrir en el proceso de empaquetamiento. Los otros dos más serios problemas son la pérdida de paquetes y la duplicación de paquetes que han sido correctamente transmitidos.

Error en la secuencia de paquetes

El problema en la secuencia de paquetes es el resultado directo del modo de operación guarda-reexpide, junto con la necesidad de proteger cada transmisión de las

fuentes de error de la red. Retardos diferentes y trayectorias diferentes para cada paquete introducen la posibilidad de que los paquetes se reciban fuera de la secuencia correcta. Para proteger a los usuarios de este posible error, los paquetes deben de ser reensamblados con la misma estructura del mensaje que ellos tenían al iniciar la transmisión dentro de la red. El proceso de reensamblado de paquetes se realiza en el conmutador de destino (el conmutador 3 en este caso) utilizando información de la secuencia del paquete que se debe de transportar por la red junto con la información del usuario.

Reconocimientos

Un número de reconocimiento se muestra en la figura 1.8-b fluyendo de varios puntos de la red en dirección inversa a los paquetes de información. Estos reconocimientos son la clave para el mecanismo detector de errores que asegura la integridad y exactitud de la información transmitida.

Para cada paquete que se recibe, se devuelve inmediatamente un paquete de reconocimiento al emisor, de esta manera sabe el conmutador emisor que el paquete de información ha sido recibida correctamente por el siguiente conmutador junto con la trayectoria de destino. Si un reconocimiento no se recibe dentro de un período de tiempo, el conmutador emisor supone que el paquete fue transmitido con error y retransmite el paquete. Esta suposición es necesaria en caso de que el paquete sea recibido en muy malas condiciones que no pueda ni siquiera pedir una retransmisión de él. Si el paquete se recibe con un error mínimo, un reconocimiento negativo pidiendo una retransmisión se manda y evita tener que esperar a que transcurra un período de tiempo para que el emisor retransmita su mensaje.

Paquetes perdidos

La figura 1.8-c muestra la misma red anterior pero con variaciones en la secuencia de los eventos. El usuario A manda su primer paquete a la red por el conmutador 1. El conmutador 1 rutea el paquete 1 por el conmutador 2, el cual recibe correctamente el paquete y manda su reconocimiento al conmutador 1. Sin embargo algo pasa antes de que el conmutador 2 mande su paquete al conmutador 3 y el conmutador 2 falla. Como el conmutador 1 recibió el reconocimiento del paquete 1 ya no se preocupa de éste. Con la falla del conmutador 2, se cambia el ruteo de los demás paquetes para evitar a este conmutador, así los paquetes 2 y 3 son ruteados por el conmutador 4 hasta su destino.

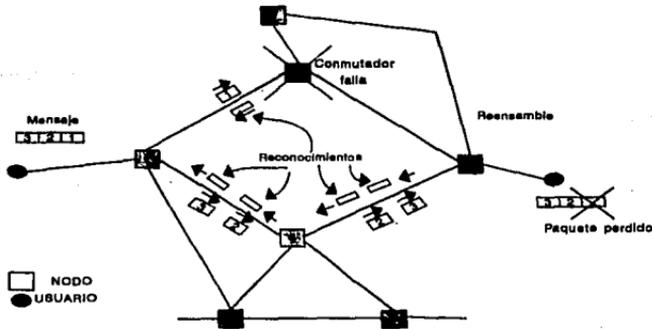


Figura 1.8-c Operación básica de una red de paquetes, con pérdida de paquete

El paquete 1 se perdió cuando el conmutador 2 falló, el conmutador 1 dejó de ser responsable de él cuando recibió el reconocimiento de parte del conmutador 2. El

conmutador 2 falló antes de que pudiera entregar el paquete 1 a la red. De esta manera vemos como se puede dar la pérdida de paquetes dentro del protocolo básico de conmutación de paquetes.

Hay muchas formas para que la red se proteja de este problema. Por ejemplo, se puede hacer que el reconocimiento se mande hasta que el paquete ha sido entregado, o hacer que el responsable del paquete sea el conmutador original, o se le puede pedir al usuario emisor que mande los paquetes faltantes a petición del conmutador final.

Duplicado de paquetes

En la figura 1.8-d se introduce otro juego de condiciones. El paquete 1 se rutea por medio del conmutador 2, el paquete 1 se recibe correctamente por medio del conmutador 2 y se reconoce inmediatamente. Justo cuando el reconocimiento del paquete 1 deja al conmutador 2, la línea del conmutador 2 al conmutador 1 falla, destruyendo el reconocimiento del paquete 1. Como el conmutador 1 no recibe el reconocimiento espera un momento y vuelve a retransmitir el paquete 1, el ruteo de la red cambia debido a que la línea falló y se manda de nuevo el paquete 1, junto con el 2 y el 3 por medio del conmutador 4. La primera transmisión del paquete 1 que fue mandada por el conmutador 2 es entregada al conmutador 3 y después llega una copia del paquete 1 junto con los paquetes 2 y 3 por el conmutador 4. Así el usuario B recibe un duplicado del paquete 1.

Aquí también hay formas de evitar el duplicado de paquetes. Una forma simple puede ser mandar un reconocimiento para el reconocimiento, pero esto nos llevaría a la necesidad de emplear otro reconocimiento para el reconocimiento del reconocimiento, y así hasta el infinito.

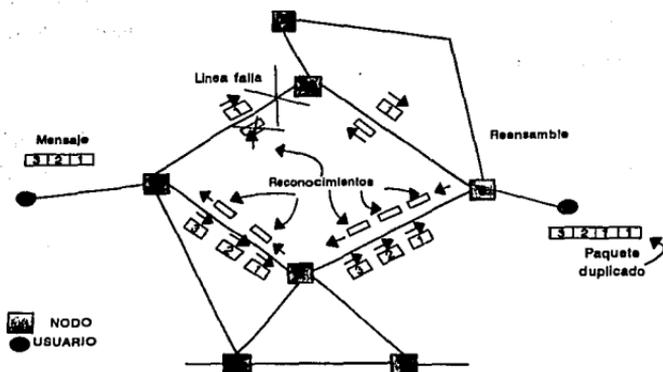


Figura 1.8.d Operación de una red de paquetes con duplicado de paquetes

A fin de proteger la red contra varias fuentes de error, la red debe contar con una cierta cantidad de información adicional, esta información va a ser transmitida por la red junto con la información del usuario y sirve para que los conmutadores puedan trabajar correctamente y evitar errores.

Esta información adicional toma diferentes formas dependiendo del tipo de red y de las técnicas de conmutación empleadas. Esta información adicional requiere de una mayor capacidad de la red para poder soportar este tipo de protocolo. Esta capacidad está dedicada a la operación de la red y por lo tanto no está disponible para ser usada por el usuario como información.

Retrazo en la conmutación de paquetes

En el caso de la conmutación de paquetes el mensaje es dividido en paquetes, cada uno de una longitud P. El primer paquete es transmitido de la terminal de origen al conmutador de origen, el cual entrega el paquete al siguiente conmutador y este al siguiente, y así sucesivamente hasta que el paquete alcanza el conmutador de destino. Mientras el primer paquete esta siendo entregado por el primer conmutador al segundo conmutador, la terminal de origen esta transmitiendo el segundo paquete al primer conmutador, tan pronto como el primer conmutador ha entregado el primer paquete deberá haber recibido también el segundo paquete de la terminal de origen. El conmutador de origen puede entregar el segundo paquete mientras esta recibiendo el tercer paquete, y así sucesivamente.

Veamos primero el retraso en el primer paquete. El primer paquete tiene P bits de longitud y es transmitido a una velocidad de C bits por segundo. Cada entrega tarda P/C segundos. Si el mensaje tiene que pasar por N conmutadores en los que se va a guardar el mensaje y después se va a transmitir, el número total de veces que va a ser entregado de un conmutador a otro hasta que llegue a su destino, será N+1. Por lo que el retraso para el primer paquete va a ser de :

$$D=P/C * (N+1)$$

Después de que el primer paquete llega a su destino. Y si el número total de bits por entregar es igual a K, faltarán por entregarse K - P bits. Si la red ha operado correctamente, si todos los paquetes han llegado consecutivamente y si no hay retardo por esperar al siguiente paquete. El segundo paquete llegara al conmutador de destino al mismo tiempo que este esta entregando el primer paquete al usuario final, este tambien será el caso para cada paquete subsecuente. Los restanes K-P bits que faltan por

transmitir, serán entregados en un tiempo $D_2 = (K-P)/C$ segundos después de que el primer paquete ha sido entregado, por lo que el retraso total de todo el mensaje en la conmutación de paquetes será de:

$$D = D_1 + D_2 = [P(N + 1) + (K - P)] / C.$$

Ventajas de la conmutación de paquetes

Quando se usa para comunicación entre computadoras, hace mejor uso de la línea, por medio del multiplexaje. Proporciona la ventaja de cambiar de velocidad. En una trayectoria de comunicación digital, la relación de datos de la línea, es estrictamente ajena a la información que ésta lleva. Con conmutación de paquetes, cualquier paquete es capaz de elegir la rapidez de datos apropiada a su tráfico y a su método de operación. En una red de circuitos conmutados, los dispositivos que se comunican caen en categorías de velocidades que son mutuamente exclusivos.

Quizá la característica más significativa de la conmutación de paquetes es su interfaz con un computador multiacceso. Por multiacceso entendemos que la computadora puede tener más de una conversación al mismo tiempo. La interfaz necesita emplear solo una trayectoria de transmisión en la que los paquetes, para las diferentes conversaciones, son intercalados de acuerdo a la demanda de tráfico actual.

Esta interfaz no solo proporciona el mejor uso del canal de comunicaciones, sino que también es una interfaz más apropiada a la forma que una computadora trabaja.

1.9 ESTANDARES, NORMAS Y RECOMENDACIONES

1.9.1 RECOMENDACION X.25 DEL CCITT

"Interface entre el equipo terminal de datos (DTE) y el equipo terminal del circuito de datos (DCE) para terminales que operan en el modo de paquetes sobre redes públicas de datos".

X.25 es la especificación que define los protocolos de las tres capas inferiores del modelo OSI (*Capa Física, Capa de Enlace y Capa de Red*), figura 1.9.1. A pesar de que la primera recomendación X.25 editada por el CCITT en 1976, fue muy anticipada a la aprobación del modelo de referencia OSI, gracias a su modularidad, el trabajo hecho por el CCITT sobre X.25 pudo ser fácilmente incorporado dentro del modelo OSI.

El modelo OSI comenzó a desarrollarse en 1977 pero formalmente fue adoptado como un estándar internacional en la primavera de 1983. Este modelo es conocido como CCITT X.200 o ISO 7498.

Modelo de referencia OSI

En 1977, la Organización Internacional de Estándares (ISO), inició sus trabajos sobre interconexión de Sistemas Abiertos (OSI). El término *"ablero"* fue escogido para enfatizar que un sistema que se apegue a los estándares de OSI, estaría abierto para comunicarse con cualquier otro sistema basado en el mismo estándar en cualquier parte del mundo.



Figura 1.9.1 Capas inferiores del modelo OSI

En el mundo OSI se reconocen explícitamente tres niveles de abstracción:

- *La arquitectura*
- *La especificación de los servicios*
- *La especificación de los protocolos*

La arquitectura OSI es el nivel máximo de abstracción, y es definida en el estándar ISO 7498.

La especificación de los servicios describe las facilidades que son provistas para el usuario, independientemente de los mecanismos usados para realizar el servicio.

La especificación de los protocolos define en forma precisa la información de control que debe de ser enviada, y los procedimientos que deben utilizarse para interpretar esta información.

La técnica en capas es usada para estructurar y permitir que la red de sistemas abiertos sea descompuesta en pequeños subsistemas lógicamente independientes. La idea básica de la arquitectura en capas, es que cada capa agregue valor a los servicios provistos por el conjunto de capas inferiores, de tal manera, que la capa del nivel más alto ofrezca el conjunto completo de servicios necesario para correr aplicaciones distribuidas.

El modelo OSI consta de siete capas (Figura 1.9.1-a). Los principios aplicados para el establecimiento de las siete capas fueron los siguientes:

- Cada capa se creará en situaciones donde se requiera un nivel diferente de abstracción.
- Cada capa deberá efectuar una función bien definida.
- La función que realizó cada capa deberá seleccionarse con la intención de definir protocolos normalizados internacionalmente.
- Los límites de las capas deberán seleccionarse tomando en cuenta la minimización del flujo de información a través de las interfaces.
- El número de capas deberá ser lo suficientemente grande para que las funciones diferentes no tengan que ponerse juntas en la misma capa y, por otra parte,

también deberá ser lo suficientemente pequeño para que su arquitectura no llegue a ser difícil de manejar.

Es importante destacar que el modelo OSI, por sí mismo, no es una arquitectura de red, dado que no especifica, en forma exacta, los servicios y protocolos que se utilizarán en cada una de las capas. Sólo indica lo que cada capa deberá hacer. Sin embargo, la ISO también ha generado normas para todas las capas, aunque estas, estrictamente hablando, no forman parte del modelo. Cada una de ellas se ha publicado como normas internacionales independientes.

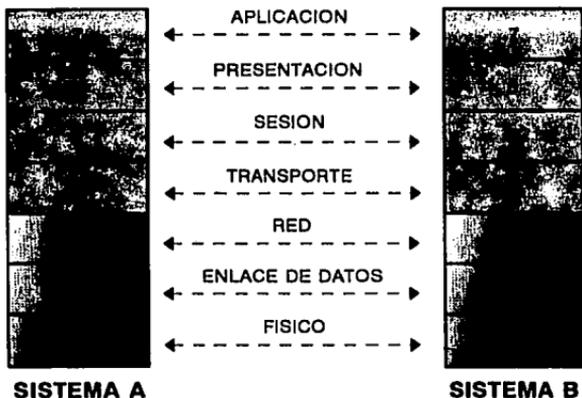


Figura 1.9.1-a Modelo de referencia OSI

Capa física

La capa física se ocupa de la transmisión de bits a lo largo de un canal de comunicación. Su diseño debe asegurar que cuando un extremo envía un bit con valor 1, éste se reciba exactamente como un bit con ese valor en el otro extremo, y no como un bit con valor 0. Los problemas de diseño a considerar aquí son los aspectos mecánico, eléctrico, de procedimiento de la interface y el medio de transmisión.

Capa de enlace

La tarea primordial de la capa de enlace consiste en, convertir un medio de transmisión común y corriente, en una línea sin errores de transmisión para la capa de red. Como la capa física básicamente acepta y transmite un flujo de bits sin tener en cuenta su significado o estructura, recae sobre la capa de enlace la creación o reconocimiento de los límites de la trama. La trama puede destruirse por completo debido a una ráfaga de ruido en la línea, en cuyo caso el software de la capa de enlace, perteneciente a la máquina emisora, deberá transmitir la trama. Sin embargo, múltiples transmisiones de la misma trama introducen la posibilidad de duplicar la misma.

Otro de los problemas que aparecen en la capa de enlace es el referente a cómo evitar que un transmisor rápido sature con datos a un receptor lento.

Capa de red

La capa de red se ocupa del control de la operación de la subred. Un punto de suma importancia en su diseño, es la determinación sobre cómo enrutar los paquetes del origen al destino.

Como los operadores de la subred esperan alguna remuneración al esfuerzo que realizan, en muchas ocasiones se introduce una función de contabilidad en la capa de red.

También pueden surgir problemas cuando un paquete tenga que desplazarse de una red a otra para llegar a su destino. El direccionamiento utilizado en la segunda red puede ser diferente del empleado en la primera.

Capa de transporte

La función principal de la capa de transporte consiste en aceptar los datos de la capa de sesión, dividirlos, siempre que sea necesario en unidades más pequeñas, pasarlos a la capa de red y asegurar que todos ellos lleguen correctamente al otro extremo. Además, todo este trabajo se debe de hacer de manera eficiente, de tal forma que aisle la capa de sesión de los cambios inevitables a los que está sujeta la tecnología del hardware.

Bajo condiciones normales, la capa de transporte crea una conexión de red distinta para cada conexión de transporte solicitada por la capa de sesión. Si la conexión de transporte necesita un gran caudal, ésta podría crear múltiples conexiones de red, dividiendo los datos entre las conexiones de la red con objeto de mejorar dicho caudal. Por otra parte, si la creación o mantenimiento de la conexión de una red resulta costoso, la capa de transporte podría multiplexar varias conexiones de transporte sobre la misma conexión de red para reducir dicho costo. En todos los casos, la capa de transporte se necesita para hacer el trabajo de multiplexión transparente a la capa de sesión.

La capa de transporte es una capa del tipo extremo extremo (*peer to peer*), es decir, un programa en la máquina origen lleva una conversación con un programa parecido que se encuentra en la máquina destino, utilizando las cabeceras de los mensajes

y los mensajes de control. Los protocolos de las capas inferiores, son entre cada máquina y su vecino inmediato, y no entre las máquinas origen y destino, las cuales podrían estar separadas por varios ruteadores o gateways

Capa de sesión

La capa de sesión permite que los usuarios de diferentes máquinas puedan establecer sesiones entre ellos. A través de una sesión se puede llevar a cabo un transporte de datos ordinario, tal y como lo hace la capa de transporte, pero mejorando los servicios que ésta proporciona y que se utilizan en algunas aplicaciones.

Una sesión podría permitir al usuario acceder a un sistema de tiempo compartido a distancia, o transferir un archivo entre dos máquinas.

Capa de presentación

A diferencia de las capas inferiores, que únicamente están interesadas en el movimiento confiable de bits de un lugar a otro, la capa de presentación se ocupa de los aspectos de sintaxis y semántica de la información que se transmite.

La capa de presentación está relacionada también con otros aspectos de representación de la información, por ejemplo, la compresión de datos se puede utilizar aquí para reducir el número de bits que tienen que transmitirse, y el concepto de criptografía se necesita utilizar frecuentemente por razones de privacidad y autenticación.

Capa de aplicación

La capa de aplicación contiene los programas del usuario, que hacen el trabajo real por el cual fueron adquiridos los ordenadores. Estos programas utilizan los servicios que ofrece la capa de presentación para sus necesidades de comunicación.

NIVEL FISICO DE X.25 (NIVEL 1)

En la figura 1.9.1-b se encuentran los tres niveles inferiores del modelo OSI implementados para X.25, se puede apreciar como el CCITT les llamo de diferente manera a sus tres niveles de X.25.

X.25 utiliza un protocolo sincrónico para el nivel físico, permitiendo velocidades de hasta 19.2 Kbps. sobre líneas privadas analógicas. En las líneas privadas digitales, se permiten velocidades de hasta 64 Kbps. y 2.048 Mbps.

El CCITT define las características mecánicas eléctricas, funcionales y de procedimiento para activar, mantener y desactivar el enlace físico entre el DTE y el DCE, en su recomendación para la capa física de X.25.

En otras palabras la capa física es responsable de transmitir un flujo de bits de datos a través de algún medio. La capa física de X.25 no especifica el medio a utilizar, únicamente establece un conjunto de reglas que gobiernan la interfaz entre el DTE y el DCE. Figura 1.9.1-c.

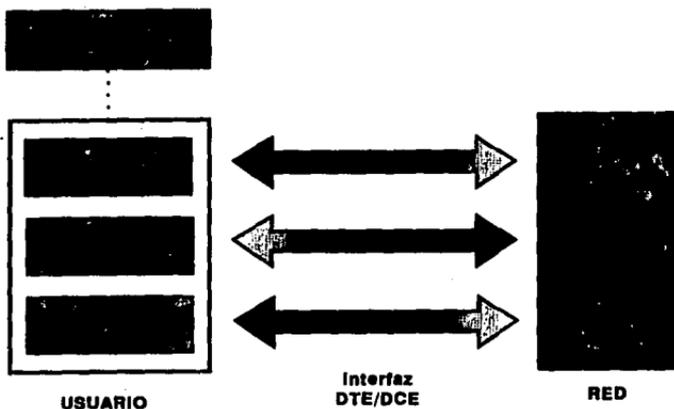


Figura 1.9.1-b Niveles inferiores del modelo OSI para X.25

En la Recomendación X.25 el CCITT describe la capa física haciendo referencia a su Recomendación X.21, con lo cual se anticipa el día en que las redes analógicas de conmutación de circuitos serán remplazadas por redes digitales.

La Recomendación X.21 *"Interface entre el equipo terminal de datos (DTE) y el equipo terminal del circuito (DCE) para operación síncrona sobre Redes Públicas de Datos"*.

X.21 tiene muchas características notables, y su especificación actualmente describe funciones de conmutación de circuitos, sin embargo, X.25 solo utiliza las especificaciones para la interface física.

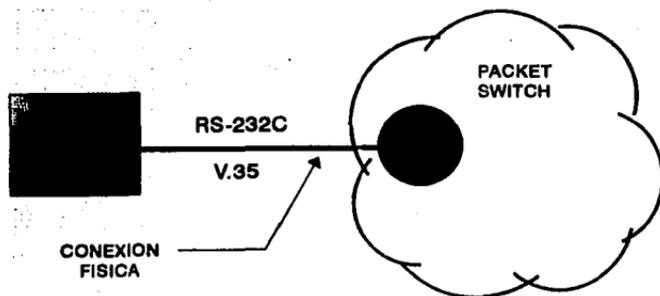


Figura 1.9.1-c Nivel físico de X.25

NIVEL 2 DE X.25 O NIVEL DE TRAMA

La Recomendación para la capa de enlace de datos describe los procedimientos para intercambio de datos entre un DTE y un DCE. El objetivo de esta capa es asegurar un intercambio de información confiable y ordenado bajo cualquiera de las diferentes condiciones que puedan afectar el enlace. Para el protocolo de control de enlace de X.25, estos procedimientos se pueden agrupar en tres categorías: inicialización/desconexión del enlace, control de errores, y control de flujo.

Métodos de comunicación

En las transmisiones asíncronas, a cada caracter que es enviado se le agrega un bit de inicio y uno o más bits de paro. Un bit opcional de paridad también se le puede agregar, con el fin de tener en poca medida un mecanismo de control de errores.

El control de flujo en transmisiones asíncronas se puede llevar a cabo por dos métodos diferentes. Un método es utilizar señales fuera de banda, como son RTS/CTS y el otro es utilizando señales dentro de la banda, como el protocolo XON/XOFF.

Un refinamiento de los protocolos asíncronos, son los protocolos síncronos orientados a caracter. Este tipo de protocolos fueron desarrollados a mediados de la década de los 60's, siendo el más representativo, el protocolo *BSC (Binary Synchronous Communication)* de IBM.

Un mejoramiento a los protocolos asíncronos y síncronos orientados a caracter es el *HDLC (High-Level Data Link Control)* de ISO.

Este protocolo está basado en el protocolo *SDLC (Synchronous Data Link Control)* que fue desarrollado también por IBM para reemplazar a su protocolo *BSC*.

SDLC y *HDLC* a diferencia de sus predecesores son protocolos síncronos orientados a bit. El protocolo *ADCCP (Advanced Data Communications Control Procedure)* de ANSI es otro protocolo contemporáneo orientado a bit. El CCITT le llamó *LAP (Link Access Protocol)* a su propio enlace. Este protocolo esta basado en *HDLC*.

Una de las ventajas de los protocolos orientados a bit, es la reducción del número de caracteres necesarios para control, ya que cada bit en un caracter de 8 bits puede tener significado diferente.

En la figura 1.9.1-d se muestran las tres funciones básicas de *LAPB* que son:

- 1) Establecer que tanto el DTE como el DCE pueden enviar y recibir tramas

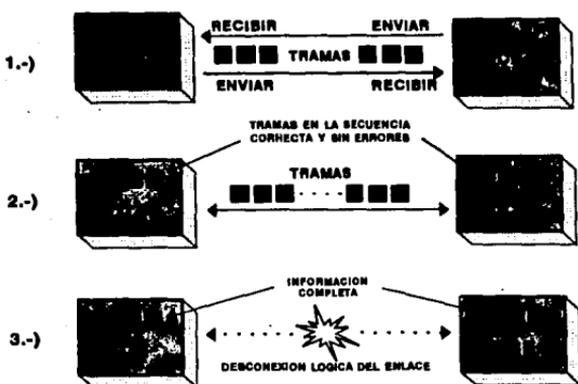


Figura 1.9.1-d Funciones básicas de LAPB

- 2) Transferencia de tramas que contienen información del usuario y se asegura de que las tramas lleguen en la secuencia correcta (secuencia correcta libre de errores).

3) (Desconexión del enlace) Se asegura de que la información transferida este completa y lógicamente desconectada del enlace.

Estructura de la trama

Una trama HDLC tiene la estructura mostrada en la figura.1.9.1-e

Orden de transmisión de bits.

12345678	12345678	12345678	16 a 1	12345678
Bandera	Dirección	Control	SVT	Bandera
F	A	C	SVT	F
01111110	8 bits	8 bits	16 bits	01111110

SVT Secuencia de verificación de trama (FCS, Frame checking sequence)

12345678	12345678	12345678		16 a 1	12345678
Bandera	Dirección	Control	Información	SVT	Bandera
F	A	C	I	SVT	F
01111110	8 bits	8 bits	n bits	16 BITS	01111110

SVT Secuencia de verificación de trama (FCS, Frame checking sequence)

Figura 1.9.1-e Formatos de trama - Funcionamiento básico (módulo 8)

En la figura 1.9.1-f se muestra una trama X.25 desglosada completamente en cada uno de sus campos, la explicación de cada campo se describe a lo largo de este tema en su sección correspondiente dependiendo del nivel X.25 que se este tratando.

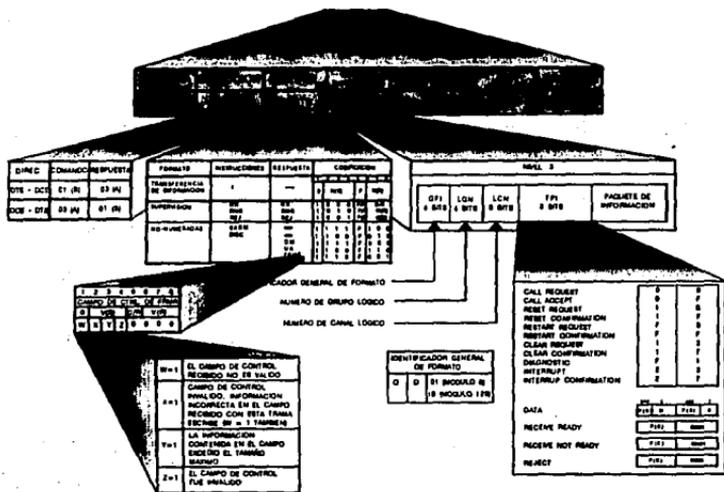


Figura 1.9.1-f Estructura de una trama X.25 desglosada

Bandera

Cada trama comienza y termina con un patrón de bits para determinar su inicio y su terminación. El patrón de bits es un cero seguido por seis unos y otro cero al final, es decir, 01111110. Cuando la línea se encuentra inactiva, estas banderas son enviadas continuamente para llenar el tiempo entre tramas y mantener la sincronización entre el transmisor y el receptor.

Para que una trama sea válida, debe de tener por lo menos 32 bits entre sus banderas, Las tramas inválidas son descartadas. Con el fin de optimizar la transmisión, una bandera puede utilizarse para identificar el final de una trama y el comienzo de otra.

Campo de dirección

Cuando el receptor detecta una bandera, busca en el flujo de datos un campo de 8 bits con la dirección. En *HDLC* y *SDLC* este campo es utilizado para líneas multipunto, soportando hasta 256 estaciones. Como X.25 utiliza líneas punto a punto, el campo de dirección lo utiliza para separar comandos de respuestas y puede tener solo dos valores, 01(B) o 03(A).

En la nueva versión de X.25, *LAPB* (*Link Access Procedure Balanced*), un 01 identifica tramas conteniendo comandos del DTE al DCE y respuestas a estos comandos del DCE al DTE. Un 03 es usado para tramas que contienen comandos del DCE al DTE y repuestas del DTE al DCE.

Campo de control

El campo de control identifica el tipo de trama y es usado para llevar los números de secuencia de cada trama, reconocimientos, peticiones de transmisión, y otra información de control.

LAPB utiliza tres tipos distintos de tramas, Tramas I de información, tramas S de supervisión, y tramas U (unnumbered) No numeradas.

Formatos y parámetros del campo de control LAPB

Los diversos parámetros asociados a los formatos del campo de control se describen a continuación.

Módulo

Cada Trama I esta numerada secuencialmente y su número puede adoptar un valor entre 0 y el del módulo menos uno (donde "módulo" es el módulo de los números secuenciales). El módulo es igual a 8 o a 128, y los números secuenciales adoptan cíclicamente todos los valores de la gama.

Variable de estado en emisión V(S)

La variable de estado en emisión indica el número secuencial de la siguiente trama I que debe transmitirse en la secuencia.

Puede adoptar un valor entre 0 y el módulo menos uno. El valor de la variable V(S) se incrementa en una unidad con cada trama I transmitida, pero no puede exceder del N(R) de la última trama de formato I o de supervisión recibida en un valor superior al número máximo (k) de tramas I pendientes. El valor de k se describe más adelante.

Número secuencial en emisión N(S)

Sólo tramas I contienen el N(S), número secuencial en emisión de las tramas transmitidas. En el momento en que se designa una trama I que debe transmitirse en la secuencia, se pone el valor de N(S) a un valor igual al de la variable de estado en emisión V(S).

Variable de estado en recepción V(R)

La variable de estado en recepción indica el número secuencial de la siguiente trama I que debe recibirse en la secuencia. Puede adoptar un valor entre 0 y el módulo menos uno. El valor de la variable de estado en recepción se incrementa en una unidad al recibirse en secuencia una trama I exenta de errores cuyo número secuencial en emisión N(S) es igual a la variable de estado en recepción V(R).

Número secuencial en recepción N(R)

Todas las tramas I y S contienen el N(R), que es el número secuencial previsto de la trama I siguiente recibida. Cuando se designa para transmitir una trama de los tipos indicados anteriormente, se pone el valor de N(R) a un valor igual al valor vigente de la variable de estado en recepción V(R). N(R) indica que el DCE o el DTE que transmite el N(R) ha recibido correctamente todas las tramas I con número secuencial menor o igual que $[N(R) - 1]$.

Bit de petición/final (P/F)

Todas las tramas contienen el bit P/F (bit de petición/final). En las tramas de instrucción, el bit P/F se denomina bit P. En las tramas de respuesta, se denomina bit F.

Funciones del bit de petición/final

El bit de petición puesto a 1 lo utiliza el DCE o el DTE para solicitar (pedir) una respuesta del DTE o del DCE, respectivamente. El bit final puesto a 1 lo utiliza el DCE o el DTE para indicar la trama de respuesta transmitida por el DTE o el DCE, respectivamente, como resultado de una instrucción solicitante (petición).

Tramas de Datos

Unicamente las tramas **I** transportan datos a través del enlace y son las únicas tramas que requieren números de secuencia. Los datos del usuario van contenidos en el campo de datos que sigue inmediatamente al campo de control en una trama **I**.

A cada trama **I** se le asigna un número de secuencia entre 0 y 7, en el caso de utilizar una ventana con módulo 8. Un campo de 3 bits $N(S)$ es usado para identificar estos números de secuencia y es incrementado en uno por cada trama que es enviada.

El receptor utiliza $N(R)$ para indicar el número de secuencia de las tramas recibidas sin error. Cada vez que una trama sin error es recibida, la variable $N(R)$ se incrementa al número de secuencia de la próxima trama esperada.

Los reconocimientos de las tramas recibidas correctamanete fluyen de regreso al transmisor dentro de tramas enviadas por el receptor e indicadas en la cuenta del receptor $N(R)$.

El bit **P** es el bit de sensado (Poll). Este bit es utilizado por el transmisor para solicitar una respuesta inmediata. Cuando al receptor le llega una trama **I** con el bit **P** puesto a 1, contesta con una trama que nos es de información y con el bit **F** (Final) puesto a 1.

El receptor siempre activa a 1 el bit **F** en su respuesta al comando enviado por el transmisor con el bit **P** en 1.

En la figura 1.9.1-g se muestran los bits de control de los diferentes tipos de tramas, así como las instrucciones y respuestas *LAPB* (módulo 8).

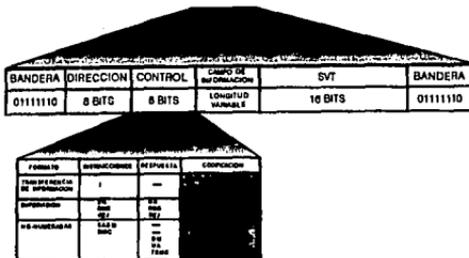


Figura 1.9.1-g Bits de control de diferentes tipos de tramas

Formato de transferencia de información I

El formato I se usa para realizar una transferencia de información. Las funciones de N(S), N(R) y P son independientes; esto es, cada trama I tiene un N(S), un N(R) que puede o no acusar recibo de tramas I adicionales recibidas por el DCE o el DTE y un bit P que puede estar puesto a 0 o a 1.

Tramas de Supervisión

Las tramas de *Supervisión* son utilizadas para transportar información de control, peticiones de retransmisión, y reconocimiento de tramas I. El comando *Receive Ready* (RR) es usado por el DTE o DCE para indicar la disposición de recibir trama I y para reconocer tramas I previamente recibidas.

Una condición temporal de ocupado y la imposibilidad para aceptar más tramas I, es comunicada enviando *Receive Not Ready* (RNR). El comando *Reject* (REJ) solicita la retransmisión de tramas I comenzando con N(R) y al mismo tiempo reconoce todas las tramas I anteriores a N(R).

Formato de supervisión S

El formato S se utiliza para realizar funciones de control de supervisión del enlace, tales como el acuse de recibo de tramas I, la petición de retransmisión de tramas I y la petición de una suspensión temporal de la transmisión de tramas I.

Las funciones N(R) y P/F son independientes; es decir, cada trama de supervisión tiene un N(R) que puede o no acusar recibo de tramas I adicionales recibidas por el DCE o el DTE, y un bit P/F que puede ponerse a 0 o a 1.

Tramas No-Numeradas

Las tramas *No-Numeradas* derivan su nombre del hecho de que estas nunca transportan números de secuencia.

Las tramas U proveen funciones de control adicionales, tales como inicialización y desconexión del enlace, reiniciación del enlace después de que a ocurrido un error irrecuperable, y rechazo de tramas no válidas.

LAPB considera iguales al DTE y DCE, es decir, no hay una relación de maestro esclavo, por lo tanto, cualquier extremo puede comenzar la inicialización del enlace enviando el comando *SABM* (*Set Asynchronous Balanced Mode*).

La aceptación de *SABM* es confirmada por el otro extremo enviando una respuesta *UA* (*Unnumbered Acknowledgment*). A partir de este momento, las tramas *I* pueden comenzar a fluir, los contadores *N(S)* y *N(R)* son inicializados siempre a ceros al establecerse el enlace.

Cualquiera de los dos extremos, el DTE o el DCE pueden suspender la operación del enlace enviando un comando *DISC* (*Disconnect*). Para reconocer la recepción del comando, el receptor debe enviar una respuesta *UA*. Cuando el transmisor recibe la respuesta *UA*, considera que el enlace a quedado desconectado. Este procedimiento de desactivación asegura que no habrá pérdida de información al realizar la desconexión.

Los errores que no pueden ser corregidos con la retransmisión de otra trama idéntica, son indicados con una respuesta *FRMR* (*Frame Reject*). Esta respuesta incluye campos que indican la razón del rechazo de una trama en particular.

Entre las posibles razones estan, la recepción de una trama no definida, o una trama con números de secuencia no válidos, o campos de información que exceden los tamaños máximos establecidos.

Formato no-numerado U

El formato *U* se usa para proporcionar funciones adicionales de control del enlace. Este formato no contiene números secuenciales, pero incluye un bit *P/F* que puede ponerse a 0 o a 1. Las tramas no-numeradas (*U*) tienen el campo de control de la misma longitud (un octeto) tanto para el funcionamiento básico (módulo 8) como para el funcionamiento ampliado (módulo 128).

Campo de secuencia de verificación de trama SVT

Una de las principales funciones del protocolo de la capa de Enlace de Datos es asegurar una transmisión libre de error. La mayoría de los circuitos físicos son susceptibles a errores inducidos por interferencia electromagnética.

HDLC utiliza una secuencia de verificación de trama **FCS** (*Frame Check Sequence*) para eliminar los errores de hasta 17 bits de longitud, logrando una probabilidad de error de menos de 1 en 10^{14} bits.

Al final de la trama se coloca una bandera para completarla. Para el receptor, esta bandera de cierre le indica que los 16 bits anteriores deberán interpretarse como el campo de verificación.

Método de relleno de bits

Ya que las banderas son usadas para indicar el comienzo y el fin de una trama, un problema ocurre cuando el flujo de datos contiene por casualidad el mismo patrón de bits que el usado por las banderas. **HDLC** resuelve este problema por medio de una técnica conocida como bit de relleno (*stuffing*):

"El DCE o DTE, cuando transmite, debe de examinar el contenido de la trama entre las dos banderas, incluyendo el campo de dirección, el campo de control, el campo de información y la secuencia de verificación, e insertar un bit cero después de todas las secuencias de cinco bits con valor 1 continuos (incluyendo los últimos cinco bits del campo de verificación), para asegurar que no se incluya una secuencia de bandera no

deseada, el DTE o DCE, cuando recibe, debe examinar el contenido de la trama y remover cualquier cero que sigue a una secuencia de 5 bits".

La inserción y borrado de los ceros están implementadas normalmente en el hardware del transmisor y del receptor. En la figura 1.9.1-h se ejemplifica este concepto.

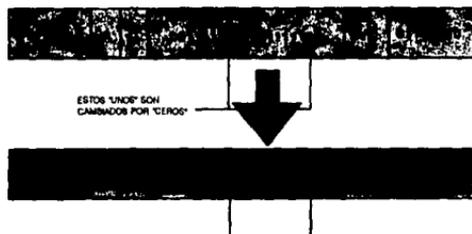


Figura 1.9.1-h Método de relleno de bits

Instrucciones y respuestas

Tanto el DCE como el DTE admitirán las instrucciones y respuestas indicadas en la figura 1.9.1-i para funcionamiento básico módulo 8.

Instrucción de información (I)

La función de la instrucción de información (I) es transferir, por un enlace de datos, una trama numerada secuencialmente que contiene un campo de información.

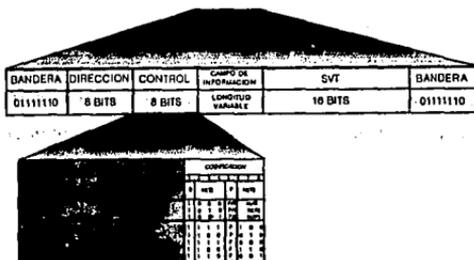


Figura 1.9.1-1 Instrucciones y respuestas del campo de control

Instrucción y respuesta preparado para recibir (RR)

La trama de supervisión preparada para recibir (RR) la utilizan el DCE y el DTE para los siguientes casos:

- 1) Indicar que está preparado para recibir una trama I; y
- 2) Acusar recibo de tramas I recibidas con número secuencial menor o igual que $N(R) - 1$.

Puede utilizarse una trama RR para indicar la liberación de un estado de ocupado comunicado mediante la transmisión previa de una trama RNR por la misma estación (DCE o DTE). Además de indicar el estado del DCE o del DTE, el DCE o el DTE puede utilizar la instrucción RR con el bit P puesto a 1 para pedir que se le indique el estado del DTE o del DCE, respectivamente.

Instrucción y respuesta no preparada para recibir (RNR)

La trama de supervisión no preparada para recibir (RNR) la utilizan el DCE o el DTE para identificar un estado de ocupado, es decir, la incapacidad temporal para aceptar nuevas tramas I entrantes. Se acusa recibo de las tramas I con número secuencial menor o igual que $[N(R) - 1]$. No se acusa recibo de la trama I $N(R)$ ni de ninguna otra trama I recibida posteriormente.

Además de indicar el estado del DCE o del DTE, el DCE o el DTE pueden utilizar la instrucción RNR con el bit P puesto a 1 para pedir que se le indique el estado del DTE o del DCE, respectivamente.

Instrucción y respuesta rechazo (REJ)

La trama de supervisión rechazo (REJ) la utilizan el DCE o el DTE para pedir la retransmisión de tramas I a partir de la trama numerada $N(R)$. Se acusa recibo de las tramas I con número secuencial menor o igual que $[N(R) - 1]$. Las nuevas tramas I pendientes de transmisión inicial pueden enviarse después de la trama o tramas I retrasmitidas.

No puede establecerse más de una condición de excepción *REJ* en un sentido de transferencia de información en un instante determinado. Se libera (reiniciación) la condición de excepción *REJ* al recibirse una trama I con un $N(S)$ igual al $N(R)$ de la trama *REJ*.

Puede utilizarse una trama *REJ* para indicar la liberación de un estado de ocupado comunicado mediante la transmisión previa de una trama *RNR* por la misma estación (DCE o DTE). Además de indicar el estado del DCE o del DTE, el DCE o el

DTE pueden utilizar la instrucción *REJ* con el bit *P* puesto a 1 para pedir que se le indique el estado del DTE o del DCE, respectivamente.

Instrucción de paso al modo equilibrado asíncrono (SABM)/instrucción de paso al modo equilibrado asíncrono (SABME) (opción de la duración del abono)

La instrucción no numerada *SABM* se utiliza para hacer pasar el DCE o el DTE destinatario a la fase de transferencia de información en el modo equilibrado asíncrono (*ABM*), en la que todos los campos de control de instrucción/respuesta tendrán la longitud de un octeto.

La instrucción no numerada *SABME* se utiliza para hacer pasar el DCE o el DTE destinatario a la fase de transferencia de información en el modo equilibrado asíncrono (*ABM*), en la que los campos numerados de control de instrucción/respuesta tendrán una longitud de dos octetos, y los campos no numerados de control de instrucción/respuesta tendrán la longitud de un octeto.

No se permiten campos de información en las instrucciones *SABM* o *SABME*. La transmisión de una instrucción *SABM/SABME* indica la liberación de un estado de ocupado comunicado mediante la transmisión previa de una trama *RNR* por la misma estación (DCE o DTE). El DCE o el DTE confirmará la aceptación de la instrucción *SABM/SABME* [funcionamiento básico (módulo 8)/funcionamiento ampliado (módulo 128)] mediante la transmisión en la primera oportunidad de una respuesta *UA*.

Cuando se acepta esta instrucción, se ponen a 0 la variable de estado de emisión *V(S)* y la variable de estado de recepción *V(R)* del DCE o del DTE.

Las tramas I previamente transmitidas de las que no haya acusado recibo cuando se activa esta instrucción, quedan sin acuse de recibo. Incumbe a una capa superior (por ejemplo, la capa de paquete o el MPL) la recuperación tras la eventual pérdida del contenido (por ejemplo, paquetes) de tales tramas I.

Nota - El modo de funcionamiento del enlace de datos [básico (módulo 8) o ampliado (módulo 12B)] se determina en el momento de efectuar el abono y sólo se cambia mediante un nuevo proceso de abono.

Instrucción de desconexión (DISC)

La instrucción no numerada *DISC* se usa para terminar el modo previamente establecido. Sirve para comunicar el DCE o DTE que recibe la *DISC*, que el DTE o DCE que ha transmitido la *DISC* suspende su funcionamiento.

No se permite ningún campo de información con la instrucción *DISC*. Antes de reactivarla, el DCE o DTE que recibe la instrucción *DISC* confirma la aceptación de la instrucción *DISC* transmitiendo una respuesta *UA*.

El DTE o DCE que ha transmitido la instrucción *DISC* pasa a la fase de desconectado cuando recibe la respuesta de acuse de recibo no numerado (*UA*).

Las tramas I anteriormente transmitidas, de las que no se haya acusado recibo cuando se activa esta instrucción, quedan sin acuse de recibo. Incumbe a una capa superior (por ejemplo, la capa paquete o el MLP) la recuperación tras la eventual pérdida del contenido (por ejemplo, paquetes) de tales tramas I:

Respuesta acuse de recibo no numerado (UA)

La respuesta no numerada *UA* la utilizan el DCE o el DTE para el acuse de recibo y la aceptación de instrucciones de fijación de modo. Las instrucciones de fijación de modo recibidas no se activan mientras no se transmita la respuesta *UA*. La transmisión de una respuesta *UA* indica la liberación de un estado de ocupado comunicado mediante una transmisión previa de una trama *RNR* por la misma estación (DCE o DTE). No se permite ningún campo de información con la respuesta *UA*, figura 1.9.1-j.

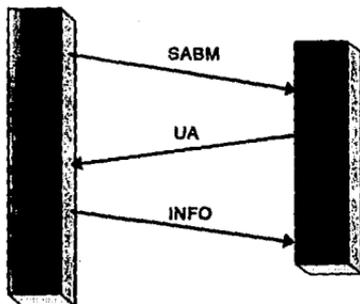


Figura 1.9.1-j Inicialización del enlace a nivel 2 de X.25 mediante las instrucciones SABM y UA.

Respuesta modo desconectado (DM)

La respuesta no numerada *DM* se utiliza para informar de un estado en el cual el DCE o el DTE está lógicamente desconectado del enlace y se halla en la fase

desconectado. La respuesta *DM* se envía para indicar que el DCE o el DTE ha pasado a la fase desconectado sin beneficiarse de la recepción de una instrucción *DISC*, o, si se envía como respuesta a la recepción de una instrucción de fijación de modo, tiene por objeto informar al DTE o al DCE que el DCE o el DTE, respectivamente, se halla aún en la fase desconectado y no puede activar la instrucción de fijación de modo. No se permite ningún campo de información con la respuesta *DM*.

Quando un DCE o un DTE se halla en la fase desconectado, controlara las instrucciones recibidas, reaccionará a una *SABM/SABME* y responderá con una respuesta *DM* con el bit F puesto a 1 a cualquier otra instrucción recibida con el bit P puesto a 1.

Respuesta a rechazo de trama (FRMR)

La respuesta no numerada *FRMR* la utilizan el DCE o el DTE para comunicar una condición de error no subsanable mediante la transmisión de una trama idéntica; es decir, una por lo menos de las siguientes condiciones que resultan de la recepción de una trama inválida:

- 1) Recepción de un campo de control de instrucción o respuesta, no definido o no aplicado.
- 2) Recepción de una trama I con un campo de información cuya longitud excede de la máxima establecida.
- 3) Recepción de un N(R) no válido; o

- 4) Recepción de una trama con un campo de información no permitido, o la recepción de una trama de supervisión o no numerada de longitud incorrecta.

Un campo de control no definido o no empleado es cualquiera de las codificaciones del campo del control que no están identificadas en la figura 1.9.1-k.

Un N(R) válido debe estar comprendido entre el menor de los números secuenciales en emisión N(S) de la(s) trama(s) que todavía no ha(n) sido objeto de acuse de recibo, y el valor vigente de la variable de estado en emisión del DCE inclusive (o el valor vigente de la variable interna x), si el DCE se encuentra en el estado de recuperación por temporizador, como se describe posteriormente.

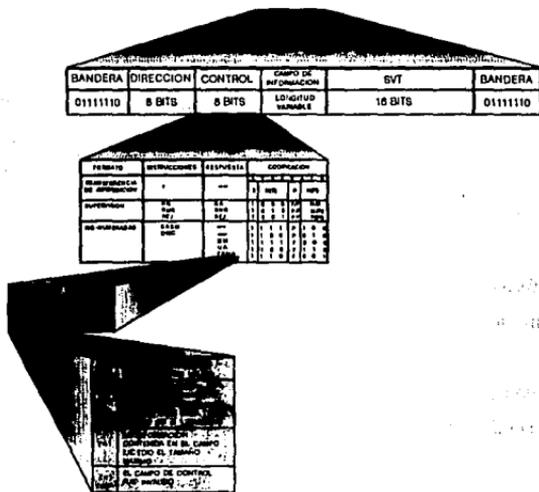


Figura 1.9.1-k Campo de control de una trama FRMR

Con esta respuesta se devuelve un campo de información, que sigue inmediatamente al campo de control y que consta de tres o cinco octetos [funcionamiento básico (módulo 8) o funcionamiento ampliado (módulo 128), respectivamente] dando el motivo de la respuesta *FRMR*. Estos formatos se ilustran en la figura 1.9.1-k

Indicación y recuperación en condiciones de excepción

A continuación se describen los procedimientos de recuperación en caso de error, aplicables para obtener la recuperación después de la detección/aparición de una condición de excepción en la capa de enlace de datos.

Las condiciones de excepción descritas son situaciones derivadas de errores de transmisión, del funcionamiento defectuoso del DCE o del DTE o de situaciones operacionales.

Condición de ocupado

Se produce la condición de ocupado cuando durante un cierto tiempo un DCE o un DTE no puede seguir recibiendo tramas I debido a restricciones internas, como por ejemplo la limitación de la capacidad de las memorias tampón en la recepción. En este caso se transmite desde el DCE o DTE ocupado, una trama *RNR*. Las tramas I pendientes de transmisión pueden transmitirse desde el DCE o el DTE ocupado antes o después de la trama *RNR*.

Una indicación de liberación del estado de ocupado se comunica mediante la transmisión de una trama *UA* (solamente en respuesta a una instrucción *SABM/SABME*), *RR*, *REJ* o *SABM/SABME* (módulo 8/módulo 128).

Condición de error en el número secuencial N(S)

Se descartará el campo de información de todas las tramas I recibidas cuyo N(S) no sea igual a la variable de estado en recepción V(R).

Se produce en el receptor una condición de excepción de error en la secuencia de N(S) cuando una trama I recibida contiene un N(S) que no es igual a la variable del estado en recepción del receptor. El receptor no acusa recibo (no incrementa su variable de estado en recepción) de la trama I responsable del error en el número secuencial, o de cualquier trama I que pudiera seguirla mientras no reciba una trama I con el N(S) correcto.

Un DCE o un DTE que reciba una o más tramas I válidas con errores en los números secuenciales o tramas de supervisión (*RR*, *RNR* y *REJ*) anteriores, aceptará la información de control contenida en el campo N(R) y el bit P o F para realizar las funciones de control del enlace de datos, por ejemplo, para recibir acuse de recibo de tramas I anteriormente transmitidas y para provocar que el DCE o el DTE respondan (bit P puesto a 1).

Se dispondrá de los medios especificados en la recuperación por medio de *REJ* y en la recuperación por tiempo límite (o por temporizador), descritos a continuación para iniciar la retransmisión de tramas I perdidas o erróneas después de la aparición de una condición de error en el número secuencial N(S).

Recuperación por medio del REJ

El DCE o el DTE receptor utiliza la trama *REJ* para iniciar una recuperación (retransmisión) después de detectarse un error en el número secuencial N(S).

Respecto a cada sentido de transmisión por el enlace de datos, en un momento dado sólo se establece una condición de excepción <<REJ transmitida>> desde un DCE o un DTE hacia un DTE o un DCE. Se libera la condición de excepción *REJ* transmitida cuando se recibe la trama *I* perdida.

Cuando un DCE o un DTE recibe una trama *REJ*, inicia la transmisión (o retransmisión) secuencial de tramas *I* comenzando por la trama *I* indicada por el N(R) contenido en la trama *REJ*.

Las tramas retransmitidas pueden contener un N(R) y un bit *P* que son una actualización de los contenidos en las tramas *I* transmitidas originalmente, y por lo tanto diferentes de los mismos.

Recuperación por tiempo límite (o por temporizador)

Si un DCE o un DTE, debido a un error de transmisión, no recibe (o recibe y descarta) una trama *I* aislada o la(s) última(s) trama(s) *I* de una secuencia de tramas *I*, no detectará un error en el número secuencial N(S) y, por consiguiente, no transmitirá una trama *REJ*. El DTE o el DCE que haya transmitido la(s) trama(s) *I* sin acuse de recibo tomará, transcurrido un período de temporización especificado por el sistema.

Las medidas de recuperación apropiadas para recuperar la trama *I* por la cual debe comenzar la retransmisión.

La(s) trama(s) retransmitida(s) puede(n) contener un N(R) y un bit *P* que son una actualización de los contenidos de las tramas *I* transmitidas originalmente y por lo tanto diferentes de los mismos.

Parámetros del sistema de enlace

Temporizador T1: Cuando este tiempo expira se genera la retransmisión de una trama.

Para que el procedimiento opere debidamente, el plazo de $T1$ del transmisor (DCE o DTE) debe ser mayor que el intervalo máximo entre la transmisión de tramas (*SABM/SABME*, *DISC*, o instrucciones *I* de supervisión, o respuesta *DM* o *FRMR*), y la recepción de la trama correspondiente devuelta con respuesta a esa trama (tramas *UA*, *DM* o de acuse de recibo). En consecuencia, el receptor (DCE o DTE) no demorará la trama de respuesta o de acuse de recibo devuelta como consecuencia de las tramas anteriores por un período superior a $T2$, donde $T2$ es otro temporizador.

Temporizador T2: El valor del parámetro $T2$ del DTE puede definir el valor del parámetro $T2$ del DCE. Estos valores serán los convenidos tanto para el DTE como para el DCE durante un período de tiempo, y serán conocidos por ambos.

El plazo del parámetro $T2$ indicará el lapso de tiempo de que dispone el DCE o el DTE antes de que deban desactivar la trama de acuse de recibo, a fin de asegurar su recepción por el DTE o el DCE, respectivamente, antes de que el plazo del temporizador $T1$ expire en el DTE o en el DCE (parámetro $T2 <$ plazo del temporizador $T1$).

Nota- El plazo del parámetro $T2$ tendrá en cuenta los siguientes factores de temporización: el tiempo de transmisión de la trama de acuse de recibo, el tiempo de propagación por el enlace de datos de acceso, los tiempos de proceso establecidos en el DCE y en el DTE, y en el tiempo que lleva la transmisión de la(s) trama(s) en la cola de transmisión del DCE o del DTE, que no pueden ni desplazarse ni modificarse de forma ordenada.

Dado un valor para el plazo del temporizador $T1$ del DTE o del DCE, el valor del parámetro $T2$ en el DCE o en el DTE, respectivamente, no debe ser superior a $T1$ menos dos veces el tiempo de propagación por el enlace de datos de acceso, menos el tiempo de proceso de trama en el DCE, menos el tiempo de proceso de trama en el DTE, y menos el tiempo de transmisión de la trama de acuse de recibo por el DCE o el DTE respectivamente.

$N1$: El valor del parámetro $N1$ del DTE puede ser distinto del valor del parámetro del sistema $N2$ del DCE: estos valores serán convenidos para ambos durante un cierto período de tiempo y serán conocidos tanto por el DTE como por el DCE.

$N1$ es el número máximo de bits de una trama I. (incluyendo banderas y los bits "0" insertados para transparencia) depende de la longitud máxima del campo de información.

Para permitir el funcionamiento universal, un DTE debe admitir un valor $N1$ del DTE que no sea inferior a 1080 bits (135 octetos). Los DTE's deben saber que la red puede transmitir paquetes de mayor longitud.

$N2$: El número máximo de retransmisiones de una trama, después de expirar el período del temporizador $T1$.

k : Número máximo (k) de tramas I numeradas secuencialmente que se pueden tener pendientes (sin acuse de recibo) en un estado determinado, no puede exceder nunca de 7.

NIVEL 3 DE X.25 O NIVEL DE PAQUETE

La capa de Red (*o de Paquete*) es la más compleja de la recomendación X.25, gran parte de esta complejidad se debe a la flexibilidad y confiabilidad que, por naturaleza, debe tener un protocolo de este nivel.

El protocolo de la capa de red es el que provee a los usuarios el acceso a la red. debido a que el nivel de paquete de X.25 es orientado a conexión, el establecimiento de una conexión es una función primordial de esta capa. Las conexiones se realizan como circuitos virtuales.

La capa de red de X.25 permite establecer varios circuitos virtuales sobre una misma conexión física. la técnica de multiplexaje utilizada por X.25, es una forma de multiplexaje estadístico por división en tiempo (STDM) en el cual, el ancho de banda es asignado dinámicamente a los dispositivos activos de acuerdo a como lo soliciten. El multiplexaje estadístico, es ideal para ser utilizado en aplicaciones que requieren tráfico interactivo. Esto, en contraste con el multiplexaje por división de tiempo convencional (TDM), el cual pre-define el ancho de banda, asignando a todos los dispositivos ranuras de tiempo dentro de la trama, sin importar si se encuentran activos o no. En la figura 1.9.1-1 se muestra un enlace X.25 en sus tres niveles.

El enrutamiento de paquetes es otra de las funciones principales de la capa de red, así como también, el control de flujo y la secuenciación de paquetes sobre cada circuito virtual. Además, esta capa provee los mecanismos para segmentación de paquetes que son demasiado grandes, con el fin de poder transportarlos sin problemas por todas las redes que intervengan en la trayectoria.

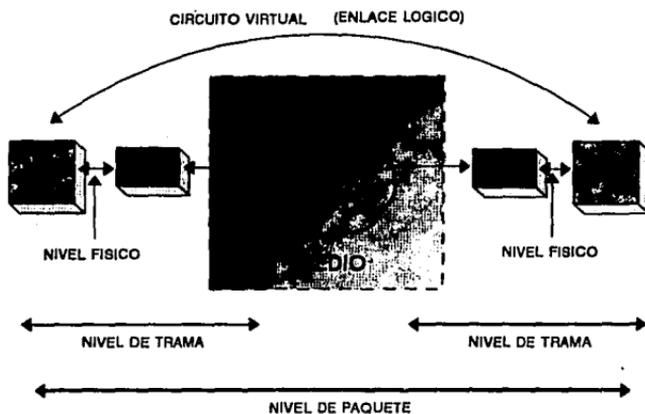


Figura 1.9.1-1 Enlace X.25 en sus tres niveles

Esta capa debe proveer a la capa de transporte servicios tales como, direccionamiento, establecimiento y liberación de conexión, transferencia de datos, control de flujo, etc.

Circuitos virtuales y canales lógicos

En la figura 1.9.1-m se muestra el establecimiento de un circuito virtual (SVC o PVC) a través de un conmutador de paquetes.

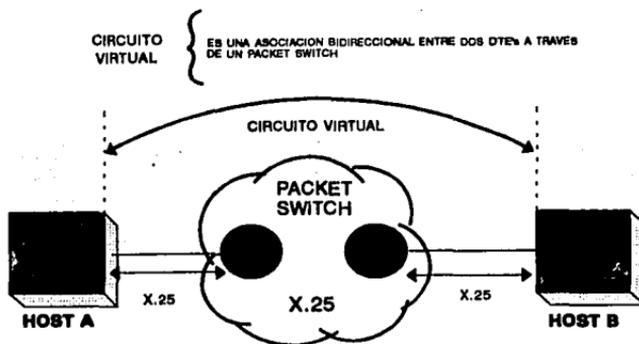


Figura 1.9.1-m Circuito virtual entre dos DTE's

El nivel de red de X.25 ofrece dos variedades de circuitos virtuales. La conexión temporal sobre la red entre dos DTE's es definida por el CCITT como una llamada virtual o circuito virtual conmutado (SVC). Los SVC son análogos a las conexiones telefónicas convencionales.

Para establecer una conexión SVC, se requieren tres fases separadas: el establecimiento de la llamada, la transferencia de los datos y la desconexión de la llamada.

Para las aplicaciones que requieren conexiones punto a punto a través de las líneas dedicadas, el X.25 soporta los circuitos virtuales permanentes (PVC's). A

diferencia de los SVC's, los PVC's tienen únicamente una fase: la transferencia de los datos.

Los SVC's y PVC's se establecen por medio de canales lógicos numerados (LNC), que son asignados solo a través de la interface DTE/DCE en ambos extremos de la conexión.

X.25 tiene una técnica estructurada para asignar los LNC's de manera eficiente. Esto es crítico para los SVC's ya que cada llamada que se establece, obtiene un número de canal lógico en forma dinámica. En un enlace X.25, puede haber hasta 4096 canales lógicos diferentes.

El canal lógico cero, LNC0, no está disponible para llamadas normales, debido a que está reservado para ser utilizado en el control del enlace. La zona de circuitos virtuales permanentes comienza en el LNC1 y termina en un número predefinido, LNCn.

Después del último número de circuito utilizado por los PVC's, todos los LNC's que restan son usados por los SVC's. Si no hay PVC's definidos, entonces a partir del LNC1 están disponibles para los SVC's.

Dentro del grupo de circuitos SVC, existen tres subgrupos, los circuitos de entrada unidireccionales, los circuitos bidireccionales, y los circuitos de salida unidireccionales.

Los datos fluyen de manera full-duplex, sin importar el tipo de circuito que se esté utilizando. La referencia para entrada y salida, se toma siempre a partir de los DTE's, figura 1.9.1-n

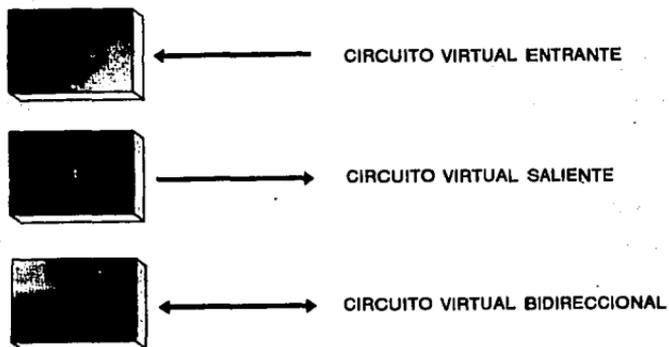


Figura 1.9.1-n Tipos de circuitos virtuales conmutados

Los circuitos de entrada unidireccionales, solo permiten que los DTE's reciban llamadas de otros DTE's remotos, pero no pueden iniciarlas.

Los canales bidireccionales son la forma más común de circuitos virtuales, ya que estos circuitos tienen la habilidad de originar y recibir llamadas. Si no hay PVC's ni circuitos de entrada unidireccionales en uso, el LNC1 esta disponible como el primer circuito bidireccional.

Los circuitos de salida unidireccionales solo pueden originar llamadas, pero no pueden recibirlas.

Un algoritmo simple de búsqueda es usado para asignar dinámicamente los LNC's a los SVC's. Las llamadas que llegan de la red (DCE) utilizan el canal lógico con el número más pequeño que se encuentre disponible, y las llamadas que salen del DTE utilizan el canal lógico con el número más grande que se encuentre disponible.

Establecimiento de la llamada

La fase de establecimiento de la conexión comienza con el envío de un paquete de *petición de llamada* por parte del DTE fuente, y termina con la recepción del paquete de comunicación establecida, figura 1.9.1-o.

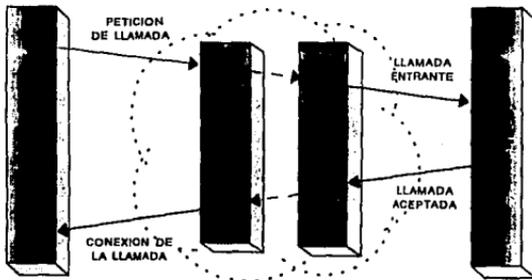


Figura 1.9.1-o Establecimiento de la llamada a nivel 3 de X.25

El paquete de *petición de llamada* contiene campos adicionales en la cabecera, como se indica en la figura 1.9.1-p

8	7	6	5	4	3	2	1
Identificador general de formato				Número de grupo de canales lógicos			
Número de canal lógico							
identificador de tipo de paquete							
0	0	1	0	0	0	1	1

• Codificado 0001 (módulo 8) o 0010 (módulo 128)

Figura 1.9.1-p Paquete de petición de llamada

En el cuarto octeto se tiene la longitud de la dirección del DTE que llama y del DTE llamado, estos campos están constituidos por 4 bits, cada indicador de longitud de dirección de DTE se codifica en forma binaria.

El campo de dirección, ocupa el octeto 5 y siguientes. Estos octetos contienen la dirección del DTE llamado y en la dirección de DTE que llama, si es que la hay. Ambas direcciones están codificadas por el método decimal codificado en binario (BCD), utilizando 4 bits por dígito.

El campo de longitud de facilidades es el octeto que sigue a los campos de dirección e indica el número de campos de facilidades que siguen. Estos campos de facilidades son usados para requerir a la red ciertas funciones específicas. Estas funciones varían entre red y red. Un ejemplo de facilidad es el cobro revertido (*collect calls*). Esta facilidad es de suma importancia para organizaciones que poseen una gran cantidad de terminales remotas y que inicializan llamadas hacia un computador central. Si todas estas terminales siempre solicitan la facilidad de cobro revertido, la organización recibe

únicamente un solo recibo en lugar de cientos de ellos. El DTE que llama puede especificar también una longitud máxima de los paquetes y un tamaño de ventana determinado en lugar de los valores utilizados por omisión (128 bytes por paquete y ventana igual a 2).

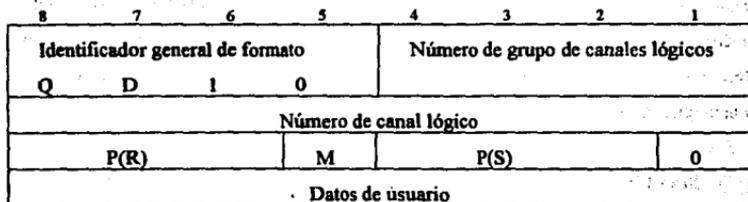
Si el DTE llamado no acepta la propuesta puede mandar una contrapropuesta en el campo de facilidades del paquete de *llamada aceptada*. Esta contrapropuesta únicamente puede cambiar los valores inicialmente propuestos acercándolos a los valores por omisión, nunca los aleja.

Existe también la posibilidad de enviar datos en el campo de datos de usuario, que sigue al campo de facilidades. Este campo permite al DTE enviar hasta 16 bytes de datos dentro del paquete de *petición de llamada*. Los DTE's deciden por si solos que hacer con esta información. Puede ser usado, por ejemplo, para indicar con que proceso en el DTE llamado se quiere conectar el DTE llamante. Activamente puede contener un password.

Transferencia de datos.

La fase de transferencia de datos de una llamada virtual puede comenzar una vez que el DTE que llama recibe un paquete de *Comunicación Establecida*.

El formato de un paquete de datos se muestra en la figura 1.9.1-q



* 01 módulo 8, 10 módulo 128.
 D Bit de confirmación de entrega.
 M Bit de más datos
 Q Bit calificador.

Figura 1.9.1-q Paquete de datos

El bit 1 del campo de control (octeto 3) siempre es cero en los paquetes de datos. Los campos de número de secuencia de transmisión y número de secuencia de recepción (pigback) son usados para control de flujo y control de errores con ventana deslizante. El número de secuencia es módulo 8, si la parte de módulo en la trama es igual a "01" y módulo 128 si la parte de módulo en la trama es "10". Las combinaciones "00" y "11" no son válidas.

El significado del campo *pigback* es determinado por el valor del bit D. Si D=0, los reconocimientos subsiguientes indican que únicamente el DCE local recibió correctamente el paquete, no implica que el DTE remoto lo haya recibido, si el bit D=1, significa que el DTE remoto ha recibido correctamente los datos.

El campo de *more* (bit M), permite al DTE indicar que un grupo de paquetes pertenece a un mismo mensaje. En un mensaje largo, todos los paquetes tendrán el bit de *more* puesto a 1, excepto el último. Solamente un paquete lleno podrá tener este bit

prendido. La subred es la encargada de agrupar diferentes paquetes y entregarlos como uno solo, e inversamente, separar un mensaje en diversos paquetes.

Desconexión de la llamada

Para terminar una llamada virtual, el DTE únicamente tiene que enviar un paquete de *petición de liberación*. Una vez que este paquete es reconocido por un paquete de *confirmación de liberación*, la llamada se libera y el canal lógico que se estaba utilizando queda disponible para conexiones posteriores. En la figura 1.9.1-r se muestran los diferentes tipos de paquetes que puede haber en el nivel 3 de X.25.

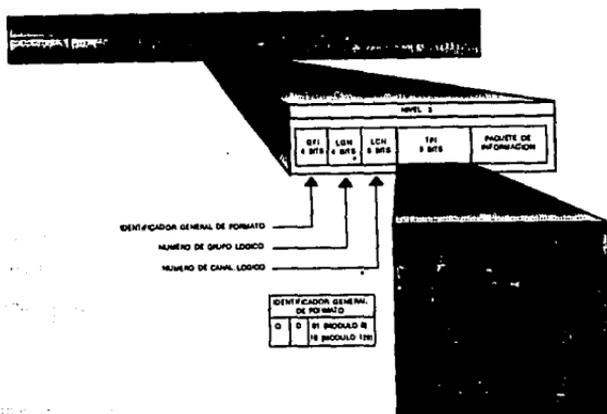


Figura 1.9.1-r Tipos de paquetes del nivel 3 de X.25

Implementación del protocolo de enlace

Es importante que el programador tenga una visión global del funcionamiento de todas las capas de la recomendación X.25, ya que esto le permitirá resolver de manera adecuada los problemas que se le presenten al realizar la implementación.

Cuando se realiza la implementación de cualquier protocolo, se debe tener cuidado en hacerla de manera estructurada y flexible, con el fin de facilitar la corrección de los posibles errores que hayan quedado, además de permitir que en un futuro, se le puedan hacer las modificaciones necesarias, para adaptarse a los cambios que se produzcan con las constantes revisiones que realizan las Organizaciones de Estandarización a las Recomendaciones. En el caso de la recomendación X.25, desde 1976, el CCITT ha publicado una nueva revisión cada 4 años y para el 92 se esperaba que el CCITT publicase otra.

La implementación que se desarrolló está apegada a la recomendación y trata de abarcar todas las posibles opciones, en los puntos que se presenta ambigüedad, para que pueda funcionar con cualquier otra implementación.

Antes de realizar la implementación, primero hay que hacer la implementación con un método que permita tener una etapa intermedia, entre lo que es la especificación y la implementación. Para realizar esto utilizaremos una tabla de estados que nos permita mapear directamente los diferentes estados y eventos.

Para la implementación del protocolo, se pretende tener la tabla de estados con apuntadores de función en cada una de sus localidades. De esta manera únicamente hay que ubicar en la tabla, la localidad adecuada al evento que se produjo y ejecutar esa función.

Este método de implementación es muy flexible, gracias a la construcción estructurada en que esta basada, por lo que es muy sencillo hacerle correcciones y modificaciones sin muchos problemas.

Para hacer alguna modificación en el protocolo, solo hay que cambiar la función involucrada y actualizar la tabla.

Tabla de estados

La tabla de estados es en realidad la parte fundamental en que se basa la implementación. Está formada por 15 renglones y 11 columnas.

Los renglones indican los posibles eventos y las columnas los posibles estados. Dentro de cada localidad, hay un apuntador a la función que debe ejecutarse cuando ocurre un evento dado, estando en un determinado estado.

Como el número de funciones es muy alto, el nombre que tiene cada una, esta basado en la localidad que ocupa en la tabla.

En la tabla existen muchas funciones que hacen lo mismo, sin embargo cada función se definió en forma separada con el fin de proporcionar una mejor claridad. La tabla de estados se muestra en la fig. 1.9.1-s.

	DEBO	DEBEP1	DEBEP2	DE	DE	CONECT	WACK	PAPER	WACT	SUB1	SUB2
Not Ready	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Expire T2	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Trans T1	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Local Call	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
Trans Call	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Post Call	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
Idle	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76
Idle	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87
Idle	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98
Idle	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109
Idle	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
Idle	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131
Idle	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142
Idle	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153
Idle	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164
Idle	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
Idle	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186
Idle	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197
Idle	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208
Idle	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219
Idle	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230
Idle	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241
Idle	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252
Idle	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263
Idle	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274
Idle	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285
Idle	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296
Idle	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307
Idle	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318
Idle	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329
Idle	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340
Idle	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351
Idle	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362
Idle	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373
Idle	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384
Idle	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395
Idle	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406
Idle	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417
Idle	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428
Idle	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439
Idle	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450
Idle	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461
Idle	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472
Idle	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483
Idle	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494
Idle	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505
Idle	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516
Idle	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527
Idle	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538
Idle	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549
Idle	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560
Idle	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571
Idle	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582
Idle	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593
Idle	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604
Idle	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615
Idle	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626
Idle	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637
Idle	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648
Idle	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659
Idle	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670
Idle	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681
Idle	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692
Idle	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703
Idle	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714
Idle	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725
Idle	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736
Idle	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747
Idle	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758
Idle	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769
Idle	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780
Idle	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791
Idle	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802
Idle	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813
Idle	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824
Idle	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835
Idle	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846
Idle	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857
Idle	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868
Idle	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879
Idle	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890
Idle	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901
Idle	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912
Idle	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923
Idle	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934
Idle	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945
Idle	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956
Idle	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967
Idle	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978
Idle	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989
Idle	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000

Figura 1.9.1-a Tabla de estados para la implementación de X.25

Posibles eventos

Not ready Indica que la capa de red tiene datos que enviar

Expira T2 Cuando expira este timer, se debe enviar un reconocimiento explícito al otro extremo. Esto sucede cuando se han recibido tramas, pero no se ha reconocido, debido a que la capa de red no tiene datos que enviar. Por lo tanto no puede utilizarse el "piggyback".

Expira T1 Cuando expira este timer, indica que no se ha recibido reconocimiento de la trama enviada, por lo que deberá retransmitirse. Hay un parámetro **N2** que define el número de veces que puede retransmitir una trama antes de abortar la conexión.

Local call Este evento lo envía la capa de red para establecer una conexión.

Remote call Este evento lo envía la capa de red cuando quiere que sea el otro extremo quien de inicio a la conexión.

Free call Este evento lo envía la capa de red para terminar una conexión.

[**I**] Indica que se ha recibido una trama de datos.

[**RR**] Indica que se ha recibido una trama de datos **preparado para recibir**.

[**REJ**] Indica que se ha recibido una trama de rechazo.

[**SABM**] Indica que se ha recibido una trama de **paso al modo equilibrado**, asíncrono.

[**DISC**] Indica que se ha recibido una trama de desconexión.

[**DM**] Indica que se ha recibido una trama de modo desconectado.

[**UA**] Indica que se ha recibido una trama de **acuse de recibo no numerado**.

[**FRMR**] Indica que se ha recibido una trama de rechazo de trama.

[**INDEF**] Indica que se ha recibido una trama que no puede ser corregida con la transmisión de una trama idéntica.

Por ejemplo:

- Una trama con un campo de control no definido.
- Una trama I con longitud que excede el máximo establecido.
- Una trama con un campo N(R) no válido.

Posibles Estados

[**DESCP**] El enlace se encuentra desconectado y esta listo para poder establecer una conexión. La conexión puede ser indicada localmente, por medio de un evento "**LOCAL CALL**" o "**REMOTE CALL**" de la capa de red, o en respuesta a una petición <**SABM&P**> enviada por el otro extremo. Cuando la conexión se inicia en respuesta a un evento "Local Call", se envía al otro extremo una trama <**DIS&P**> y se pasa al estado desconectado preparado 1 [**DESCP 1**]. Si el evento es "Remote Call", se envía una trama <**DM**> para solicitarle al otro extremo que sea él quien de inicio a la conexión, y pasa al estado [**DESCP 2**].

[**DESCP 1**] En este estado, se espera la confirmación a la trama <**DISC&P**> con una trama <**UA&F**> o <**DM&F**>. Después de que llega la confirmación, se envía la solicitud de conexión con una trama <**SABM&P**> y se pasa al estado *solicitud de conexión* [**SC**].

[**DESCP 2**] En este estado, se espera la llegada de una trama <SABM&P> del otro extremo en respuesta a la trama <DM> enviada. La trama <SABM&P> se confirma con una trama <UA&F> y se pasa al estado de *conectado* [CONECT], para dar inicio al envío de datos.

[**SC**] Cuando llega la trama <UA&F> como confirmación de la llamada, se pasa al estado de *conectado* [CONECT].

[**SD**] Se espera el arribo de una trama <UA&F>, en respuesta a la trama <DISC&P> y se pasa al estado *desconectado preparado* [DESCP].

[**CONECT**] En este estado se pueden enviar todos los datos de usuario. Cuando se recibe un evento *Free Call* de la capa de red, se inicia la desconexión de la llamada. Para hacer esto, se envía una trama <DIS&P> y pasa al estado de *desconectado preparado* [SD]. Cuando se recibe una trama <DISC&P>, se contesta con una trama <UA&F> y pasa al estado *desconectado preparado* [DESCP]. Si se llena la ventana de transmisión, con tramas que no han sido reconocidas, se pasa al estado de *espera de reconocimiento* [WAIT_ACK].

Cuando se envía un <FRMR> en respuesta a una trama inválida, se pasa al estado *rechazo de trama* [FRMREJ]. Si se recibe una trama I con un número de secuencia que no corresponda al esperado, se envía una trama <REJ&P> y se pasa al estado de *rechazo* [REJ].

[**WT_ACK**] En este estado, se espera el reconocimiento de las tramas enviadas anteriormente. Las tramas sin reconocimiento pueden ser retransmitidas.

[**FRMREJ**] Se reinicia el enlace, debido a una falla en el protocolo, ya que fue enviada una trama inválida.

[**REJECT**] Se retransmiten las tramas a partir del número de secuencia recibido en la trama *<REJ&P>*.

[**SUB 1**] Este estado es el resultado de una colisión entre dos tramas *<DISC&P>*. Como se trata de tramas idénticas, se debe pasar al estado indicado (**desconectado**) después de recibir una respuesta *<UA&F>* o cuando expira el timer *T1*. Todos los otros posibles eventos son ignorados.

[**SUB**] Este estado es el resultado de una colisión entre dos tramas *<SABM>* como se trata de tramas idénticas, se debe pasar al estado indicado (**conectado**) después de recibir una respuesta *<UA&F>* o cuando expira el timer *T1*. Todos los otros posibles eventos son ignorados.

Descripción de la tabla de estados

Notación:

[**ESTADO**] Una palabra entre [], define un posible estado. por ejemplo, [**CONNECT**] significa que el estado es de conectado.

{**TRAMA**} Una palabra entre { }, indica el arribo de una trama. Por ejemplo, {1} indica que se recibió una trama de datos.

<TRAMA> Una palabra entre < >, indica que se tiene que enviar una trama. Por ejemplo <DISC> significa que se tiene que enviar una trama de *solicitud de desconexión*. Si se indica <DISC&P>, significa que se tiene que enviar una trama de *solicitud de desconexión* con el bit P=1.

"MENSAJE" Una palabra entre comillas " " indica que se debe de enviar un aviso a la capa de red.

ini T1 Indica que el timer T1 debe ser reiniciado. Si estaba detenido, se arranca, y si estaba corriendo solo se reinicia.

stop T1 Se debe detener el timer T1.

P_bit Checa si P=1 en una trama.

F_bit Checa si F=1 en una trama.

Mensajes para la capa de red

"ERROR" Es un mensaje que se le pasa a la capa de Red, para avisarle que ocurrió un ERROR. Estos errores no los puede resolver el protocolo.

"NO_CONNECT" Se le avisa a la capa de Red que no se puede establecer la conexión.

"DISCONNECT" Se le avisa a la capa de Red que el enlace ha sido desconectado.

"COLLISION" Se le avisa a la capa de Red que ocurrió una colisión entre dos tramas U.

"DATA" Cuando se recibe una trama de datos correcta, se pasan los datos a la capa de RED.

"BUSY" Se le pide a la capa de Red que espere un momento, mientras se resuelve algún estado ocupado. por ejemplo, que la ventana de transmisión se encuentre saturada con tramas no reconocidas.

Los detalles de las funciones para cada una de las localidades de la tabla se presentan a continuación, utilizando un lenguaje propio (*pseudo-c*)

ESTADO		
EVENTO	FUNCION	COMENTARIOS

En el apéndiceA se muestran los diferentes estados de la tabla de funciones.

1.9.2 INTERFACES

Las interfaces del nivel físico se utilizan para conectar dispositivos de usuario al circuito de comunicaciones. Para llevar a cabo esta importante función, en la mayoría de las especificaciones relativas a interfaces de nivel físico se describen cuatro atributos de la interfaz. Los atributos eléctricos, que son los que determinan los niveles de tensión y la temporización de los cambios eléctricos que representan los unos y ceros. Muchos de los protocolos de nivel físico clasifican estas funciones en cuatro grupos: control, sincronismo, datos y tierra o referencia. Los atributos mecánicos describen los conectores y los hilos de la interfaz. Por lo general todas las líneas de datos, de señalización y de control están incluidas en un mismo cable, y se conectan a enchufes terminadores situados en ambos extremos del cable. Los atributos inherentes a estos describen lo que deben hacer los conectores, y la secuencia de eventos necesaria para llevar a cabo la transferencia efectiva de datos a través de la interfaz.

Interfaz RS-232-C

RS-232-C es una interface serie dentro de la cual están definidos con todo detalle los niveles de señales y la asignación de pines (conector, patilla) incluyendo el tipo de conector (conector tipo miniatura D de 25 pines). Estas especificaciones son proporcionadas, según las normas de la Asociación de Industrias Electrónicas (EIA).

La RS-232-C es una interface serie bidireccional con la cual podemos transmitir datos a una velocidad de 19,800 bps.

En las especificaciones del interfaz RS-232-C (V.24 y V.28 del CCITT) se describen cuatro funciones del mismo.

- *Definición de las señales de control que atraviesan la interface*
- *Movimiento de los datos de usuario a través de la interface*
- *Transmisión de las señales de tiempos necesarias para sincronizar el flujo de datos.*
- *Conformación de las características eléctricas concretas de la interface*

RS-232-C transmite los datos mediante cambios en los niveles de tensión. Un 0 binario se representa como un nivel de tensión comprendido entre +3 y +12 volts, mientras que un 1 binario se expresa como un nivel comprendido entre -3 y -12 volts.

La longitud del cable RS-232 depende de las características eléctricas del mismo, aunque algunos fabricantes prohíben longitudes superiores a 16 metros. La norma internacional V.28 establece un interfaz eléctrico similar al RS-232.

En la figura 1.9.2 se muestran los circuitos del RS-232-C, y en la figura 1.9.2-a se muestra el tipo de conector utilizado que cuenta con 25 pines. No se utilizan la totalidad de los 25 pines.

A continuación se describen las funciones de cada uno de los pines de la interfaz RS232-C:

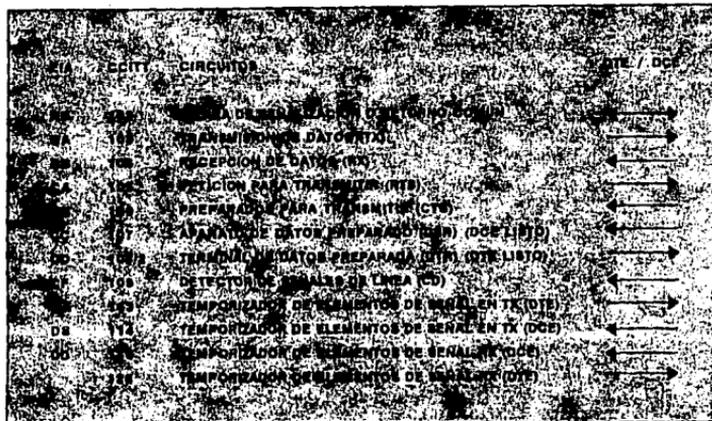


Figura 1.9.2 Circuitos de la interfaz RS-232-C

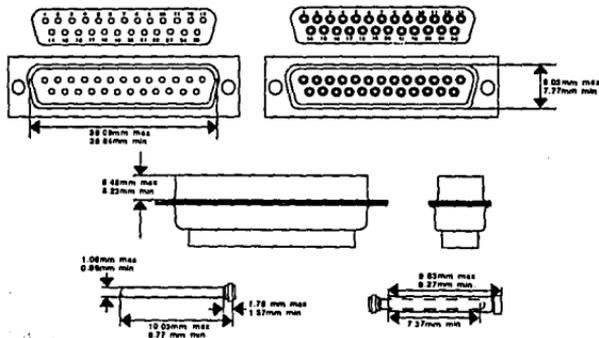


Figura 1.9.2-a Conector de la interfaz RS-232-C

Pin 1 (*Protective Ground*) PG-Circuito AA: El conductor está conectado eléctricamente al chasis del equipo.

Pin 7 (*Signal Ground/Common Return*) SG-Circuito AB: Tierra de señal: tierra común a todos los circuitos. Establece la referencia de potencial de tierra para el resto de los pines, únicamente es un circuito de referencia común.

Pin 2 (*Transmitted Data*) Tx-Circuito BA: Señales de datos que se transmiten desde el DTE hasta el DCE. Estas son las señales que representan los datos del usuario propiamente.

Pin 3 (*Received data*) Rx-Circuito BB: Señales de datos del usuario que se transmiten desde el DCE hasta el DTE.

Pin 4 (*Request to Send*) RTS-Circuito CA: Señal dirigida desde el DTE hasta el DCE. Este circuito notifica al DCE que el DTE dispone de datos para transmitir.

Pin 5 (*Clear to Send*) CTS-Circuito CB: Señal proveniente del DCE, con la que se indica al DTE que ya puede transmitir sus datos. La señal CTS puede activarse al recibir una señal portadora en línea procedente del módem remoto. La temporización del circuito *CB* varía de un módem a otro.

Pin 6 (*Data Set Ready*) DSR-Circuito CC: Señal procedente del DCE, con la que se indica una de las siguientes condiciones: (a) que la máquina está descolgada, es decir, conectada al canal de una línea conmutada, (b) que el DCE está en modo de transmisión de datos, (c) que el DCE ha completado las funciones de sincronización y responde con tonos.

Pin 20 (*Data Terminal Ready*) DTR-Circuito CD: Señal proveniente del DTE, con la que se indica que el sistema de cómputo está encendido, la línea *CD* permanecerá activada siempre que el equipo esté listo para transmitir o para recibir datos. En configuración conmutada, una señal de timbre procedente del nodo remoto suele activar el *CD*. *CD* mantiene el canal en condición de conectado.

Pin 22 (*Ring Indicator*) RI-Circuito CE: Señal procedente del DCE, con la que se indica que está recibiendo una señal de timbre a través de un canal conmutado.

Pin 8 (*Received Line Signal Detector*) DCD-Circuito CF: Señal procedente del DCE, con la que se indica que este ha detectado la señal portadora generada por el módem remoto. También se conoce como detección de portadora en línea (*DCD- Data Carrier Detect*).

Pin 21 (*Signal Quality Detector*) SQ-Circuito CG: Señal procedente del DCE, con la que se indica que la señal recibida tiene la calidad suficiente para suponer que no ha aparecido ningún error.

Pin 23 (*Data Signal Rate Selector*) SR(DTE)-SI(DCE)-Circuito CH y CI: Señales procedentes de DTE y del DCE, respectivamente, que indican la velocidad de señalización de los datos, en las máquinas dotadas de velocidad dual. Algunos dispositivos son capaces de transmitir a velocidades binarias variables.

Pin 24 (*Transmitter Signal Element Timing-DTE*) Circuito DA: Señales procedentes del DTE que proporcionan la temporización a las señales de datos que están siendo transmitidas por el circuito *BA* (Datos transmitidos) hacia el DCE. El DTE se

encarga de generar esta señal; si es el DCE el que genera el sincronismo, el circuito utilizado es el *DB*.

Pin 15 (Transmitter Signal Element Timing-DCE) Circuito DB: Señales procedentes del DCE que proporcionan la temporización a las señales de datos que están siendo transmitidas hacia el DCE a través del circuito *BA* (Datos Transmitidos). El que genera esta señal es el DCE; si es el DTE el que proporciona el sincronismo, el circuito empleado es el *DA*.

Pin 17 (Receiver Signal Element Timing-DCE) Circuito DD: Señales procedentes del DCE que proporcionan al DTE la temporización necesaria para las señales de datos que estén siendo recibidas por el circuito *BB* (Datos Recibidos).

Además de estos circuitos, en RS-232-C se definen otros cinco circuitos designados como canales secundarios: *SCA*, *SCB*, *SCF*, *SBA*, y *SBB*. Los circuitos restantes se utilizan para funciones de prueba o simplemente no se utilizan.

RS-232-C está clasificada como una interfaz no equilibrada, ya que los niveles de tensión se detectan en el receptor comprobando la diferencia de tensión existente entre el circuito de señal y la tierra de señal (circuito *AB*). Como es lógico el hilo presenta una cierta resistencia eléctrica, lo cual origina una caída de tensión entre ambos extremos del mismo. El voltaje que detectará el receptor no será el mismo que puso el transmisor en la línea. Si esta diferencia de potencial es pequeña, no originará ningún error. Sin embargo una señal de +5 volts que sufra una caída de tensión de +3 volts aparecerá en el receptor con un nivel de +2 volts, lo cual entra en una región indefinida de transición. Si la caída de tensión fuese de -10 voltios, el receptor vería un 1 en donde debería detectar un 0.

Para evitar estos problemas, se han diseñado otras interfaces que siguen el esquema equilibrado (tal es el caso del RS-422), donde un circuito toma como referencia otro circuito y no una determinada referencia o tierra.

Especificaciones eléctricas

Las especificaciones eléctricas de la interfaz RS-232 permiten transferir datos con una velocidad máxima de 20 Kbps, recomendándose que la longitud del cable de la interfaz, no sobrepase los 15 metros. La figura 1.9.2-b se muestra un circuito equivalente de los circuitos de enlace tipo V.24/V.28. Las características eléctricas de estos circuitos son las siguientes:

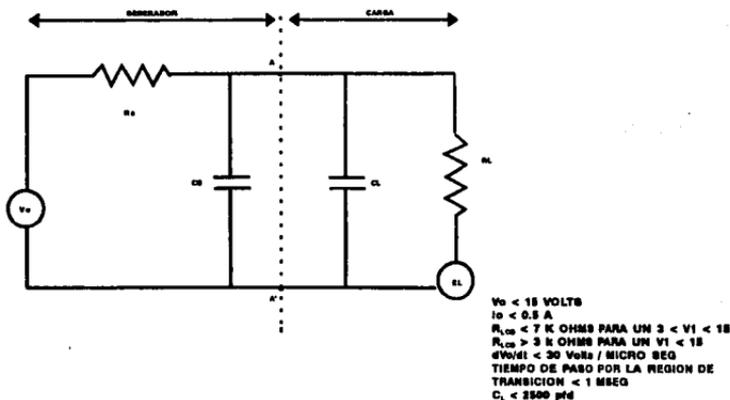


Figura 1.9.2-b Circuito equivalente de V.24 / V.28

- La impedancia del lado de la carga debe tener una resistencia R_o de valor comprendido entre 3000 y 7000 ohms.

- La capacidad en paralelo, asociada con la carga, no debe exceder de 25 pF. La componente reactiva no debe ser inductiva.

- La tensión puesta por el generador en el punto de demarcación A-A' debe ser como mínimo de 5 volts y como máximo de 15 volts, con polaridad negativa para un "1" lógico o un circuito abierto, y positiva para un "0" lógico o un circuito cerrado.

- El receptor debe funcionar adecuadamente cuando detecte una tensión de entrada de 3 volts, de la polaridad correspondiente al nivel lógico o al estado del circuito.

- La tensión que el receptor ponga en la línea de enlace, no debe exceder de 2 volts, con cualquier polaridad.

Interfaz V.24

Esta norma incluye las definiciones de los canales (líneas) que unen los DTE's y los DCE's. En RS-232-C se emplean distintos identificadores para los canales, pero las funciones que éstos realizan son muy similares. En V.24 están definidos más canales que en RS-232-C, ya que existen otras interfaces estándar que también emplean las normas V.24. En cierto sentido RS-232-C puede considerarse un subconjunto de V.24. En la figura 1.9.2-c se muestran todos los circuitos que tiene V.24. El tipo de conector utilizado para esta interfaz es el mismo que se utiliza para la interfaz RS-232-C mostrado en la figura 1.9.2.1-a.

Número del circuito de enlace	Denominación del circuito de enlace	Tierra	Datos		Control		Temporización	
			Del ETCD	Hacia el ETCD	Del ETCD	Hacia el ETCD	Del ETCD	Hacia el ETCD
102	Tierra de señalización o retorno común	X						
102a	Retorno común del ETD	X						
102b	Retorno común del ETCD	X						
102c	Retorno común	X						
103	Transmisión de datos			X				
104	Recepción de datos		X					
105	Petición de transmitir					X		
106	Preparado para transmitir				X			
107	Aparato de datos preparado				X			
108/1	Conecte el aparato de datos a la línea					X		
108/2	Terminal de datos preparado					X		
109	Detector de señales de línea recibidas por el canal de datos				X			
110	Detector de la calidad de las señales de datos				X			
111	Selector de velocidad binaria (ETD)					X		
112	Selector de velocidad binaria (ETCD)				X			
113	Temporización para los elementos de señal en la transmisión (ETD)							X
114	Temporización para los elementos de señal en la transmisión (ETCD)							X
115	Temporización para los elementos de señal en la recepción (ETCD)							X
116/1	Comutación de seguridad en modo directo					X		
116/2	Comutación de seguridad en modo directo autorizado					X		
117	Indicador de instalaciones de reserva				X			
118	Transmisión de datos por el canal de retorno			X				
119	Recepción de datos por el canal de retorno		X					
120	Transmita señales de línea por el canal de retorno					X		
121	Canal de retorno preparado				X			
122	Detector de señales de línea recibidas por el canal de retorno				X			
123	Detector de la calidad de las señales en el canal de retorno				X			
124	Selección de grupos de frecuencias					X		
125	Indicador de llamadas				X			
126	Selección de la frecuencia de transmisión					X		
127	Selección de la frecuencia de recepción					X		
128	Temporización para los elementos de señal en la recepción (ETD)							X
129	Petición de recibir					X		
130	Transmita el tono por el canal de retorno					X		
131	Temporización para los caracteres recibidos						X	
132	Retorno al modo «no datos»					X		
133	Preparado para recibir					X		
134	Datos recibidos presentes				X			
136	Nueva señal				X			
140	Conexión en bucle/Prueba de mantenimiento				X			
141	Conexión en bucle local				X			
142	Indicador de prueba				X			
191	Respuesta vocal transmitida					X		
192	Respuesta vocal recibida				X			

Figura 1.9.2-c Circuitos de la interfaz V.24

Recomendación V.35 CCITT (Interfaz V.35)

V.35 es el estándar del CCITT para transmisión de datos a 48 Kbps utilizando circuitos primarios en grupo de 60 a 108 KHz.

Esta interfaz típicamente es utilizada en el DTE o DCE para transferencias a alta velocidad. V.35 es una interfaz balanceada de doble corriente para el intercambio de relojes y datos.

Por diseño la interfaz V.35 del CCITT la hace capaz de transmitir datos a velocidades más altas que RS-232-C. V.35 tiene la capacidad de rechazar el ruido de modo común.

Las especificaciones de la interfaz son las siguientes:

- Máxima velocidad: 64 Kbps
- Longitud máxima del cable:

@ 48 Kbps 175 feet

@ 56 Kbps 150 feet

@ 64 Kbps 125 feet

El cable puede ser de par trenzado balanceado multipar con características de impedancia de 100 Ohms \pm 20% de la frecuencia fundamental de la señal de reloj.

Esta es una de las interfaces más utilizadas en la transmisión de datos en redes públicas y privadas a alta velocidad, otra de las más utilizadas es la RS-232 (V.24) a una velocidad no mayor de 20 Kbps.

Considerando que en los circuitos arrendados se emplean y se emplearán numerosos modems con características destinadas a satisfacer las necesidades de las Administraciones y los usuarios, esta recomendación no limita en modo alguno, en lo que respecta a los circuitos arrendados, la utilización de cualesquiera otros modems.

Con este modem sólo podrá utilizarse la frecuencia piloto de referencia de grupo primario de 104,08 kHz.

Campo de aplicación

La familia de modems a que se refiere esta Recomendación tendrá las aplicaciones siguientes:

- a).- Transmisión de datos entre clientes por circuitos arrendados.*
- b).- Transmisión de un tren de bits global múltiplex por redes públicas de datos.*
- c).- Prolongación de un canal MIC a 64 Kbps por sistemas analógicos.*
- d).- Transmisión de un sistema de señalización por canal común para telefonía o redes públicas de datos.*

e).- Prolongación de un circuito de un solo canal por portadora a partir de una estación terrena de telecomunicaciones por satélite.

f).- Transmisión de un tren de bits global múltiplex para señales de telegrafía y datos.

Las características principales recomendadas para la explotación simultánea síncrona bidireccional son las siguientes:

Velocidades binarias

Aplicación a)

La velocidad binaria recomendada (igual a la velocidad binaria por cliente) para aplicaciones internacionales es síncrona a 48 kbps. Para ciertas aplicaciones nacionales o por acuerdo bilateral entre Administraciones, pueden utilizarse las velocidades siguientes: 56, 64 y 72 kbps.

Aplicaciones b), c) y d)

Para estas aplicaciones, la velocidad binaria recomendada es síncrona a 64 Kbps.

Para las redes síncronas en que sea necesario transmitir de un extremo a otro la temporización a 8 kHz y a 64 kHz, conjuntamente con datos a 64 Kbps, se sugiere una velocidad binaria de 72 Kbps en la línea.

El correspondiente formato de datos deberá obtenerse insertando un bit *E* suplementario antes del primer bit de cada octeto del tren de datos a 64 kbps.

La utilización de los bits auxiliares *H* se determina mediante acuerdo bilateral entre Administraciones. Cuando no se utilicen, se asignará a los bits *H* el valor 1. La estrategia de alineación de trama no se especifica en esta Recomendación.

Cuando no sea necesaria la transmisión de la temporización a 8 kHz, la velocidad binaria en línea puede ser de 64 Kbps.

Aplicación e)

La velocidad binaria recomendada (igual a la velocidad binaria por cliente) para aplicaciones internacionales es síncrona a 48 Kbps. Para ciertas aplicaciones nacionales o por acuerdo bilateral entre Administraciones puede utilizarse la velocidad de 56 Kbps.

Aplicación f)

La velocidad binaria recomendada es síncrona a 64 Kbps.

La tolerancia admisible para todas las velocidades binarias mencionadas es de $\pm 5 \times 10^{-5}$ bit/s.

Observación - Hay equipos en servicio que sólo funcionarán satisfactoriamente con una tolerancia máxima para la velocidad binaria de ± 1 bit/s.

Señal transmitida en línea en la banda de 60 a 108 kHz (a la salida de línea del modem).

En la banda de 60 a 108 kHz, la señal transmitida en línea corresponderá a una señal de banda lateral única con su frecuencia portadora de $100 \text{ kHz} \pm 2 \text{ Hz}$.

La correspondencia entre las señales binarias a la salida real o hipotética del aleatorizador y los estados de las señales transmitidas en línea deberán ajustarse a lo previsto en la Recomendación V.1 para la modulación de amplitud, es decir, estado *CERRADO* para 1 binario, y estado *ABIERTO* para 0 binario.

En un caso práctico, esto significa que las condiciones de tensión o de ausencia de tensión a que dará lugar la rectificación de onda completa de la señal de línea demodulada corresponderán, respectivamente, a las señales 1 binario y 0 binario a la salida del aleatorizador.

La amplitud del espectro teórico de la señal transmitida en línea, que corresponde al símbolo 1 binario que aparece a la salida del aleatorizador, debe ser sinusoidal con ceros y máximos a las frecuencias que se indican a continuación.

Velocidad binaria (Kbits/s)	Ceros a (KHz)	Máximos a (KHz)
64	68 y 100	84
48	76 y 100	88
56	72 y 100	86
72	64 y 100	82

En la banda de 60 a 108 kHz, la distorsión de amplitud del espectro real con relación al espectro teórico, no debe ser superior a ± 1 dB; la distorsión por retardo de grupo no deberá ser superior a 8 microsegundos.

Estos dos requisitos deben cumplirse en cada una de las bandas de frecuencias centradas en cada uno de los máximos mencionados y cuya anchura sea igual al 80% de la banda de frecuencias utilizada.

El nivel nominal de la señal de datos transmitida en línea debe ser de -6 dBm. El valor real deberá estar comprendido en un intervalo de ± 1 dB con relación al nivel nominal.

A la señal transmitida en línea debe agregarse una portadora piloto de la misma frecuencia que la portadora modulada en el transmisor, con un nivel de $-9 \pm 0,5$ dB con relación al nivel real mencionado. La fase relativa entre la portadora modulada y la portadora piloto en el transmisor no debe variar en función del tiempo.

Señal piloto de referencia de grupo primario

Deben preverse medios adecuados para la inserción de una señal piloto de referencia de grupo primario de 104,08 kHz, producida por una fuente exterior al modem.

Características de línea

El modem está destinado a funcionar satisfactoriamente en enlaces en grupo primario conforme con lo especificado en interferencias entre canales adyacentes, a velocidades binarias de 48 a 64 Kbps.

Para enlaces en grupo primario que comprendan más de tres secciones de grupo primario o cuando se requiere una velocidad binaria de 72 Kbps, no son adecuadas las características indicadas en las interferencias entre canales adyacentes.

Por otra parte, el hecho de que un enlace en grupo primario cumpla los requisitos indicados en interferencias entre canales adyacentes, no garantiza necesariamente el funcionamiento adecuado del modem, ni el hecho de no cumplirlos implica que el funcionamiento sea inadecuado.

La inclusión en el modem de un ecualizador de adaptación automática hará posible el funcionamiento adecuado en un circuito de constitución similar a la del circuito ficticio de referencia especificado en las características de línea a velocidades binarias de hasta 64 Kbps.

Interfaces

Interfaz para las aplicaciones a), e) y f) en el Campo de aplicación

Lista de los circuitos de enlace:

Circuito de enlace (véase nota 1)	Nota
102 Tierra de señalización o retorno común	véase la nota 2
102a Retorno común del DTE	véase la nota 3
102b Retorno común del DCE	véase la nota 3
103 Transmisión de datos	
104 Recepción de datos	

105 Petición de transmitir	
106 Preparado para transmitir	
107 Aparato de datos preparado	
109 Detector de señales de línea recibidas por el canal de datos	
113 Temporización para los elementos de señal en la transmisión (origen DTE)	
114 Temporización para los elementos de señal en la transmisión (origen DCE)	
115 Temporización para los elementos de señal en la recepción (origen DCE)	
140 Conexión en bucle/prueba de mant.	véase nota 2
141 Conexión en bucle local	véase nota 2
142 Indicador de prueba	véase nota 2

Nota 1 - Cuando el módem está instalado en la estación de repetidores, el interfaz, en las instalaciones de abonado no debe estar sujeto a restricciones relativas a la velocidad binaria ni a la provisión de canal telefónico. El método utilizabile a tal efecto depende del reglamento nacional.

Nota 2 - Puede haber equipos en servicio que no incluyan estos circuitos.

Nota 3 - Los circuitos de enlace 102a y 102b se requieren cuando utilizan las características eléctricas definidas en la Recomendación V.10.

A continuación se describirán cada uno de los circuitos de la tabla anterior.

Circuito 102 - Tierra de señalización o retorno común.- Este conductor establece el retorno común de la señal para circuitos de enlace asimétricos con características eléctricas conformes con la Recomendación V.28, y el potencial de referencia en corriente continua para los circuitos de enlace definidos en las Recomendaciones V.10, V.11 y V.35.

En el DCE, este circuito debe terminar en un solo punto que pueda conectarse a la tierra de protección por medio de una pletina. Esta pletina se puede conectar o retirar durante la instalación de acuerdo con la reglamentación de seguridad vigente o para

reducir al mínimo la introducción de ruido en los circuitos eléctricos. Debe tenerse cuidado de evitar que se cierren bucles a través de tierra por los que circulen corrientes elevadas.

Circuito 102a - Retorno común del DTE.- Este conductor se conecta al retorno común del circuito del DTE y se usa como potencial de referencia para los receptores del DCE provistos de circuitos de enlace asimétricos del tipo V.10.

Circuito 102b - Retorno común del DCE- Este conductor se conecta al retorno común del circuito del DCE y se usa como potencial de referencia para los receptores del DTE provistos de circuitos de enlace asimétricos del tipo V.10.

Nota - Cuando se utilice en un mismo interfaz una combinación de circuitos de tipos V.10 y V.11, deben preverse separadamente circuitos 102a y 102b de retorno común tipo V.10, y un circuito 102 para potencial de referencia en corriente continua, o una conexión de tierra de protección, según sea necesario.

Circuito 103 - Transmisión de datos.- Sentido: Hacia el DCE: Por este circuito, se transfieren hacia el DCE las señales de datos procedentes del DTE.

1).- Que se han de transmitir por el canal de datos a una o más estaciones de datos distantes.

- 2).- Que se han de pasar al DCE para pruebas de mantenimiento bajo el control del DTE, o
- 3).- Que son necesarias para la programación o el control de los DCE de llamada automática serie.

Circuito 104 - Recepción de datos.- Sentido: Del DCE: Por este circuito se transfieren al DTE las señales de datos generadas por el DCE.

- 1).- En respuesta a las señales de línea recibidas de una estación distante,
- 2).- En respuesta a las señales de prueba de mantenimiento del DTE, o
- 3).- En respuesta a (o como un eco de) señales de programación o de control del DTE, cuando se ha instalado en el DCE la facilidad de llamada automática serie.

Nota - Las condiciones de recepción de las señales de prueba de mantenimiento se especifican con el circuito 107.

Circuito 105 - Petición de transmitir.- Sentido: Hacia el DCE: Las señales transmitidas por este circuito controlan la función de transmisión por el canal de datos del DCE.

El estado CERRADO hace que el DCE pase al modo de transmisión por el canal de datos.

El estado ABIERTO hace que el DCE pase al modo de no transmisión por el canal de datos, una vez que se han transmitido todos los datos transferidos por el circuito 103.

Circuito 106 - Preparado para transmitir.- Sentido: Del DCE: Las señales transmitidas por este circuito indican si el DCE está preparado para aceptar señales de datos para su transmisión por el canal de datos o con fines de prueba de mantenimiento bajo el control del DTE.

El estado CERRADO indica que el DCE está preparado para aceptar señales de datos procedentes del DTE.

El estado ABIERTO indica que el DCE no está preparado para aceptar señales de datos procedentes del DTE.

Circuito 107 - Aparato de datos preparado.- Sentido: Del DCE: Las señales transmitidas por este circuito indican si el DCE está preparado para funcionar.

El estado CERRADO, cuando el circuito 142 está en estado ABIERTO o no existe, indica que el convertidor de señales o equipo similar está conectado a la línea y que el DCE está preparado para intercambiar otras señales de control con el DTE con el fin de iniciar la transferencia de datos.

El estado CERRADO combinado con el estado CERRADO del circuito 142, indica que el DCE está preparado para intercambiar señales de datos con el DTE para pruebas de mantenimiento.

El estado ABIERTO, combinado con el estado CERRADO del circuito 106, indica que el DCE está preparado para intercambiar señales de datos asociadas con la programación o el control de los DCE de llamada automática serie.

El estado ABIERTO, combinado con el estado ABIERTO del circuito 106, indica:

- 1).- Que el DCE no está preparado para funcionar en la fase de transferencia de datos.
- 2).- Que el DCE ha detectado una condición de avería (que puede depender de la red o del DCE) que ha durado más de un cierto periodo de tiempo fijo, dependiendo dicho periodo de tiempo de la red o,
- 3).- Que en funcionamiento con una red conmutada, se ha detectado una indicación de desconexión procedente de la estación distante de la red.

El estado de ABIERTO, junto con el estado de CERRADO en el circuito 142, indica que el DCE interviene en pruebas procedentes de la red o de la estación distante.

Circuito 109 - Detector de señales de línea recibidas por el canal de datos.-

Sentido: Del DCE: Las señales transmitidas por este circuito indican si las señales en línea recibidas por el canal de datos están o no dentro de los límites especificados en la Recomendación pertinente para el DCE.

El circuito 109 puede estar también en el estado CERRADO durante el intercambio de señales de datos, entre el DCE y DTE, asociado con la programación o control de los DCE de llamada automática serie.

El estado ABIERTO indica que no están dentro de los límites apropiados.

Circuito 113 - Temporización para los elementos de señal en la transmisión (origen: DTE).- Sentido: Hacia el DCE: Las señales transmitidas por este circuito sirven para facilitar al DCE la temporización para los elementos de señal.

Los estados CERRADO y ABIERTO deben mantenerse teóricamente durante periodos de tiempo iguales y la transición del estado CERRADO al ABIERTO debe teóricamente indicar la posición del centro de cada elemento de señal en el circuito 103.

Circuito 114 - Temporización para los elementos de señal en la transmisión (origen: DCE).- Sentido: Del DCE.: Las señales transmitidas por este circuito facilitan al DTE la temporización para los elementos de señal.

Los estados CERRADO y ABIERTO deben mantenerse teóricamente durante periodos de tiempo iguales. El DTE debe suministrar por el circuito 103 una señal de datos en la que las transacciones entre los elementos de señal se produzcan teóricamente al mismo tiempo que las transacciones del estado ABIERTO al CERRADO del circuito 114.

Circuito 115 - Temporización para los elementos de señal en la recepción (origen: DCE).- Sentido: Del DCE: Las señales transmitidas por este circuito facilitan el DTE la temporización para los elementos de señal.

Los estados CERRADO y ABIERTO deben mantenerse teóricamente durante periodos de tiempo iguales, y la transición del estado CERRADO al ABIERTO debe teóricamente indicar la posición del centro de cada elemento de señal en el circuito 104.

Circuito 140 - Conexión en bucle/Prueba de mantenimiento.- Sentido: Hacia el DCE: Las señales transmitidas por este circuito se utilizan para iniciar y liberar la conexión en bucle y para otras condiciones de prueba de mantenimiento en los DCE.

El estado CERRADO causa la iniciación del estado de prueba de mantenimiento.

El estado ABIERTO causa la anulación del estado de prueba de mantenimiento.

Circuito 141 - Conexión en bucle local.- Sentido: Hacia el DCE: Las señales transmitidas por este circuito se utilizan para controlar el estado de prueba en bucle 3 en el DCE local.

El estado CERRADO del circuito 141 causa el establecimiento del estado de prueba en bucle 3 en el DCE local.

El estado ABIERTO del circuito 141 causa la anulación del estado de prueba en bucle 3 en el DCE local.

Circuito 142 - Indicador de prueba.- Sentido: Del DCE: Las señales transmitidas por este circuito indican si existe o no una condición de mantenimiento.

El estado CERRADO indica que en el DCE existe una condición de mantenimiento que excluye la recepción o transmisión de señales de datos desde o hacia un DTE distante.

El estado ABIERTO indica que el DCE no está en una condición de prueba de mantenimiento.

Se recomienda emplear las características eléctricas especificadas en la Recomendación V.10 y/o la V.11, junto con el conector y el plan de asignación de terminales especificados en la norma ISO 4902.

- i).- En lo que concierne a los circuitos 103, 104, 113, 144 y 115, los generadores deben ajustarse a la Recomendación V.11.
- ii).- En el caso de los circuitos 105, 106, 107 y 109, los generadores deben ajustarse a la Recomendación V.10 o, alternativamente, a la Recomendación V.11. Los receptores deben ajustarse a la Recomendación V.10, categoría 1, o V.11, sin terminación.
- iii).- En el caso de todos los demás circuitos, se aplica la Recomendación V.10, debiendo tener los receptores la configuración especificada en la Recomendación V.10 para la categoría 2.

Observación - Durante un período provisional podrán utilizarse, facultativamente, el conector y el plan de asignación de contactos especificados en la norma ISO 2593, conocidos comúnmente por <interfaz V.35>. En este caso, las características eléctricas pueden ser, ya sea las V.11 para los circuitos 103, 104, 113, 114 y 115, junto con las V.10 (receptores configurados como se especifica para la categoría 2) para los demás circuitos, o bien las V.35, apéndice II, junto con las V.28, respectivamente.

Interfaz para las aplicaciones b), c) y d) indicadas en el campo de aplicación

Para las aplicaciones b), c) y d), las interfaces pueden ajustarse a los requisitos funcionales indicados para la interfaz a 64 Kbps. En estos casos, las características eléctricas pueden ajustarse a lo especificado en umbrales y tiempos de respuesta del circuito 109.

Si no se transmite una señal de temporización de 8 kHz de extremo a extremo, el modem no utilizará ni proporcionará una señal de temporización de 8 kHz a través del interfaz.

Umbrales y tiempos de respuesta del circuito 109***Umbrales***

Para un nivel de señal de datos en línea superior a -13 dBm el circuito 109 está en estado CERRADO; para un nivel inferior a -18 dBm, el circuito 109 está en estado abierto ABIERTO.

Observación - Los niveles correspondientes para la portadora piloto son: -22 dBm y -27 dBm, respectivamente.

No se especifica el estado del circuito 109 para los niveles comprendidos entre los niveles arriba especificados, pero el detector de señales debe presentar un efecto de histéresis tal que el nivel en que se produzca la transición del estado ABIERTO al CERRADO sea por lo menos 2 dB superior al correspondiente a la transición del estado CERRADO al ABIERTO.

Tiempos de respuesta

Paso del estado ABIERTO al CERRADO: de 15 ms a 150 ms.

Paso del estado CERRADO al ABIERTO: de 5 ms a 15 ms.

Los tiempos de respuesta del circuito 109 son los intervalos que transcurren entre la aplicación o supresión de una señal de línea en los terminales de recepción del modem, y la aparición del correspondiente estado CERRADO o ABIERTO en el circuito 109.

El nivel de la señal de línea debe encontrarse en un valor que se sitúe entre 3 dB por encima del umbral real del detector de señales de línea en la recepción y el nivel máximo admisible de la señal en la recepción.

1.9.3 NORMATIVIDAD NACIONAL E INTERNACIONAL

Las telecomunicaciones vía satélite han tenido un desarrollo tan grande que requieren de un régimen jurídico internacional y nacional que regule adecuadamente su establecimiento, operación, uso y alcance.

El derecho de las Telecomunicaciones Satelitales está integrado por un cuerpo de normas jurídicas internacionales y nacionales que tienen por objeto regular y armonizar las actividades de la comunidad internacional y de cada uno de sus miembros, tanto en el espacio, como en la Tierra, relativas a las telecomunicaciones vía satélite.

El uso de sistemas de telecomunicaciones por satélites en la red mundial exige planificar la naturaleza y el volúmen del tráfico (telefónica, telegrafía, facsimil, transmisión de datos, televisión, etc.) que ha de cursarse, así como definir su encaminamiento, los emplazamientos y capacidades probables de las estaciones terrenas, la interferencia/compatibilidad potencial y las características generales de calidad de funcionamiento. Las cuestiones relativas a las características de funcionamiento para la telefonía, la telegrafía y las transmisiones de datos incumben al CCITT y al CCIR, en tanto que la evaluación y previsión del tráfico de telecomunicaciones y de su encaminamiento son materias que examinan la Comisión Mundial del Plan y sus Comisiones Regionales.

Las redes de telecomunicaciones por satélite han hecho posible la expansión a un ritmo cada vez más acelerado de la red mundial internacional de telecomunicaciones. Esto se demuestra por el desarrollo de la capacidad de telecomunicaciones del sistema INTELSAT, desde el lanzamiento del primer satélite "Early Bird" (Intelsat I) en 1965. El programa previsto en un principio por el CCITT comprendía una serie de centros mundiales de conmutación a través de los cuales se encaminaba el tráfico a su destino. Con los sistemas de comunicaciones por satélite se han podido soslayar muchos de esos puntos de conmutación. Al mismo tiempo el CCITT y el CCIR han establecido los requisitos y límites que deben satisfacer los medios de telecomunicación por satélite para un servicio mundial.

Así como existen una serie de normas para proteger una institución que el ser humano considera valiosa, de la misma manera puede existir un régimen jurídico en torno a los sistemas de telecomunicaciones vía satélite que regule su establecimiento, uso y control, todo con el fin de alentar el desarrollo y mejoramiento de dichos sistemas en beneficio del individuo y de la sociedad.

Las normas jurídicas juegan un papel tan importante en la vida del hombre, que de ellas depende en gran medida que una determinada conducta positiva o negativa se fomente o induzca o por el contrario se extinga o inhiba.

A nivel internacional, las principales cuestiones que plantean las telecomunicaciones vía satélite son:

- *La determinación del espacio ultraterrestre*
- *La distribución de la órbita Geostacionaria y del Espectro de Frecuencias*
- *La libertad de información vs. la codificación*
- *Los satélites de radiodifusión directa*
- *Los derechos de autor y la piratería de señales.*

A nivel nacional, a partir de 1985 con el lanzamiento de los Satélites Morelos se abre para México la era de las comunicaciones espaciales, y con ella los siguientes planteamientos jurídicos:

- Régimen constitucional de los sistemas de satélites
- Régimen legal de las estaciones terrenas transmisoras y receptoras
- Delitos en materia de vías generales de comunicación
- Lagunas de la ley en materia de piratería de señales y programas.

Ambito internacional

Hablar de telecomunicaciones vía satélite es hablar de acercamiento entre los pueblos; borrar las distancias y fronteras de información oportuna y abundante sin

necesidad de desplazarse. Pero también implica hablar del dominio del espacio, de intromisión de la soberanía nacional.

El derecho internacional debe procurar el orden de las naciones en explotación pacífica del espacio y en el uso de estos avanzados sistemas de comunicación para evitar graves conflictos a nivel mundial.

a) La delimitación del espacio extraterrestre.

Muchos han pretendido que las naciones fijen un límite convencional al espacio territorial, es decir, el espacio que esta arriba de su territorio y que se consideraría de su "propiedad".

Esto no ha sido aceptado y rige el principio de la no apropiación del espacio ultraterrestre. El espacio es intangible e infinito, no puede delimitarse. Fijar una distancia determinada sería arbitrario. Es preferible reglamentar qué tipo de actividades pueden llevarse a cabo en el espacio y con que fines, en lugar de fijar fronteras en la nada, en el vacío. En el momento que una nación realice en el espacio alguna actividad que atente contra la soberanía o seguridad de otro estado, éste puede ejercer su derecho de defensa.

b) La órbita geoestacionaria y el Espacio de Frecuencias

Como es de su conocimiento esta valiosa órbita tiene una capacidad limitada para alojar a los satélites geosíncronos. Ubicada a 35,800 kms. sobre el ecuador, es la única órbita terrestre que permite a los satélites aparecer como estacionarios respecto de un punto determinado de la Tierra.

Puesto que tiene una circunferencia limitada (de 265,000 kms), decimos que es un cinturón o franja limitada, altamente cotizada, y causa de conflictos entre los estados. Una vez más, es misión del derecho impartir orden y justicia en la asignación de "lotes" en la órbita geoestacionaria. Conforme ha avanzado la tecnología, la órbita se ha ido saturando. Se estima que su capacidad es para 550 satélites y actualmente se encuentra con más de 100 satélites en órbita. Existen organismos Internacionales como la *Unión Internacional de Telecomunicaciones* (UIT) que ha procurado intervenir en el correcto aprovechamiento de la órbita. Al efecto ha dedicado dos grandes principios:

a) El que establece que tener un satélite en órbita no da a su propietario el derecho permanente de ocuparla.

b) El que pugna por el uso económico y eficaz y el acceso equitativo de la órbita teniendo en cuenta especialmente las necesidades de los países en el desarrollo de la situación geográfica de ciertos países.

Si bien el problema de la saturación de la órbita geoestacionaria podría atenuarse con el tiempo utilizando satélites de mayor capacidad y más transpondedores, existe otro problema íntimamente vinculado, la saturación del espacio de frecuencias que provoca la interferencia de unos servicios de comunicación a otros.

La junta Internacional del Registro de Frecuencias, órgano de la UIT lleva un registro de frecuencias que usan los países de acuerdo con los acuerdos y reglamentos internacionales aplicables.

Sin embargo ni la junta de la UIT tiene la facultad de hacer la asignación de lotes orbitales y de frecuencias de modo que depende de la buena voluntad de cada Estado el

cumplimiento de las obligaciones que han contraído relativas al uso debido de las frecuencias y la no interferencia.

De conformidad con el actual reglamento de radiocomunicaciones las bandas mencionadas en la figura 1.9.3 están atribuidas al servicio fijo por satélite, en régimen de compartición con otros servicios.

Banda de frecuencias	Atribución (SFS)	Observaciones
(MHz)		
2300-2315	Enlace descendente (Región 3)	
2300-2655	Enlace descendente (Región 2)	
2655-2690	Enlace descendente/ascendente (Región 2)	
2655-2690	Enlace ascendente (Región 3)	
3400-4200	Enlace descendente	
4500-4800	Enlace descendente	
5725-5850	Enlace ascendente (Región 1)	
5850-7075	Enlace descendente	
7250-7750	Enlace descendente	
7900-8400	Enlace ascendente	
(GHz)		
10,7 - 11,7	Enlace descendente/ascendente (Región 1)	Enlace ascendente limitado a los enlaces de conexión para el SRS
11,7 - 12,3	Enlace descendente (Regiones 2 y 3)	
11,7 - 12,3	Enlace descendente (Región 2)	
12,3 - 12,5	Enlace descendente (Región 3)	Limitada a sistemas nacionales y subregionales
12,5 - 12,75	Enlace ascendente/descendente (Región 1)	
12,5 - 12,75	Enlace descendente (Región 3)	
12,7 - 12,75	Enlace ascendente (Región 2)	
12,75 - 13,25	Enlace ascendente	
14,0 - 14,8	Enlace ascendente	14,0-14,5 GHz puede utilizarse para enlaces de conexión del SRS mediante coordinación 14,5-14,8 GHz: Limitada a los enlaces de conexión del SRS
17,3 - 17,7	Enlace ascendente	
17,7 - 18,1	Enlace descendente/ascendente	Enlaces ascendentes limitados a los enlaces de conexión del SRS
18,1 - 21,2	Enlace descendente	
27,0 - 27,5	Enlace ascendente (Regiones 2 y 3)	
27,5 - 31,0	Enlace ascendente	
37,5 - 40,5	Enlace descendente	
42,5 - 43,5	Enlace ascendente	
47,2 - 50,2	Enlace ascendente	
50,4 - 51,4	Enlace ascendente	
71,0 - 75,5	Enlace ascendente	
81,0 - 84,0	Enlace descendente	
92,0 - 95,0	Enlace ascendente	
102,0 - 105,0	Enlace descendente	
149,0 - 164,0	Enlace descendente	
202,0 - 217,0	Enlace ascendente	
231,0 - 241,0	Enlace descendente	
265,0 - 273,0	Enlace ascendente	

Figura 1.9.3 Bandas atribuidas al servicio fijo por satélite

Las bandas de frecuencias utilizadas actualmente por servicios comerciales de telecomunicaciones son:

- Bandas de 4/6 GHz (3400-4200 MHz enlace descendente y 5725-7075 MHz enlace ascendente).

Estas bandas fueron las primeras utilizadas por los sistemas de satélites internacionales y nacionales. El CCIR ha formulado Recomendaciones para la utilización eficaz de estas bandas de frecuencias compartidas.

- Bandas de 11/14 GHz (10700-11700 MHz enlace descendente y 14000-14500 MHz enlace ascendente).

- Bandas de 12/14 GHz (10700-11700 MHz enlace descendente y 14000-14500 Mhz enlace ascendente). La banda descendente de 12 GHz esta atribuida al servicio fijo por satélite.

c) Libre flujo de información contra codificación

La tecnología de las comunicaciones vía satélite han hecho posible la emisión, distribución y recepción casi instantáneas de información ya sea a través de la radio, la televisión, el telégrafo, el teléfono o las redes de transmisión de datos, en todas las regiones de la Tierra por aisladas que éstas se encuentren. Es decir, los satélites de comunicaciones han borrado las fronteras nacionales.

A pesar de esta unión, existe un principio que las mantiene separadas entre sí: la soberanía estatal.

Basados en este principio de soberanía, algunos estados se inclinan por el control de la entrada de señales de radiodifusión provenientes del exterior, a su territorio nacional.

Así mismo existe una corriente contraria a la anterior, defensora de la libertad absoluta de información y expresión por encima de la soberanía estatal, conforme a la cual ningún estado tiene el derecho de impedir el libre flujo de programas extranjeros en su territorio, puesto que esto es violatorio al derecho de la información de los individuos, igualmente consagrado en la Carta de la Naciones Unidas como derecho humano.

Por último, existe una tercera postura, intermedia, partidaria del respeto a la libertad de información pero no en forma absoluta, sino admitiendo excepciones y límites.

El conflicto entre la soberanía nacional y la libertad de información ha cobrado importancia por la siguiente razón:

Si bien en la actualidad la generalidad de las telecomunicaciones vía satélite requieren de estaciones terrenas intermedias que distribuyan las señales a los receptores finales, la tecnología ha abierto la posibilidad de que se utilicen satélites de transmisión directa, es decir, aquellos que nos puedan hacer llegar los programas televisivos o radiofónicos directamente a los aparatos receptores domésticos mediante una antena parabólica muy pequeña y barata, y satélites muy potentes que hagan innecesarias las actuales estaciones terrenas intermedias.

Otra característica de la radiodifusión directa es la intención del radiodifusor de que las señales enviadas vía satélite sean recibidas por el público en general a diferencia

de las actuales transmisiones que están dirigidas exclusivamente a un determinado receptor. Es por esta innovación que se hace urgente encontrar soluciones jurídicas al problema de las transmisiones vía satélite no autorizadas por el estado receptor, conocidas también como "transmisiones piratas" o "piratería de señales".

Los medios para eliminar las señales no deseadas o piratas deben ser eficientes pero no excesivos, es decir proporcionales al daño causado por la señal piratas.

El más común es el de codificación de señales. Consiste en la transmisión de una señal ininteligible a la misma radiofrecuencia usada por el transmisor externo pero a una mayor potencia.

El problema de este mecanismo es su alto costo y la relativa efectividad en extensiones territoriales muy grandes, pues se requieren numerosos equipos para cubrir toda el área susceptible de recibir la señal no deseada, sin que se afecten territorios de terceros estados que sí desean recibir la señal.

Diferentes países se han pronunciado ante la ONU para la celebración de tratados que obligen a las partes a pedir la autorización previa del estado potencialmente receptor sin la cual no podrían efectuar sus transmisiones.

Estados Unidos, entre otros países, se ha opuesto terminantemente a tal medida argumentando que sería violatoria de su libertad de información.

Por lo que toca a la piratería en la recepción de señales que no están dirigidas al público en general, ha sido foco de atención de gobiernos, compañías distribuidoras de

programas vía cable coaxial, autores y público en general y tema de numerosos artículos periodísticos.

Ambito nacional

México ha mostrado una constante evolución en sus telecomunicaciones, más intensa que la evolución de sus normas jurídicas en esta materia.

En 1968 la creciente necesidad de sus comunicaciones llevo a México a participar en la era de los satélites artificiales.

En ese año México instaló su estación terrena Tulancingo I (y más tarde Tulancingo II y III), para enlaces internacionales con satélites de Intelsat, mediante la cual se transmitieron los XIX Juegos Olímpicos a todo el mundo.

Un año más tarde nuestro país rento capacidad del satélite de Intelsat para usos domésticos y específicamente para ampliar su comunicación telefónica, y en 1981 aumentó dicha capacidad arrendada para cubrir la creciente demanda de servicios internacionales, que la saturada red de microondas ya no podía satisfacer.

Ninguno de estos avances en materia de comunicaciones vía satélite se vió reflejado en nuestra legislación interna.

No fue sino hasta 1983 cuando fueron introducidas reformas a nuestra Constitución y leyes secundarias para incluir la grandiosa actividad en la que México incursionaría poco más tarde con el lanzamiento de su Sistema de Satélites Morelos en 1985.

En primer lugar el artículo 28 de nuestra Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos fue reformado para incluir la comunicación vía satélite como actividad exclusiva, y estratégica del Estado.

Esto significa que ninguna otra persona o institución que no sea el Estado puede desempeñar esta actividad.

Como consecuencia de esta reforma de Ley las Vías Generales de Comunicación que es el ordenamiento jurídico que regula todo lo relativo a las comunicaciones y transportes en nuestro país, también fue reformada.

Especialmente su artículo 11 fue adicionado para incluir la comunicación vía satélite, y reformado nuevamente en enero de 1988. Por su importancia se transcribe este precepto a continuación.

"Art. 11.- ...También quedan reservados en forma exclusiva al Gobierno Federal, el establecimiento de los sistemas de satélites, su operación y control y la prestación del servicio público de conducción de señales por satélite, así como las estaciones terrenas con enlaces internacionales para comunicación vía satélite. la Secretaría de Comunicaciones y Transporte establecerá, de acuerdo a esta Ley y sus Reglamentos, las bases conforme a las cuales se llevará a cabo la instalación, operación y control de estaciones terrenas."

Este artículo solo reserva al Gobierno Federal lo relativo al establecimiento del segmento espacial, el servicio público de conducción de señales así como las estaciones terrenas con enlaces internacionales vía satélite.

Por exclusión, las estaciones terrenas receptoras no están reservadas al Gobierno Federal, aunque sí sujetas a las bases que dicte la Secretaría.

Conforme al Reglamento del citado artículo 11, promulgado en agosto de 1985, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes puede autorizar a particulares permisionarios o concesionarios del servicio de telecomunicaciones, el establecimiento de estaciones terrenas para la conducción de señales y enlaces internacionales en caso de que dichos servicios no puedan ser proporcionados a través de la red nacional.

En tal caso las personas así autorizadas deberán ceder en favor de la Nación las estaciones terrenas y equipo que hayan instalado y seguir el procedimiento que señala el Reglamento para obtener la referida autorización.

El mismo reglamento también hace referencia a las estaciones terrenas receptoras o antenas parabólicas domésticas las cuales no requieren de permiso de la Secretaría para ser instaladas pero sí deben ser registradas y pagar derechos anualmente.

Sin embargo existen muchos otros supuestos no previstos ni por la Ley ni por su Reglamento y que deben ser contemplados por nuestros legisladores.

En nuestro actual Código Penal está tipificado el sabotaje de vías de comunicación como delito contra la seguridad de la Nación. Sin embargo solo se refiere al daño, destrucción o entorpecimientos ilícitos, así que sería conveniente agregar otros como la intercepción o interrupciones ilícitas. Igualmente, el delito de ataque a las vías de comunicación en el Código Penal comprende supuestos muy limitados, insuficientes.

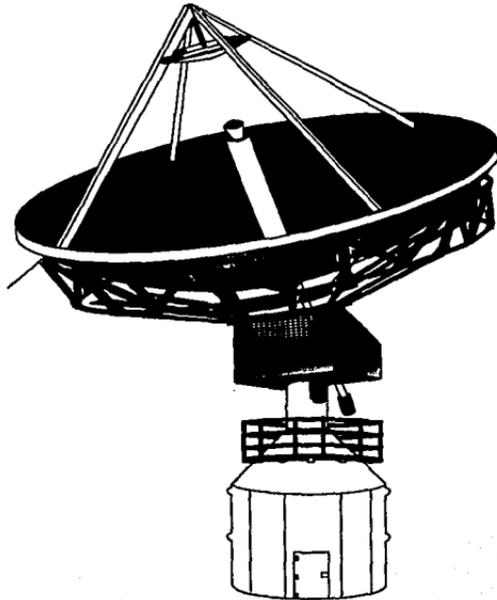
Sin embargo, no prevé los casos de interceptación de otras comunicaciones vía satélite, que no existían en 1931, cuando fue publicado dicho Código pero que ahora son una realidad que el Derecho debe tomar en cuenta y actualizarse.

Afortunadamente la propia Ley de Vías Generales de Comunicación sanciona este delito y lo define en forma más amplia incluyendo la interrupción parcial o total de los servicios de comunicación. Este es a grandes rasgos el panorama legal que actualmente presentan las comunicaciones vía satélite en México y a nivel Internacional.

El derecho Mexicano y el Internacional tienen aún un largo camino por recorrer en la búsqueda de soluciones a los conflictos que presenta todo avance tecnológico; pero lo importante es que ya ha empezado su recorrido y seguramente con la ayuda de otras disciplinas se logrará un régimen jurídico equitativo de las telecomunicaciones vía satélite.



METODOLOGIA DE DISEÑO



2.1 ELEMENTOS QUE COMPONEN UNA ESTACION MAESTRA

2.1.1 ETAPA DE RADIO-FRECUENCIA

La etapa de *Radio Frecuencia (R.F.)* de la estación maestra se encarga de transmitir y recibir señales de radio frecuencia en la banda de Ku. Las señales provenientes del satélite las convierte en señales de frecuencia intermedia (*F.I.*) para poder ser enviadas a la etapa de *F.I.* y puedan ser procesadas por los módulos *RMCC*'s y el conmutador de paquetes, y de la misma manera realizar el proceso inverso.

En la figura 2.1.1 se pueden observar los elementos que componen el subsistema de *RF* de la estación maestra.

El flujo de datos que se va a transmitir pasa por una etapa de frecuencia intermedia y después por el convertidor de subida para quedar como una señal de radiofrecuencia. Después pasa por un amplificador de alta potencia que amplifica esta señal, para que reúna las características necesarias para poder ser transmitida al satélite. Las estaciones terrenas transmisoras sencillas cuentan con un solo bloque de transmisión como el indicado en la figura 2.1.1 Y las que conducen una gran cantidad o diversidad de señales tienen varios bloques en paralelo.

El equipo transmisor consiste básicamente en tres módulos: modulador, convertidor elevador, y amplificador de alta potencia.

Cuando se recibe el flujo de datos proveniente del satélite, un convertidor de bajada cambia la frecuencia de la señal de radio frecuencia en una frecuencia intermedia.

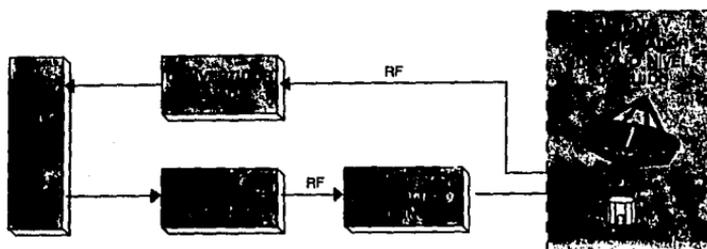


Figura 2.1.1 Diagrama que muestra los elementos del subsistema de radio-frecuencia

Los convertidores de bajo ruido pueden ir montados en el centro de la antena a fin de reducir las pérdidas entre la antena y los amplificadores. Su función básica es recibir la señal en banda Ku del satélite y alimentar a dos convertidores de bajada, que al igual que los convertidores de subida uno está conectado eléctricamente a la salida y el otro se tiene de respaldo, y se controlan automáticamente por medio de un switchover.

A través de un doble traslado de frecuencia convierten la señal de 4 o 12 GHz, según la banda que se está utilizando, a una señal de frecuencia intermedia de 70 MHz. Durante este proceso la señal es filtrada, ecualizada y amplificada; posteriormente se entrega al equipo de demodulación y demultiplexaje (módulos MCC's), para pasar la señal posteriormente a los conmutadores de paquetes para ser enrutada correctamente.

Los convertidores de subida y los amplificadores de alta potencia forman parte del equipo de enlace de subida. Los convertidores de subida cambian la señal de frecuencia intermedia a frecuencias de la banda Ku antes de que la señal sea transmitida.

Los amplificadores de alta potencia amplifican esta señal para que reúna los requisitos de potencia para realizar el enlace. El intercambio de estos dispositivos de radiofrecuencia se realiza automáticamente en caso de falla, o localmente desde el panel de interruptores, o remotamente desde la una unidad de procesamiento central.

Convertidores de subida y bajada

En la transmisión generalmente se tendrá un equipo de procesamiento que recibirá la señal del exterior o del canal de recepción de la estación central, este equipo envía la información a través de los sistemas de modulación y de protocolos para posteriormente entregar una señal de frecuencia intermedia de 70 MHz., esta señal es guiada a través de amplificadores híbridos y relevadores hasta los convertidores de subida. Los dos convertidores de subida son física y eléctricamente idénticos, y solo uno se encuentra conectado a la línea a la vez.

Bajo condiciones normales el otro se encuentra encendido y operando, pero su salida no está eléctricamente conectada al subsistema de amplificación, este convertidor se encuentra listo para ser intercambiado por el primero si se degrada o sufre una falla.

Los convertidores toman la señal de 70 MHz y a través de una doble traslación de frecuencia, la convierten en una señal de 14 GHz. La señal pasa a través de varios filtros ecualizadores y amplificadores. También puede observarse que un oscilador local provee las frecuencias para el traslado tanto para el convertidor de subida como el de bajada.

El convertidor de subida transfiere a la señal de frecuencia intermedia que es de 70 MHz a una posición dentro del espectro radioeléctrico en donde las frecuencias que la integran son mucho más altas que cuando salieron del modulador, por ejemplo 14 GHz. La señal tiene ahora la frecuencia apropiada para ser radiada hacia el satélite, pero su nivel de potencia es muy bajo por lo que es preciso amplificarla antes de entregársela a la antena.

La conversión de reducción de frecuencia se puede hacer en un solo paso figura 2.1.1-a, bajando de la frecuencia de llegada a la antena, o también puede hacerse en dos pasos figura 2.1.1-b.

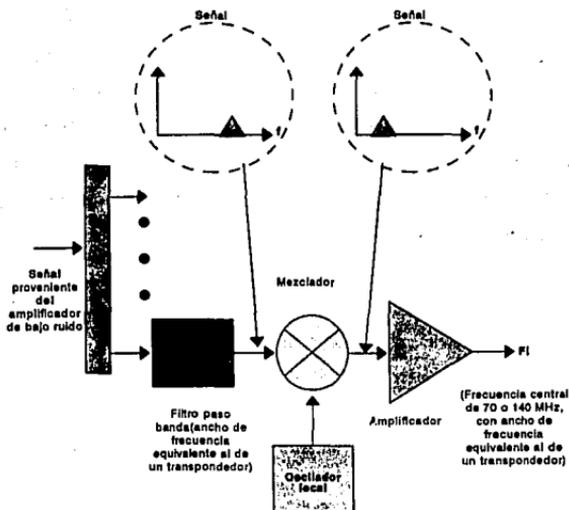


Figura 2.1.1-a Conversión de frecuencia reductora en un solo paso

Se prefiere así cada vez más en las estaciones terrenas modernas porque es más fácil sintonizar los equipos de recepción en cualquier región del ancho de banda de transmisión del satélite y la frecuencia de trabajo del convertidor reductor se puede ajustar más fácilmente si se usa doble conversión. La primera conversión es primero a una frecuencia que suele variar entre 800MHz y 1.7GHz, y después se vuelve a bajar hasta la segunda frecuencia intermedia que puede ser de 70 o 140 MHz.

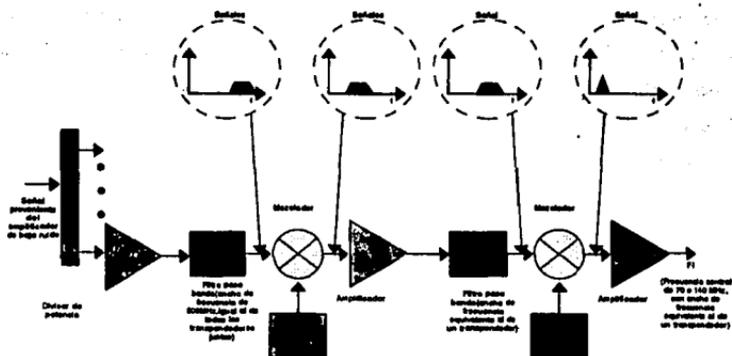


Figura 2.1.1-b Conversión reductora de frecuencia en dos pasos

Convertidor de subida

Este es un convertidor de subida del tipo de doble conversión que traslada la señal que le llega de una frecuencia de 70 MHz a una frecuencia de 1070 MHz y después a una frecuencia de 14 GHz. La conversión de frecuencia se hace a un rango que varía de 14 a 14.5 GHz si se hace variar de la salida de un sintetizador de frecuencia de 13 GHz.

Comparado con los convertidores de una sola conversión, este convertidor de doble paso no requiere ningún ajuste o el remplazo de ningún filtro paso banda de radio frecuencia para cambiar su frecuencia portadora.

La señal de 70 MHz de FI que le llega al convertidor se aplica al mezclador del convertidor de frecuencia de transmisión. El convertidor de transmisión de 1GHz mezcla la señal de FI con una señal local de 1000 MHz para producir una señal de 1070 MHz. La señal de 1070 MHz es conectada a un convertidor de frecuencia de transmisión de 14 GHz a través de un filtro paso banda de 1GHz con 40 MHz de ancho de banda (ver figura 2.1.1-c).



Figura 2.1.1-c Diagrama del convertidor de subida

En el mezclador de 14 GHz, la señal de 1070 MHz es mezclada con una señal de 13 GHz generada localmente por un sintetizador de frecuencia de 13 GHz para producir una señal de 14GHz.

La señal de 14 GHz pasa por un filtro paso banda de 14 GHz con 500 MHz de ancho de banda. La señal de salida esta disponible como salida del convertidor.

Este convertidor de subida cuenta con un circuito detector de la señal de salida de 14 GHz, y este circuito detector esta conectado a otro circuito externo para monitorear el nivel de la señal de salida de 14 GHz.

Amplificador de potencia HPA (TWT)

El subsistema de potencia HPA es utilizado como la etapa final de amplificación en la trayectoria de transmisión en las estaciones terrenas. Tiene como función amplificar las señales de RF provenientes de los convertidores de subida, a un nivel adecuado para la comunicación por satélite.

El *TWT PA (Amplificador de Potencia)* consiste de un *TWT*, un enfriador de explosión, circuitos de guía de onda, circuitos de alimentación de energía y circuitos de control.

Aquí, la señal del convertidor de subida es aplicada al *IPA (Amplificador de Potencia Intermedia)* que esta compuesto de dos amplificadores *FET* de etapas y un diodo pin atenuador.

La salida de la unidad IPA es mandada al TWT a 1 KW a través de la guía de onda del TWT siendo amplificada en potencia. La salida del TWT es mandada a la antena.

La descripción de la operación del TWT PA se divide en tres partes:

Circuito de RF. Este comprende un circuito de guía de onda, un TWT y una unidad IPA. El diagrama a bloques se muestra en la figura 2.1.1-d

La señal de RF que llega del convertidor de subida se aplica a la unidad IPA a través de una guía de onda.

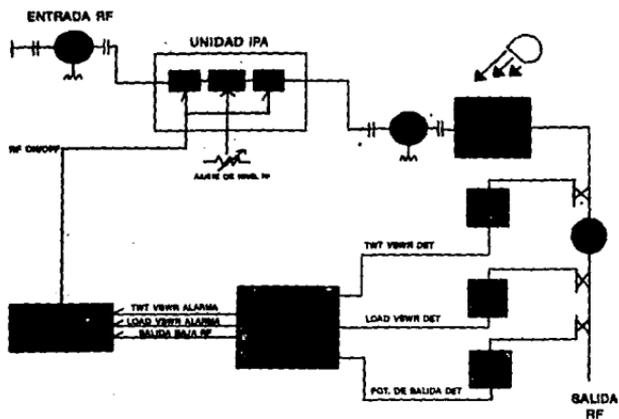


Figura 2.1.1-d Diagrama a bloques del circuito de RF del TWT

La unidad IPA consiste de amplificadores *FET* de dos etapas y un diodo pin atenuador. Primeramente, la señal es amplificada, por la primera etapa del amplificador *FET* de bajo ruido y después aplicada al diodo pin atenuador.

La atenuación del diodo pin atenuador es controlada a más de 20 dB, continuamente, y la ganancia total del HPA es ajustada continuamente.

El circuito de polarización para los amplificadores *FET* es controlada para conmutar la energía de la salida de RF (enc./apag.) hacia el circuito lógico del PA. La salida del IPA es muestreada a través del acoplador direccional para chequear la operación del IPA. La salida del IPA es aplicada a la entrada de la guía de onda del *TWT*.

En el *TWT* la señal de RF es amplificada aún más para alcanzar el nivel de salida adecuado. Después, la señal de RF es mandada a la antena por medio de la salida de la guía de onda del *TWT PA*.

Circuito de alimentación de energía. El diagrama a bloques se muestra en la figura 2.1.1-c.

Voltaje bajo. La potencia primaria de AC de 200-480 V, trifásicos, es reducida a 200 V por el transformador en el *TWT PS (Alimentador de Energía)* y se aplica a los circuitos respectivos.

La alimentación para calentamiento consiste de un alimentador de control de fase con un transformador de potencia para estabilizar el voltaje de salida *rms*. La energía de "ca" estabilizada es aplicada al calentador del *TWT* a través de un transformador reductor.

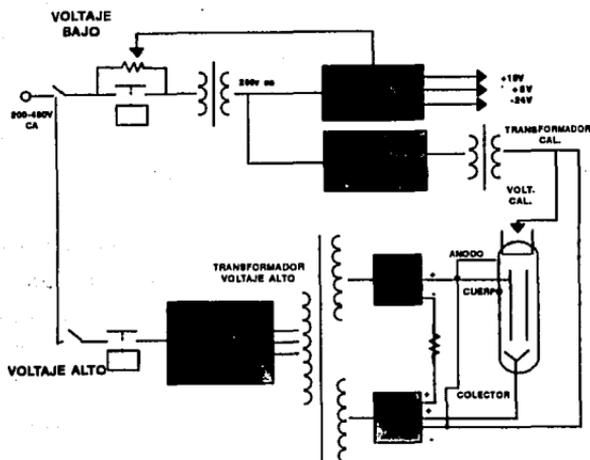


Figura 2.1.1-e Diagrama a bloques del circuito de alimentación del TWT

Voltaje alto. Este alimentador contiene un supresor de corriente, un regulador de paso, un transformador elevador, rectificadores y un filtro LC. El supresor de corriente tiene switches SCR de cruce por cero y resistencias que suprimen la corriente a menos de 1.5 veces la corriente de operación normal.

Después, el switch SCR del regulador de paso cambia el tap primario del transformador al punto de la corriente de cruce por cero para estabilizar el voltaje de colector derivado con variación de voltaje primario de $\pm 5\%$ a $\pm 10\%$. La salida del transformador de alto voltaje es una onda completa trifásica rectificadas.

Circuito lógico de control. Este circuito junto con el de monitoreo son conectados a los switches de control e indicadores de estado/alarma.

Este circuito contiene un CPU, PROM y controladores del *TWT PA*. Varios tipos de alarmas se usan para desactivar los circuitos de voltaje y así proteger el *TWT*.

Amplificador de bajo ruido LNA

El *LNA* es una de las etapas más importantes en la trayectoria de recepción en las estaciones terrenas. Tiene como función amplificar las señales de RF recibidas por el subsistema de antena, con un mínimo de contribución de ruido.

El *LNA* consiste de un complejo *LNA*, dos unidades *LNA* de Control y Monitoreo y una unidad de Control de Switcheo.

El complejo *LNA* contiene dos unidades *LNA*, un switch de guía de onda y acopladores. Este complejo es instalado en el HUB de la antena para minimizar la conexión a la entrada de la guía de onda.

Las unidades de *Control y Monitoreo y Control de Switch* son montadas en un rack remoto.

En este subsistema se conectan dos *LNA's* independientes, un switch de guía de onda de entrada y un switch coaxial de salida, como se muestra en la figura 2.1.1-f.

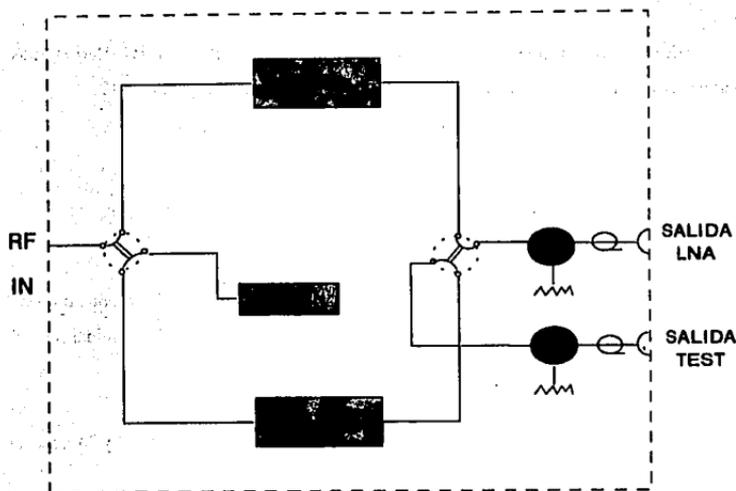


Figura 2.1.1-f Diagrama a bloques del subsistema LNA

La figura 2.1.1-g muestra el sistema de alimentación de energía del LNA y también el diagrama a bloques simplificado de un LNA. El LNA consiste de un amplificador paramétrico (*PARAMP*) con una fuente pump asociada, seguidos de un amplificador *FET* y sus circuitos de control y alimentación.

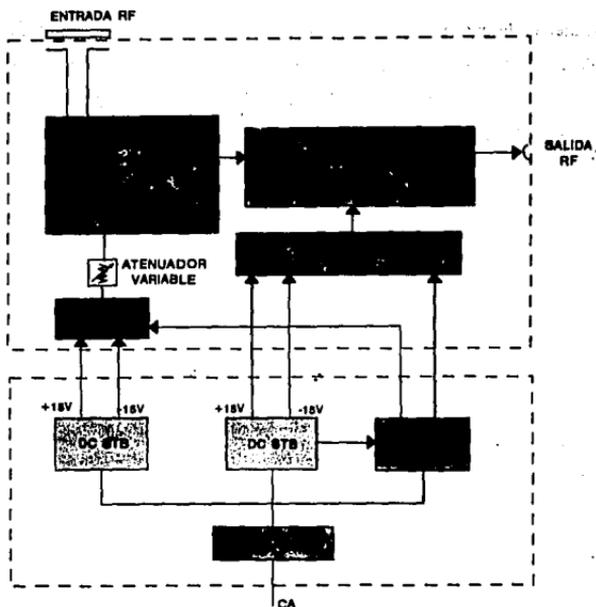


Figura 2.1.1-g Sistema de alimentación de energía del LNA

Camino de la señal de RF (Figura 2.1.1-h). El circuito de RF del *LNA* consiste de un amplificador paramétrico con un oscilador Gunn de 67.1 GHz asociado como fuente pump, y un amplificador *FET* de siete etapas.

La señal de RF que llega a la entrada del *LNA* es amplificada por el amplificador paramétrico cuya ganancia es de 14 dB. La señal amplificada es aplicada al amplificador *FET* que tiene una ganancia de 45 dB. El amplificador *FET* consiste de un amplificador

de dos etapas de bajo ruido, un amplificador de una etapa con control de nivel y dos amplificadores de dos etapas de mediana potencia. Para obtener una temperatura de ruido mínima y una ganancia nominal de 58 dB en la banda de 12.25 a 12.75 GHz, el *PARAMP* y el *FET* han sido ajustados cuidadosamente de fábrica.

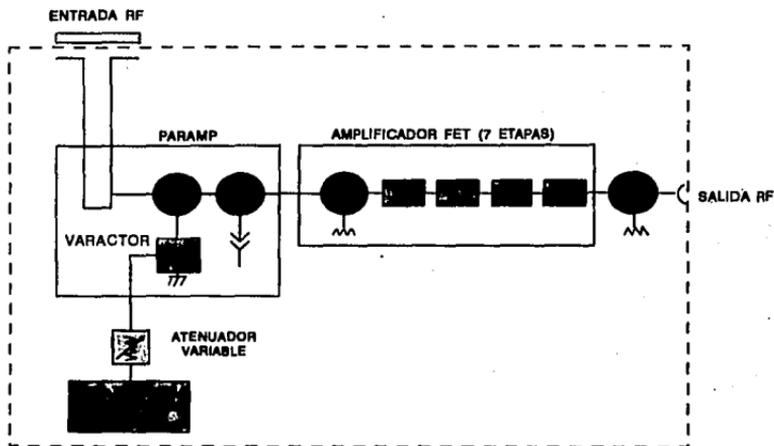


Figura 2.1.1-h Diagrama a bloques del camino de la señal de RF del LNA

En la fuente Pump el oscilador Gunn, el cual es controlado por cavidad, es adoptado como una fuente pump. Su frecuencia de operación es de 67.1 GHz y su potencia de salida es de +15 dB típicamente.

La potencia de la fuente que llega al *PARAMP* es controlada por un atenuador variable (variometer).

En la polarización y control de potencia de la fuente, el nivel de potencia de la fuente y el voltaje de polarización para el *PARAMP* se da desde el estabilizador de -15 V cd.

La potencia de la fuente que llega al diodo varactor es controlada por el atenuador variable.

Control de temperatura (Figura 2.1.1.i). Para obtener una operación estable y un funcionamiento de bajo ruido excelente, el *PARAMP* es enfriado alrededor de -10°C y la temperatura de la fuente pump y el amplificador *FET* es controlada alrededor de +20°C.

El sistema de enfriamiento y control de temperatura consiste de módulos termoelectrónicos de enfriamiento, alimentadores de energía (cd) y un circuito de control de temperatura.

La variación de temperatura de la etapa de control es tomada por los sensores, haciendo operar el circuito de control de temperatura, el cual mantiene la temperatura constante alrededor de +20°C al cambiar la corriente al enfriador 1 de -10 A (frío) a +4 A (caliente).

El enfriador 2 aplica corriente constante por medio de un alimentador de energía de +7 V cd, y las diferencias de temperatura entre el enfriador 1 y el 2 son mantenidas en un valor constante. De esta forma, la temperatura del *PARAMP* es controlada alrededor de -10°C.

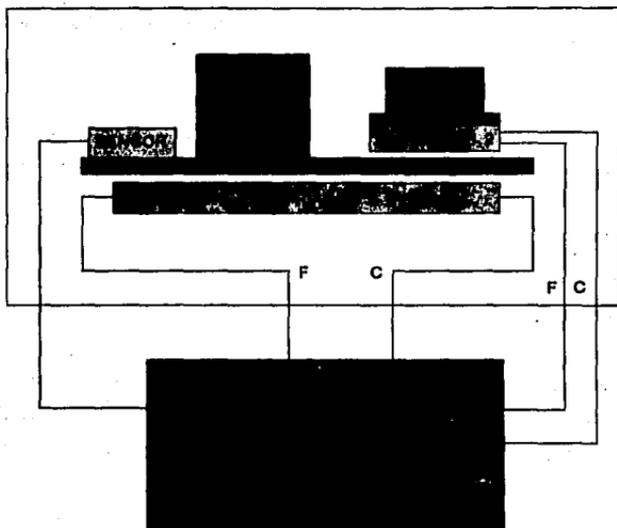


Figura 2.1.1-4 Control de Temperatura del LNA

Presurizado. Para una operación estable duradera, el interior del *LNA* es presurizado inicialmente a 0.3 Kg/cm^2 aproximadamente con nitrógeno seco.

La unidad *LNA* es completamente sellada con solo una válvula de salida.

La presurización y el sellado del *LNA* elimina la influencia del medio ambiente (sal, humedad, etc.), lo que podría resultar en una degradación en el funcionamiento del mismo.

Antena de la estación maestra

La configuración de la antena es del tipo *Cassegrain*, con montaje del tipo azimut-elevación y diámetro de 7.6 metros, en la figura 2.1.1-j se muestra dicha estructura.

Las funciones del subsistema de antena se pueden dividir en dos, la de transmitir/recibir señales hacia/desde el satélite y la del movimiento de la antena.

Transmisión / Recepción

En el proceso de transmisión, la señal proveniente del subsistema de amplificación de potencia (*HPA*) pasa a través del duplexor, el que se encarga de separar la trayectoria de transmisión y recepción. Esta señal llega a la bocina principal, enviando la energía hacia el subreflector, el cual se encargará de distribuirla al reflector principal, y finalmente se envía hacia el satélite.

En recepción, la energía proveniente del satélite es concentrada por el reflector principal hacia el subreflector, éste a su vez la refleja concentrándola en la bocina principal, que deja pasar la señal al duplexor que se encarga de seleccionarla y enviarla al subsistema de *LNA*.

Movimiento de la Antena

La unidad de control de la antena es la encargada de operar los movimientos de la misma, enviando señales de control de movimientos de los motores, que mueven los tornillos "*sin fin*" en los respectivos ejes, el de azimut y el de elevación.

Cabe señalar que el movimiento en los dos ejes son independientes entre sí, existen dos tipos de operación del movimiento de la antena: automática y manual.

Operación Automática

En el modo automático la unidad de control de antena recibe una señal proporcional al nivel de recepción de piloto, entonces la antena es movida en pasos de rastreo en la dirección donde se obtiene el nivel máximo de señal recibida.

La dirección del movimiento se determina con base en la diferencia del nivel recibido antes y después de cada movimiento, esta operación se efectúa por medio de un microprocesador. Al obtenerse la máxima recepción, el movimiento se detiene y la unidad de control de antena se pone en estado de espera por un tiempo de 15 minutos, si el nivel recibido durante este período decrece el movimiento se restablece.

Operación Manual

En condiciones climatológicas adversas el sistema de operación automático es inhabilitado, debido al nivel de señal portadora recibida, por lo que hace necesaria la operación manual.

En el modo manual las respectivas direcciones de movimiento de azimut y elevación son ejecutadas al oprimir el interruptor de control correspondiente.

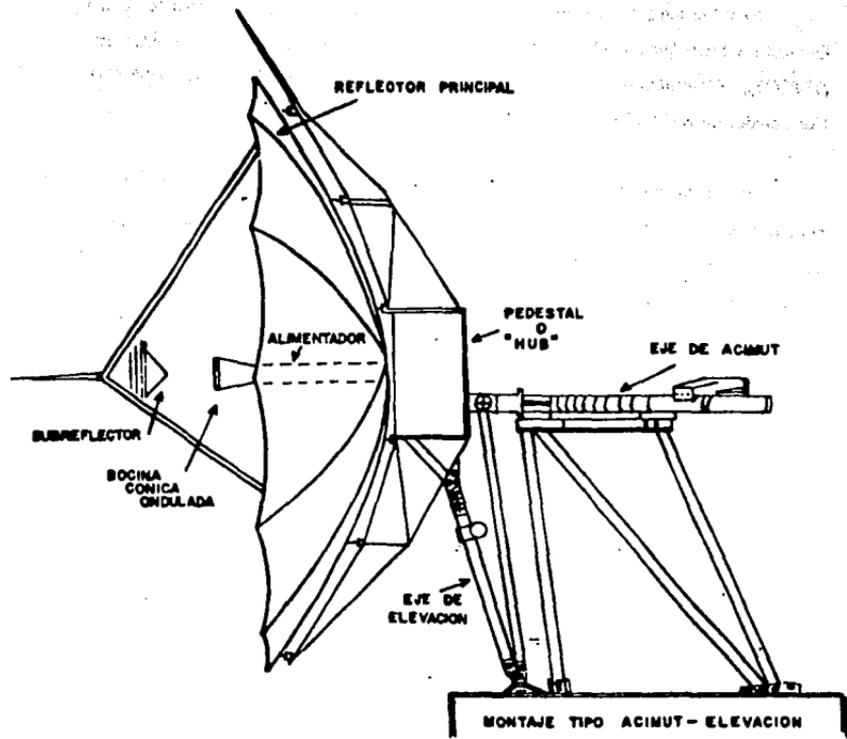


Figura 2.1.1-j Antena de la Estación Maestra 7.6m

2.1.2 FRECUENCIA INTERMEDIA (F.I.)

El subsistema de *Frecuencia Intermedia* de la estación maestra consiste de una *Unidad de Distribución*, *Controladores de Transmisión de Comunicaciones Maestros (TMCC's)*, *Controladores de Recepción de Comunicaciones Maestros (RMCC's)*, *Controlador de Red (NCS)*, *Conmutadores de Paquetes* y *Equipos PAD*.

El controlador de transmisión *TMCC* genera señales de FI para transmitir datos; el controlador de recepción *RMCC* genera señales digitales para recibir datos. Se requiere de un controlador de transmisión para cada portadora de subida (*outlink*), y de un controlador de recepción para cada portadora de regreso o bajada (*returnlink*). Ambos dispositivos combinan equipo de procesamiento de señales con un microprocesador de 32 bits para operaciones de protocolo.

Unidad de distribución

La unidad de distribución es uno de los componentes de la parte de frecuencia intermedia más importantes dentro de una red VSAT, ya que por medio de ésta se realiza la transmisión de señales vía el convertidor de subida o la recepción de información proveniente del convertidor de bajada (Figura 2.1.2).

Esta unidad se divide en tres partes:

- *Transmisión*
- *Recepción*
- *Reloj o sincronización*

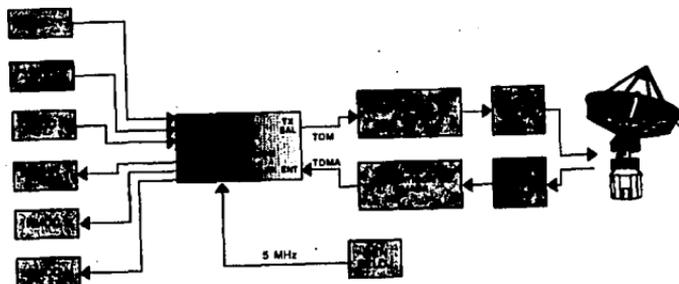


Figura 2.1.2 Unidad de distribución

En la parte de transmisión se conectan todos los módulos controladores de transmisión *TMCC's* que se tengan, obteniendo de todas estas entradas una sola salida que es la que se va directamente a la sección de RF, específicamente al convertidor de subida. Aparentemente las señales son mezcladas en una sola, pero no es así, estas van separadas en intervalos de tiempo dados por la técnica de acceso *TDM*, por lo que podemos tener tantas señales como módulos controladores de transmisión se tengan en la estación maestra sin problema alguno.

En la parte de recepción sucede algo muy parecido que en la de transmisión, todas las señales que se conectan aquí son las que irán hacia los controladores de recepción *RMCC's*, sucediendo lo contrario que en el caso anterior ya que llega una sola

señal de RF (convertidor de bajada) entregando tantas señales como controladores de recepción se tengan en la estación maestra. En este caso las señales no se revuelven por que accesan a la estación por medio de la técnica *TDMA*.

En la parte donde va conectado el reloj, que es generado en la etapa de RF, lo que se tiene únicamente son conexiones en paralelo para obtener varias salidas del mismo reloj, siendo este alimentado a cada uno de los módulos *TMCC's* para que se sincronicen; los *RMCC's* no requieren de esta conexión ya que estos módulos se sincronizan a su correspondiente *TMCC* por medio de la asignación forzada o por default que se puede realizar a través del software de la estación maestra.

La unidad de distribución cuenta con puntos de monitoreo para *Tx*, *Rx* y *reloj* (referenciado a 5MHz) en la parte frontal del módulo.

Controladores de Transmisión de Comunicaciones Maestros TMCC's

El controlador de transmisión o simplemente transmisor consiste básicamente de una tarjeta *TMCC* y una tarjeta moduladora. En la figura 2.1.2-a se muestra el diagrama a bloques funcional de este controlador. La tarjeta *TMCC* acepta tramas X.25 del conmutador de paquetes y combina éstas con mensajes de supervisión del Sistema de Control de la Red NCS (*Network Control System*), para el enrutamiento a las estaciones.

En este mismo flujo de datos del enlace de subida, el *TMCC* transmite marcas de inicio de trama (*Start Of Frame*) notificando a todas las estaciones remotas cuando iniciar con la siguiente trama del enlace ascendente o de subida.

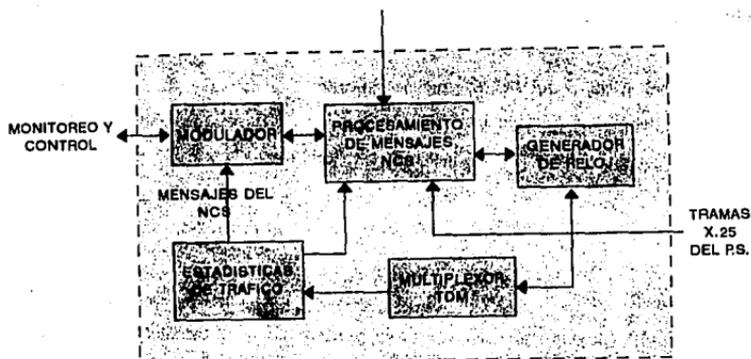


Figura 2.1.2-a Diagrama a bloques de un módulo TMCC

Los *TMCC*'s llevan a cabo la función de reloj crítica para la red al proveer el reloj de transmisión de datos. Este reloj es referenciado a 5 MHz en la estación maestra. Recuperado por los demoduladores del sitio remoto; el reloj de transmisión se usa para sincronizar el temporizado de la ranura (*slot*), asegurando fronteras uniformes de la ranura (*slot*) a través de la red, y proveer una frecuencia de referencia. Así, no se requerirá de una frecuencia piloto, y el temporizado de la red es sincronizada sin la transmisión de una portadora separada de referencia.

También, los *TMCC*'s colectan las estadísticas de tráfico del enlace de subida.

La parte del modulador del *TMCC* acepta el flujo de datos de transmisión y manda la información a $140 \text{ MHz} \pm 37 \text{ MHz}$. El modulador es del tipo *BPSK* y utiliza un codificador convolucional *FEC*.

El panel frontal del *TMCC* contiene indicadores de actividad de tráfico de datos del usuario, del *NCS*, del estado del modulador/codificador, del estado propio del *TMCC*.

Controladores de Recepción de Comunicaciones Maestros RMCC's

El *RMCC* consiste básicamente de una tarjeta demoduladora de ráfaga (*burst*) (Figura 2.1.2-b). Junto con el *TMCC*, sirve de interface de la red satelital al conmutador de paquetes. Este controlador de recepción maneja los datos del enlace de retorno desde el demodulador, mandando tramas *X.25* al conmutador de paquetes y mensajes al Sistema de Control de la Red.

También, los *RMCC's* monitorean la tasa de colisiones y acumulan las estadísticas en el caudal del enlace o portadora de regreso; además controlan y monitorean la ráfaga del demodulador.

El panel frontal proporciona indicaciones de la actividad del enlace de retorno, de fallas en el procesador y de colisiones en el *slot*.

Tanto los *TMCC's* como los *RMCC's* son conectados al Sistema de Control de la Red usando un enlace *X.25*, haciendo que el tráfico hacia el conmutador de paquetes sea relativamente transparente al usuario.

En esta configuración, los *TMCC's* y *RMCC's* son conectados directamente a una tarjeta asíncrona *X.25 PAD*, la cual es conectada al *NCS* vía el enlace *X.25 PAD*. Se usan dos *PAD's* externos para proporcionar conectividad para los *TMCC's* y *RMCC's*.

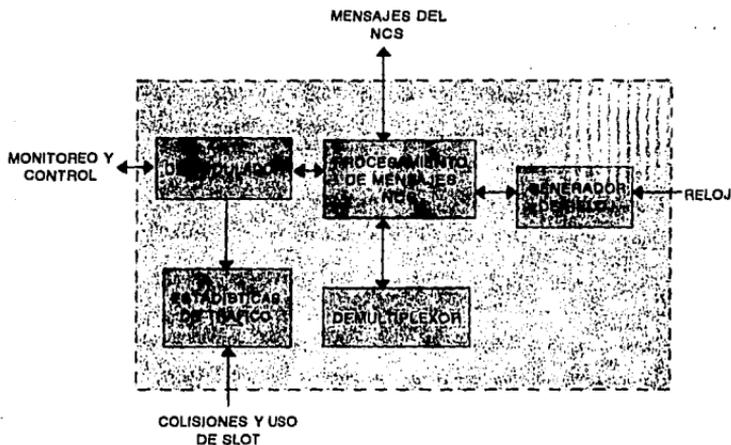


Figura 2.1.2-b Diagrama a bloques del RMCC

Sistema controlador de red NCS

El sistema controlador de la red *NCS* es un sistema de software integrado que permite al usuario configurar, cargar, monitorear y controlar la red satelital.

Estructuralmente, el *NCS* consiste de módulos de software que corren en los CPU's del conmutador de paquetes. Como se muestra en la figura 2.1.2-c, estos módulos se conectan entre sí con una base de datos común a los diferentes equipos de la red, incluyendo *TMCC's*, *RMCC's*, estaciones remotas y terminales (H.I. y Editora).

En el nivel de terminal de operador (pantallas y mensajes de alarmas), el *NCS* consiste de varias funciones de manejo que corresponden a las cinco funciones del menú principal proporcionados por la interfaz del operador (H.I.). Las funciones son *tráfico*, *Cargado*, *Configuración*, *Monitoreo*, *Control* y *Reportes*, a través de la *HI (Interfaz Humana)*, que es un módulo de software estas cinco funciones permiten al operador:

- *Monitorear el tráfico de los usuarios de la red*
- *Configurar los nodos, conexiones físicas y enlaces de comunicación en la red*
- *Cargar los controladores de las estaciones remotas y PAD's*
- *Monitorear y controlar el hardware de comunicaciones en la estación maestra y en todas las estaciones remotas*

Módulos de software (NCS).

Estos residen en los conmutadores de paquetes y en el *NCS*, comparten una base de datos global que contiene toda la configuración de la red y elementos de estado de la misma. Esta base de datos es actualizada continuamente por secuencias periódicas de pooleo, excepto rutinas de alarma y comandos del operador. Los datos accedidos

frecuentemente son almacenados en la base de datos en la memoria RAM del sistema; y la mayoría de las veces son almacenados en el disco duro del sistema. Esta información debe de estar presente siempre en los conmutadores de paquetes y en el NCS, por si se presenta la conmutación de alguno de los módulos, toda la información este actualizada.

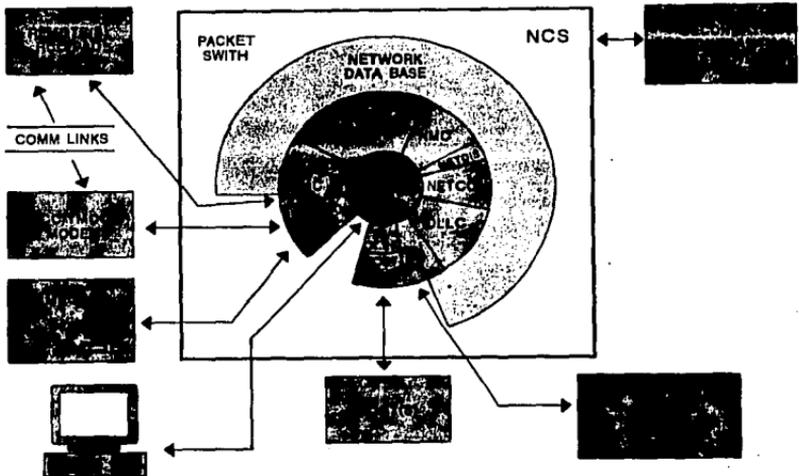


Figura 2.1.2-c Estructura del sistema controlador de red (NCS)

El software de la *HI* que reside en la terminal del operador, interactúa con el conmutador de paquetes y el *NCS* directamente, e interrelacionan al operador de la red con los módulos de software del *NCS*.

El módulo de monitoreo y control de red (*NMC*) realiza las siguientes funciones:

- 1.- Polea sitios remotos para checar su estado
- 2.- Conecta con el sistema de R.F. para monitorear y controlar el equipo de R.F. de la estación maestra
- 3.- Monitorea y controla el equipo de *FI* de la estación maestra
- 4.- Controla el hardware de comunicaciones del sitio remoto

Este módulo se conecta con el manejador de bus del *NCS* y con la base de datos global (*NETCON*). Las pantallas de monitoreo y control permiten al operador monitorear y controlar el hardware de comunicaciones a través de la red.

El módulo *DTMC* (*Monitoreo y Control de Tráfico de Datos*) integra las estadísticas de tráfico de la red, derivadas de los *TMCC's*, *RMCC's* y el conmutador de paquetes, y maneja la asignación de ranuras de tiempo (*slot*) a las estaciones remotas. Este módulo se conecta con el *NCS* bus, *NMC* y la base de datos soporta la función de software de tráfico. Las pantallas de tráfico y mensajes de alarma permiten al operador monitorear caudal, retardo y utilización por estación remota y por portadora.

El módulo de software *NETCON* (*Configuración de Red*) maneja la base de datos del *NCS* (la global y la residente en disco). Este se conecta con el manejador del bus *NCS*, también como *HI*, *NMC* y *DLLC*, *NETCON* soporta la función de configuración. Estas pantallas de configuración permiten al usuario la definición de todas las

aplicaciones, dependiendo de los parámetros de operación de la red (*NCS* y base de datos).

El módulo *DLLC* (*controlador de carga*) maneja el cargado (configuración) de *PAD's* y *RCC's* en las estaciones remotas. Se conecta con el manejador de bus, *HI*, *NETCON*, *DMC*, *DTMC*, y *NCSMON*; *DLLC* soporta el software de carga. Una sola pantalla de carga, permite la configuración de las estaciones remotas por medio de la estación maestra desde el teclado del operador, seleccionando de entre un rango de opciones con respecto al destino de la carga (configuración), y los segmentos a cargar.

El manejador de bus *NCS* permite a las tareas *NCS* mandar mensajes a los *TMCC's* / *RMCC's* vía sus manejadores de *E/S*, y enruta todos los mensajes *NCS* desde los *TMCC's* / *RMCC's* al módulo *NCS* apropiado. Los *RMCC's* recuperan información del *returnlink* desde sus demoduladores asociados. Los datos del usuario son mandados al conmutador de paquetes, pero los mensajes *NCS* se mandan al *NMC* y *DTMC* por medio del bus *NCS*; la información de estado de sitios remotos va al *NMC*, los datos de tráfico de *returnlink* al *DTMC*. Conectados con sus demoduladores, los *RMCC's* cuentan el número de transmisiones y lo mandan al *DTMC*, y controlan la frecuencia del demodulador bajo dirección del *NCS* (a través de *NETCON* y *NMC*).

Los *TMCC's* reciben mensajes del *NCS* provenientes de las estaciones remotas vía el bus *NCS*, y los multiplexan con datos de los usuarios dentro del flujo de datos del *outlink*. También colectan estadísticas del caudal del *outlink* para el *DTMC*.

El *RCC* soporta todas las funciones *NCS* en el sitio remoto, realiza monitoreo local de todo el hardware de comunicaciones (*ORU* y *DPU*) y manda información de su estado al *NMC*, directamente por satélite y el bus *NCS*. También el *RCC* procesa todos

los comandos de control, temporizado y de reservación del NCS que accesan por *NETCON*.

La *Interfaz Humana (HI)*, módulo de software, enruta los requerimientos de despliegue y control del operador hacia el módulo NCS apropiado, y enruta actualizaciones de despliegues y mensajes de alarma a la terminal del operador. La *HI* soporta un menú de 24 pantallas en color.

NETDIS (Despliegue de Red) manda mensajes de actualización periódicos hacia cualquier desplegado activo conteniendo datos dinámicos.

NCSMON (Monitoreo NCS) inicia y monitorea tareas NCS y maneja el espigado del conmutador de paquetes.

Conmutador de paquetes

El conmutador de paquetes utiliza un procesador de comunicaciones programable para enlaces vía satélite. Este se compone de una a cinco tarjetas CPU (o GPU), de cuatro a 16Mb de memoria, un disco duro de 65a 150 Mb y un drive de 3.5" de 720 k.

La arquitectura de este procesador soporta mas de 255 puertos Host (anfitrión) en la estación maestra, y a cuatro puertos para equipo de usuario en cada estación remota. Dentro de las tareas que realiza, estan las de monitoreo y control de tráfico, así como las de conversión de protocolos y ensamblado y desensamblado de paquetes.

El tráfico del usuario entra al conmutador de paquetes, y por medio del enlace Host viaja a través de *PAD's* anfitriones y software de red X.25, pasando dentro de manejadores de bus serie, y después entra al subsistema de F.I. (*TMCC*), para ser enviado a la etapa de radio frecuencia (R.F.).

El conmutador de paquetes incluye una consola, una o más terminales de operador y una o más impresoras para mensajes de alarma.

Para prevenir la pérdida de todos los enlaces de comunicación cuando una falla se presente en el conmutador de paquetes se tiene la presencia de otro conmutador de paquetes en una configuración redundante.

Los dos conmutadores son conectados a la red satelital y a puertos anfitriones (Host). Esto es, son conectados a un canal común del módulo de expansión o chasis de expansión mediante cable. Este módulo de expansión amplía el bus del canal procesador, otorga energía y almacenamiento a las tarjetas del canal de comunicaciones.

Los Hosts de los usuarios, son conectados al igual que los equipos de F.I. de la estación maestra (*TMCC's* y *RMCC's*), a puertos de este módulo de expansión.

En cambio de un conmutador de paquetes incluye la capacidad de detectar y recuperarse de una falla del procesador o de algún módulo del software; o usar la consola del sistema para implementar una conmutación forzada para pruebas o mantenimiento.

En cualquier caso, la responsabilidad del procesamiento para todos los canales de comunicaciones localizados en el módulo de expansión, es transferida del conmutador de paquetes primario al secundario.

Módulo de expansión o Chasis de expansión

El módulo de expansión o chasis de expansión es el equipo concentrador de puertos de conexión, tanto para los transmisores maestros (*TMCC's*) como para los receptores maestros (*RMCC's*), así también el conmutador de paquetes y los puertos anfitriones para los usuarios. Los elementos que lo componen son tarjetas de línea de proceso de módulo (*LPM*) y tarjetas de línea de proceso de expansión (*LPE*), cada tarjeta *LPM* controla a dos o más *LPE's*, estas pueden ser con interfaz V.35 o RS232, dependiendo de la velocidad a la que se trabaje, y son usadas para conectar a los usuarios que manejan puerto anfitrión o puerto Host al momento de ingresar a una red pública, o los que tengan su propia red y necesiten de conexiones a puertos anfitriones o Host.

2.2 ELEMENTOS QUE COMPONEN UNA ESTACION REMOTA

Una red VSAT esta compuesta por una estación maestra y varias estaciones remotas pequeñas proporcionando comunicaciones para una gran variedad de servicios.

Las estaciones remotas se comunican solamente a través de la estación maestra, no directamente con alguna de las otras estaciones remotas. La estación maestra transmite continuamente a las estaciones remotas, pero la trama de datos transmitidos es dividida en paquetes que contienen mensajes para cada sitio individual. Cada paquete incluye una dirección codificada al inicio de éste.

Cada estación remota procesa solo los paquetes o mensajes que van dirigidos a ella con el reconocimiento de la dirección codificada que lleva el paquete de información, ignorando el resto de la información que no le pertenece.

A cada estación remota se le pueden interconectar varias terminales locales con direcciones independientes entre cada terminal.

Varias estaciones remotas dentro de una misma red, comparten la misma frecuencia para transmisión de paquetes de mensajes a la estación maestra. Sin embargo cada estación remota transmite sus mensajes en ráfagas solamente cuando tiene tráfico para la estación maestra.

El reloj del mensaje remoto transmitido es controlado por sincronización desde la estación maestra. Estas señales dividen el tiempo en *tramas*, y cada trama es subdividida en *ranuras* o *slots*, cuando una estación remota tiene un paquete de información que enviar, este paquete selecciona una ranura al azar y transmite ese paquete dentro de esa

ranura. La estación maestra responde a todos los paquetes de información que recibe con un pequeño paquete de reconocimiento, regresándolo a la estación remota que transmitió el mensaje.

Cuando dos estaciones remotas transmiten un paquete de información y por coincidencia escogen la misma *ranura o slot* al mismo tiempo, se generará una colisión que será recibida apropiadamente por la estación maestra.

Si la estación remota no recibe el reconocimiento *acknowledgment (ACK)* de que hubo una colisión; ésta retransmitirá el mensaje nuevamente en otra ranura o slot seleccionado al azar.

En resumen para el tráfico de mensajes, las estaciones remota y maestra también intercambian mensajes de "*control*" (desde la estación maestra) y "*estatus*" (desde la estación remota) para mantener la operación de la red.

Descripción del equipo

La estación remota tiene los siguientes componentes principales localizados a su alrededor (Figura 2.2).

- Antena tipo *offset* (1.8 o 2.4 mts. de diámetro)
- Unidad externa de radio frecuencia ORU
- Unidad de procesamiento digital (DPU)
- Cables y conectores

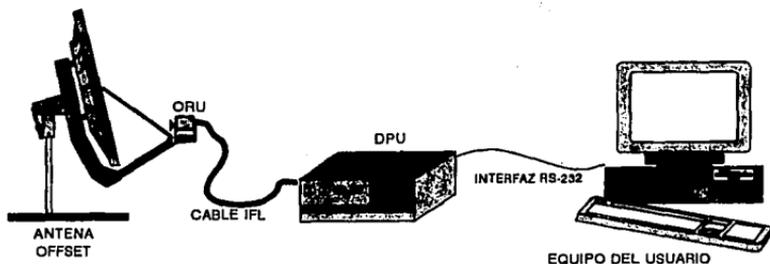


Figura 2.2 Elementos que componen una estación remota tipo VSAT

A continuación se describirá la función de cada uno de los elementos que componen a una estación remota.

Antena

Las señales entrantes desde el satélite, son interceptadas por el reflector de la antena (*plato*) y enfocadas hacia el componente del alimentador. El recolector del alimentador recibe las señales y las pasa hacia las siguientes etapas dentro del ORU.

La geometría de la antena es llamada "*parábola alimentada tipo offset*"; la cual se detalló en el capítulo I.

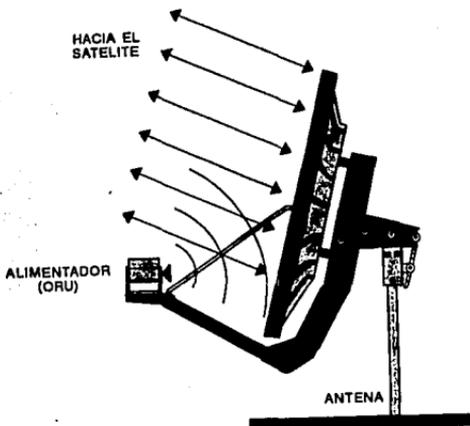


Figura 2.2-a Antena offset y alimentador (ORU)

En la dirección del satélite la antena está orientada 22.3° sobre una línea perpendicular a la cara de la antena, como se muestra en la figura 2.2-b.

La base de la antena, permite que la antena sea apuntada hacia el satélite, para apoyarla alrededor de el soporte de azimut y para el inclinamiento sobre la cabeza de la base en elevación.

La unidad de alimentación ORU puede ser rotada sobre el eje del alimentador para su polarización.

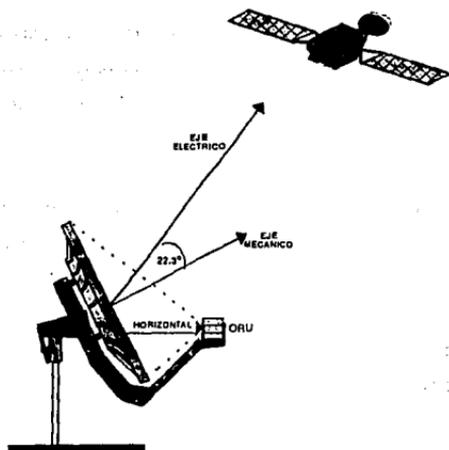


Figura 2.2-b Angulo offset entre el eje magnético y el eje focal

Unidad externa de radio frecuencia (ORU)

El ORU proporciona las siguientes funciones:

- El receptor acepta señales en la banda Ku (típicamente de 11.7 a 12.2 GHz y otras frecuencias disponibles).
- El amplificador de bajo ruido, recibe señales y las convierte a banda L (950 a 1700 MHz), la señal es convertida a baja frecuencia, es amplificada y enviada, utilizando el cable *Interfacility Link (IFL)* hacia el equipo DPU, entregando la señal a la etapa demoduladora.

- El transmisor acepta señales a 750 ± 10 MHz desde adentro del equipo, utilizando el cable *IFL*. Estas señales son convertidas a señales de radio frecuencia en la banda **Ku** en el rango de 14 a 14.5 GHz, y puestas con nivel estándar por un circuito de control automático de nivel.

- La frecuencia final de transmisión es controlada por un sintetizador, y es programada por medio de datos seriales desde el interior del equipo, (pasos de 20 MHz).

- Las señales convertidas a RF en la banda **Ku** son amplificadas a un nivel máximo de 1 watt o un poco más, para su transmisión al satélite.

- El ORU recibe una señal exacta de referencia de 50 MHz desde el equipo DPU, que es transportada por el cable *IFL*. Esta referencia es usada como *reloj-phase* o reloj de fase por el oscilador local y el sintetizador usados dentro del ORU para transmitir y recibir conversiones de frecuencia.

El ORU es alimentado con voltaje DC (24 a 36 VDC) por medio del cable *IFL*, proveniente de la tarjeta *Modem* del DPU.

Nota: El ORU es una unidad sellada, y no debe ser abierta en campo para servicio. Si un ORU falla éste se tendrá que reemplazar por otra unidad.

La figura 2.2-c muestra un diagrama a bloques del ORU, mostrando las funciones internas. Este diagrama a bloques muestra los circuitos del lado receptor a través de la

Las señales transmitidas (de 750 ± 10 MHz) desde el interior del equipo, llegan por el cable *IFL*, y son amplificadas por un amplificador de ganancia variable. La ganancia de éste está basada en la sensibilidad del nivel de potencia de RF transmitida, para mostrar este nivel constante de potencia.

La ganancia controlada de la señal de IF es doblemente convertida a la banda de transmisión finalmente deseada. El convertidor de alta frecuencia programable, el cual provee pasos de 20 MHz sobre el rango total de transmisión de 14 a 14.5 GHz. La señal de RF es amplificada por el amplificador de potencia de estado sólido (*SSPA*) transmitido por un transductor circular de ortomodo (*OMT*) para conexión al alimentador.

La señal de precisión de 50 MHz es filtrada desde la salida del cable *IFL*, y usada como una frecuencia de referencia *phase-lock* por el sintetizador, el oscilador del receptor local (*LO*) y el primer transmisor.

Para monitoreo y control del ORU, un microprocesador proporciona la interface para el estado de falla de señales de salida de RF.

Este microprocesador se comunica con el DPU por medio de datos de asíncronos, las señales superpuestas de datos están presentes en el cable *IFL* solamente como una respuesta al pulso (usando señales similares de datos) transmitida sobre el cable *IFL* a el ORU por el DPU.

El nivel de salida de RF es detectado por un diodo de RF y un voltaje de DC proporcional al nivel de RF que es regresado a un convertidor A/D en el microprocesador, para la comunicación del nivel de potencia de la entrada del DPU.

Las fallas detectadas dentro del ORU pueden ser:

- Sintetizador transmitiendo fuera de reloj
- Pérdida de cualquiera de los voltajes de DC
- Pérdida de la salida de RF

Si cualquiera de estas fallas ocurre, la ganancia del circuito de control de ganancia se minimiza para prevenir una transmisión inapropiada. Un resumen de señales de fallas es también retransmitido de la parte interior del equipo por una serie de leds en el panel frontal del DPU.

La potencia para el equipo en conjunto, es proporcionada sobre el cable *IFL* (36 Vdc) este voltaje se controla switcheando convertidores AC a DC usados para generar los diferentes voltajes requeridos por el DPU.

Unidad de procesamiento digital (DPU)

La unidad de procesamiento digital (DPU) contiene los siguientes módulos reemplazables:

- Tarjeta PAD/RCC
- Tarjeta MODEC
- Gabinete de fuente de poder

La figura 2.2-d muestra el diagrama a bloques del DPU.

La primera *conversión-baja* controla la recepción de la frecuencia central, el oscilador local para esta conversión baja, es proporcionada por la recepción del sintetizador, la frecuencia del sintetizador es controlada por programación de la tarjeta *PAD/RCC*.

La señal de recepción de la frecuencia intermedia del convertidor de bajada es demodulada para recuperar una cadena digital de bits. Las señales son transmitidas en ambas direcciones en la red usando portadoras moduladas en datos digitales. El método de modulación usado es llamado *BPSK (Binary Phase Shift Keying)*, junto con el correspondiente dato digital usado para generar la portadora modulada. Observar que en cada tiempo el dato cambia digitalmente de 0 a 1 y viceversa, la portadora cambia de fase 180°.

Para demodular una portadora modulada en *BPSK* y regresarla a su forma original de datos digitales, una forma de onda de referencia es generada exactamente igual a la misma frecuencia como la portadora modulada de entrada.

Si esta señal es mezclada con la portadora modulada (y subsecuentemente filtrada para quitar las componentes de alta frecuencia) el resultado es una réplica analógica de la modulación digital original.

La sincronización de señales digitales requiere ser acompañada de una señal de reloj para mantener la sincronización de circuitos digitales de procesamiento. Los datos demodulados tienen una componente de frecuencia a la velocidad deseada del reloj y esta componente es usada para amarrar la fase con el oscilador local y generar el reloj. Esta señal de reloj es también usada para amarrar la fase con el oscilador maestro de referencia de 10 MHz en la tarjeta moduladora decodificadora (*Modem*).

En cualquier sistema de comunicaciones, el ruido es inevitable. Las señales del satélite son regularmente degradadas con algo de transmisión de ruido, con el manejo de bits de error (los bits 1 son detectados como 0 y viceversa). Para reducir los efectos del ruido, el reloj recuperado es usado para tomar la decisión de demodular los datos cerca del centro de cada bit, donde la amplitud del bit indicará la mejor decisión y los efectos del ruido serán minimizados.

Antes de que los datos sean transmitidos desde la estación maestra, estos son codificados especialmente sumándoles redundancia. Es este proceso de codificación por cada bit del dato original, dos bits son transmitidos sobre el enlace del satélite.

Dentro del DPU, los circuitos de la tarjeta moduladora decodificadora (*Modem*), procesan la demodulación de datos usando un circuito muy complejo "*decodificador secuencial*". En este circuito la redundancia en los datos transmitidos es usada para detectar y corregir errores en los datos. Los errores en los datos serán reducidos a un nivel por abajo de la tasa de error de los datos corregidos. Bajo condiciones normales, la tasa de error de bits (BER) será abajo de un error por cada millón de bits (1×10^{-6})

La salida del decodificador es procesada por la tarjeta *PAD/RCC*, quien efectúa las siguientes funciones:

- Recepción del reloj de la red usada para sincronización de las remotas de la red.
- Mapeo de campos de direcciones de mensaje con su subdirección de lugares, para determinar qué mensajes son direccionados a este lugar.

- Demultiplexión de paquetes entrantes, enrutando cada uno de ellos a uno de los puertos de usuario o (para control de mensajes) usándolos para controlar tales funciones como la retransmisión de paquetes erróneos, en el sintetizador de frecuencias o para la programación interna del convertidor de carga.

En el lado de transmisión la tarjeta *PAD/RCC* acepta datos desde cada puerto activo de usuario y realiza las siguientes funciones:

- Codificar datos para la corrección de errores, así el circuito decodificador de la maestra puede eliminar errores en la transmisión ocasionados por el ruido.

- Uso de los datos codificados para una modulación *BPSK* con una portadora en el rango de 740 a 760 MHz.

- Derivar una referencia de 10 MHz y una de 50 MHz desde el reloj demodulado, para amarrar la transmisión de frecuencia intermedia y la del ORU.

- La portadora transmitida es generada por un sintetizador de fase cerrada hacia un estándar interno de 10 MHz. Esta provoca que todas las estaciones remotas de la red operen precisamente a la misma frecuencia controlada.

La frecuencia del sintetizador de transmisión es controlada por señales desde la tarjeta *PAD/RCC*, sobre una estación maestra de control.

- La portadora modulada es conectada hacia el cuadruplexor para la combinación con estas señales, y es enviada por el cable *IFL* al ORU.

La alimentación DC para la entrada de la estación remota es proporcionada por una fuente de poder de 36 VDC para operación del equipo exterior (ORU) que es transportada por cable *IFL*.

Se utiliza un conector coaxial tipo N en la parte posterior del DPU unido a el cable *IFL*, la impedancia de este conector es de 50 ohms, las señales en este cable son descritas a continuación.

Cable de interface IFL (Interfacility Link)

El cable de interface *IFL* lleva las siguientes señales:

- Recepción de FI (750 ± 1700 MHz) desde el ORU hacia la unidad de proceso digital (DPU) y operacionalmente a los receptores de video en la banda L.
- Transmisión de FI (750 ± 10 MHz) desde el DPU al ORU.
- Señal de referencia 50 MHz.
- Alimentación DC desde el DPU al ORU (36 DC normal).
- Señales de control de datos desde el DPU al ORU (*ACK*, transmitido por modulación una portadora a 36864 MHz), con la siguiente información:
 - a).- Programación de frecuencia por la transmisión del sintetizador
 - b).- Control de potencia de transmisión

- c).- Status de poleo por equipo
- d).- Relación señal a ruido (usado para generar un voltaje para el apuntamiento de la antena)
- e).- Cuando el ORU es poleado, el monitor transmite señales de datos hacia el DPU, reportando los siguientes status:

- Resumen de fallas del ORU
- Nivel de potencia de salida de RF

El cable *IFL* es sólo un cable coaxial de 50 Ohms con baja pérdida y gran aislamiento, el tipo general es el RG-58V (Para instalaciones de *IFL* hasta los 140 pies de distancia) o el RG-8V (Para instalaciones *IFL* entre 140 y 400 pies de longitud).

El paso más importante en el diseño del cable *IFL*, es la selección y medición del camino por el cual corre el cable. La medición de la longitud total del recorrido del cable al DPU, incluye vueltas en la antena y la localización de la entrada del equipo.

Montaje e instalación de la antena

Criterios para la selección del lugar de la antena

Las siguientes condiciones deben ser satisfechas para una apropiada y segura instalación de la antena.

1.- La antena debe tener línea de vista hacia el satélite. En el emisferio septentrional son localizados los satélites en un arco sobre el espacio meridional, con el mayor punto del arco dentro del sur. La línea de vista de la antena es un cilindro

imaginario del diámetro de la antena en dirección del satélite deseado. Edificios, árboles, cableados, u otros objetos no deben estar dentro de este cilindro, o la señal será obstruida.

2.- Si la antena es montada sobre un edificio, la superficie de montaje debe ser capaz de soportar los considerables vientos sobre la antena.

En montajes sobre techo, especialmente deberán ser diseñadas cuidadosamente las antenas ya que se corre el riesgo de sufrir accidentes.

3.- Para instalaciones en azoteas altas, se deben proveer los medios para el movimiento de los componentes de la antena por la azotea. El plato de 1.8 mts es un sólo molde de fibra de vidrio o metal en forma de óvalo, de 1.6 por 2 mts (6x6.5 pies), con 30 cm (12 pulgadas) de fondo. La antena de 2.4 mts es 2.4x2.75 mts. (8x9 pies) por 46 cm. (1 pulgada) de fondo.

4.- Debe ser considerada la seguridad física en la instalación de la antena. El acceso público a la antena debe ser generalmente restringido. Para instalaciones en tierra, una cerca es requerida. Esta cerca debe ser instalada bastante lejos de la antena en dirección del satélite, para evitar la obstrucción de señales.

5.- La antena debe ser colocada también con el cable *IFL* utilizando el menor camino, la mayor distancia entre estos debe ser de 400 pies (122 mts.). Para cables que corren sobre la tierra, se requiere cable especial que es proporcionado por el fabricante del equipo. La entrada del cable hacia los edificios debe ser a prueba de agua.

6.- La estructura de la antena debe ser aterrizada para reducir problemas de interferencia y para protección eléctrica.

Los montajes sobre tierra generalmente requieren una varilla o reglilla aterrizada, dependiendo de la resistencia y sólidez del terreno. Las antenas montadas en edificios son generalmente amarradas al sistema de tierras de la construcción. El aterrizamiento debe encontrarse en toda la localidad y las luces de protección de acuerdo a códigos nacionales.

7.- La antena debe tener seguridad de acceso para mantenimiento del equipo electrónico. Acceso de mantenimiento por cualquier problema que se presente, especialmente para montaje de antena en pared.

8.- Las instalaciones deben reunir los códigos locales de construcción y códigos eléctricos de protección contra incendios.

Tipos de montajes

Montajes de tierra

El mástil corto de montaje para antenas al nivel de la tierra, proporciona el método más económico de montaje estándar de antenas. Tiene la ventaja de reducir la interferencia de microondas, pero esta debe ser protegida contra el acceso público.

Montajes de pared

Para montajes permanentes de antenas de 1.8 mts. sobre pared de edificios, existen dos montajes disponibles.

Montajes sobre columnas son utilizados para construcciones con estructuras de madera y un montaje similar es usado para concreto y muros de blocks de concreto. Las

puntas del montaje y la entrada del cable *IFL* a el edificio debe ser sellada contra el agua, después de que la instalación física este terminada.

Montajes sobre azoteas no perforables

El montaje en azoteas no perforables no es amarrado a la estructura del edificio, pero es estabilizado por un lastre (concreto, saco de arena u otro peso) para mantener el montaje en posición contra las corrientes de aire.

Montajes sobre azoteas y edificios para antenas de 2.4 mts.

Porque las cargas de aire en la antena de 2.4 mts. son más del doble que para una antena de 1.8 mts. Este montaje se hace con un tubo de 6 pulgadas de diámetro con un claro sobre el soporte de 60 pulgadas. Este tubo debe ser fijado a la estructura de la construcción que pueda en forma segura soportar las cargas de viento en la antena.

Instalación de la antena

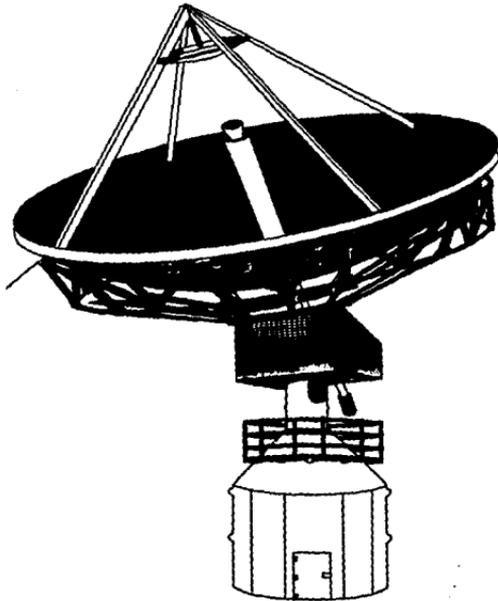
Referirse a las instrucciones proporcionadas por el fabricante de la antena para armar e instalar.

Aterrizaje de antenas

En cada instalación, el montaje del mástil para la antena debe ser seguramente aterrizado. El montaje de antenas en azoteas debe ser amarrado al sistema de protección de tierra contra rayos del edificio, si uno esta instalando, la antena debe ser aterrizada de acuerdo con las recomendaciones de protección contra rayos.



CALCULO Y DISEÑO



3.1 FUNCIONAMIENTO CALCULO Y DISEÑO DE UNA RED VSAT UTILIZANDO UN SOLO SATELITE

El término VSAT (Very Small Apertura Terminal) terminal de apertura muy pequeña, ha sido introducido por los fabricantes para especificar una estación terrena que emplea una antena de tamaño pequeño, generalmente 1.8m y 2.4m de diámetro. Sin embargo a nivel mundial no existe un criterio general que determine el diámetro máximo y mínimo de una antena para considerarla como VSAT.

Se puede dividir la evolución de las redes VSAT en tres distintas etapas o generaciones:

Primera generación

Después de muchos años de estudios iniciales para determinar la factibilidad de las redes de pequeña apertura, la primera generación de VSAT's aparece en 1980, conjuntamente con una nueva generación de satélites de alta potencia que podían utilizar las pequeñas estaciones terrenas. La aplicación principal de esta generación de productos era la transmisión de datos en una sola vía. Trabajaban en banda C utilizando técnicas de modulación de espectro expandido, con una tasa generalmente menor de 9600 bps. Las primeras aplicaciones incluyeron las redes de servicios de prensa.

Durante esta primera etapa también se dieron los primeros pasos en el desarrollo de métodos de acceso al satélite que permiten la transmisión eficiente de datos en dos vías.

Segunda generación

Esta generación tuvo su comienzo alrededor de 1983 con la introducción del primer sistema de dos vías, que todavía trabajaba en banda C y a bajas velocidades. Posteriormente se lanzó la primera red VSAT de alta velocidad en banda Ku. Estas pronto se hicieron muy populares debido a su mayor velocidad y los procedimientos para obtener las licencias eran mucho más sencillos.

En esta etapa se comienzan a desarrollar verdaderamente los conceptos y tecnologías de arquitecturas y manejos de red. A pesar de que estas redes probaron su valor en el mercado, no proveen el mismo nivel de flexibilidad y compatibilidad con redes terrestres como lo hacen las redes VSAT de tercera generación.

Tercera generación

Esta apareció durante 1987, tiene definidas en forma amplia las características más importantes que la diferencian de las anteriores y son las siguientes:

- *Redes conmutadas, basadas en arquitecturas de comunicación de datos estándares, tales como X.25.*
- *Sistema multiprotocolo - multipuerto.*
- *Mejoras técnicas de manejo de ancho de banda, lo cual permite perfeccionar los esquemas de acceso al satélite y por lo tanto aumenta la capacidad.*
- *Compatibilidad con redes híbridas.*
- *Alto grado de definición de los sistemas mediante software.*
- *Acercamiento a la transparencia en las aplicaciones.*

Descripción General

Una red VSAT básicamente consiste en una estación terrena maestra, conocida como estación central o HUB Station, y varias estaciones remotas distribuidas geográficamente incluso en la misma localidad, la cual es capaz de intercambiar información con cada una de las estaciones remotas, no teniendo influencia la distancia a la que se encuentren entre sí las dos estaciones (maestra y remota) equipadas con antenas de diámetro pequeño (normalmente el diámetro de estas antenas es de 1.8m y 2.4m) llamadas estaciones VSAT's (*Very Small Aperture Terminals*).

Las redes VSAT están diseñadas sobre la sofisticada tecnología de conmutadores de paquetes X.25, internacionalmente probados. El conmutador de paquetes proporciona manejo de recuperación de error, control de flujo terminal a terminal y otras importantes funciones de manejo del enlace. Las estaciones remotas están diseñadas para operaciones durables a un costo efectivo; estas estaciones incluyen una antena de fácil instalación, una unidad de R.F. exterior (ORU) y equipo interno o unidad de procesamiento de datos (DPU).

La estación maestra (HUB) actúa como el nodo de conmutación central de la red. La conexión entre las distintas VSAT's se realiza siempre a través de la estación maestra, lo cual permite tener en todo momento el monitoreo de todas las transmisiones que realizan cada una de las estaciones remotas, así como para poder estar verificando su estado y asegurar una transmisión confiable. En la figura 3.1 se muestra el esquema de configuración de la red.

La estación maestra consiste de una antena que generalmente es de 4.5m o 7.6m de diámetro, estas no son las únicas medidas que hay en el mercado para las antenas maestras, esto dependerá principalmente del fabricante, pero sí son las medidas más

comunes para trabajar en banda Ku, además, la estación maestra también cuenta con el equipo de radio frecuencia necesario para la transmisión de la información (convertidores de subida, convertidores de bajada, *LNA*'s, amplificadores de potencia), todos estos equipos se encuentran de forma redundante para que en caso de falla de alguno de estos equipos se conmute inmediatamente el equipo redundante o de respaldo y los enlaces no se lleguen a perder, a lo más el usuario únicamente tendrá retransmisiones de tramas en el momento de la conmutación o la pérdida momentánea del enlace. También cuentan con todo el equipo de frecuencia intermedia ó equipo de banda base, estos ya son los equipos que constituyen a la maestra en sí y consta de: conmutadores de paquetes, transmisores (*TMMC*'s), receptores (*RMCC*'s), equipos *PAD*'s, controlador de la red (*NCS*), chasis de expansión, y la unidad de distribución, así como de terminales suficientes para el monitoreo y control de la red.

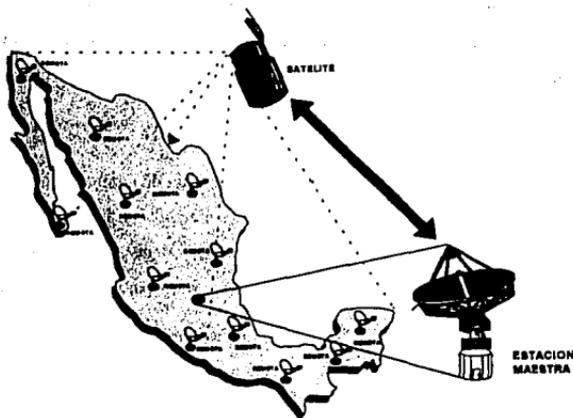


Figura 3.1 Esquema de configuración de la red

Las redes VSAT son diseñadas de esta manera para proporcionarnos flexibilidad, modularidad y crecimiento en el momento que se requiera, este crecimiento dependerá de los equipos de control de la red, ya que estos tienen un límite de puertos de control para los equipos que componen la red y es lo que principalmente nos limitaría la expansión de la misma, para el caso del NCS si se tiene en su configuración máxima de tarjetas se podrá tener acceso a aproximadamente 48 puertos de control para equipos transmisores y receptores (*TMCC's* y *RMCC's*) equipos *PAD* y chasis de expansión, el tener esta configuración ya nos habla de una red de una gran capacidad, generalmente las redes que podrían llegar a esta configuración son las redes públicas, y éstas aún no llegan a su máxima capacidad de uso para el caso de las dos redes públicas que actualmente se encuentran instaladas en México, ya que la configuración con la que cuentan no sobrepasa el acceso de 20 puertos de control. En el caso de redes privadas no hay ningún problema ya que el controlador de red con una configuración mínima de tarjetas estará sobrado en capacidad para poder expandir la red cuando sea necesario. En este caso dependerá mucho el modelo de conmutador de paquetes con que cuente la red privada, ya que los conmutadores de paquetes para redes privadas son más pequeños y de menor capacidad de tráfico que los utilizados en las redes públicas.

Las redes VSAT cuentan con un software muy sofisticado capaz de dar confiabilidad en el manejo de datos y control de la red, pero también por medio del software se tienen limitaciones respecto al número de módulos *TMCC's* y *RMCC's* que se podrán dar de alta en la base de datos, este número de módulos no deberá exceder de 16 *TMCC's* para portadoras de subida (*outlink's*) y 32 *RMCC's* para portadoras de bajada (*returnlink's*), esto es para la configuración de una red del proveedor *Scientific Atlanta*, que es el que tomaremos como referencia por ser uno de los proveedores que más redes VSAT tiene instaladas aquí en México.

Las estaciones maestras equipadas con conmutadores de paquetes X.25 soportan la conexión de circuitos virtuales permanentes o conmutados, el conmutador de paquetes realiza un amplio rango de funciones de la red como son:

- Manejo de todo el tráfico de la red
- Compilación de estadísticas de tráfico
- Detección de fallas de las estaciones remotas
- Cambios en la configuración del sistema

El conmutador de paquetes es el punto focal de todo el tráfico de la red, mismo que además maneja funciones auxiliares tales como control de redundancia y procedimientos de diagnóstico de datos total de los host.

La configuración del conmutador de paquetes se define por el número de CPU's de procesamiento en paralelo, memoria de acceso aleatorio total y la configuración de las tarjetas de puerto. Hay un número de características importantes para dimensionar la red. La carga de tráfico total que el conmutador de paquetes maneja incluye:

- Tráfico de salida de Host (*outbound*)
- Tráfico de entrada del Host (*inbound*)
- Tráfico de NCS
- Tráfico de diagnóstico/descarga y tráfico de restauración de servicio

El tráfico de host equivale al 95% o más de la carga de tráfico total; la carga es medida en paquetes/segundo. El conmutador de paquetes se dimensiona adicionando a los requerimientos de outbound e inbound aproximadamente un 5% para los mensajes de NCS.

En adición a la carga de tráfico, la cantidad de circuitos virtuales también contribuye al tamaño del conmutador de paquetes. El número de circuitos virtuales activos (pico) en una red, determinan la memoria requerida en el conmutador de paquetes. La cantidad de circuitos virtuales en la red, es igual a la suma de todos los dispositivos activos conectados simultáneamente a los puertos de datos en todas las estaciones remotas.

En resumen se utilizan tres factores para seleccionar un conmutador de paquetes:

- 1- Requerimiento total de paquetes por segundo*
- 2- Tamaño del paquete promedio esperado*
- 3- Considerar los circuitos virtuales*

Las interfaces del host, las interfaces del demodulador del enlace de subida (*oulink*) y la ráfaga del demodulador se conectan al conmutador de paquetes utilizando tarjetas de puerto. Las tarjetas de puerto se conectan al chasis de expansión, el conmutador de paquetes activo y el de reserva comparten el mismo chasis de expansión con las tarjetas de puerto. Cada chasis de expansión tiene capacidad hasta para 16 tarjetas de puerto. El conmutador de paquetes del usuario VSAT consistirá de un solo chasis de expansión, éste puede ser expandido hasta acomodar tres expansores adicionales.

El chasis de expansión soporta dos tipos de tarjetas de puerto, asíncronas y síncronas. Las tarjetas asíncronas soportan 8 puertos de baja velocidad, los cuales operan a velocidades de hasta 19.2 Kbps. las tarjetas síncronas soportan 4 puertos de alta velocidad, los cuales operan a velocidades de 64 Kbps.

En el caso de una red pública con una configuración de múltiples chasises de expansión trabajando en conjunto se puede tener capacidad para operar con aproximadamente 300 puertos host

Dentro de la puesta en operación de las estaciones terrenas, el ajuste de los niveles de la señal es muy importante. El procedimiento se inicia con el ajuste del PIRE de la estación terrena, para posteriormente realizar los ajustes de niveles a la entrada y a la salida de cada uno de los subsistemas involucrados en la estación y finalmente realizar los ajustes a las interfaces de las señales transmitidas y/o recibidas ya sea para voz, datos, fax, video, etc.

Para el caso de México las características de transmisión están basadas en los parámetros técnicos de los Satélites Nacionales como son: el PIRE, la G/T, y la densidad del flujo en saturación.

Las redes VSAT generalmente están regidas por los estándares o recomendaciones del CCITT, así como de los organismos internacionales dedicados a la normalización de todos y cada uno de los parámetros involucrados. Estas redes se basan en los métodos de enlace entre DTE y el DCE dados por el tipo de protocolo que manejan, generalmente, estas redes por diseño manejan el protocolo X.25 (Recomendación X.25 del CCITT), aunque son tan versátiles que tienen la capacidad de trabajar con otros tipos de protocolos como son además del X.25 el SDLC y Asíncrono.

Las estaciones remotas tipo VSAT consisten de una unidad de procesamiento digital (DPU), la cual contiene la electrónica necesaria para lograr la interface con el equipo del usuario, una unidad exterior de radiofrecuencia (ORU), que es la que recibe y por la que se transmiten las señales del satélite y una antena de 1.8m o 2.4m de diámetro.

El DPU se encarga de realizar la conversión del protocolo del usuario a los internos para la transmisión a través de la red. Todos estos elementos fueron descritos con más detalle en el capítulo II. El canal que utiliza el proveedor de Scientific Atlanta es de 64 Kbps tanto en el *outlink* como en el *retunlink*.

Todo lo que se realiza desde la estación maestra hacia las VSAT's se hace en un canal multiplexado en tiempo del tipo *TDM*, el cual es recibido por todas las estaciones remotas. Este canal generalmente es un múltiplo de 64 Kbps, con valores máximos típicos de 512 Kbps o 1.5 Mbps. Las estaciones tipo VSAT reciben la información que esta destinada a ellas mediante una dirección codificada en el paquete de información.

La mayoría de las estaciones maestras que actualmente se encuentran funcionando en México, y que solo son para la transmisión de datos trabajan en banda **Ku**, aunque también puede haber redes de este tipo que trabajen en banda **C**, pero ya tienen la implementación para trabajar con voz, estas redes generalmente están implementadas en países de primer mundo por su alto costo.

En México se va a implementar una red pública de este tipo para dar servicio a todas las empresas que necesiten transmitir datos y voz en *TELECOMM*, esta red ya no trabajará bajo el protocolo X.25, sino bajo el protocolo *Frame Relay*.

En general los enlaces de comunicación a través de la banda **C** pueden proporcionar un servicio de muy alta calidad, ya que en este rango de frecuencias la atenuación por lluvia es despreciable; sin embargo, en zonas urbanas los enlaces por satélite pueden ser afectados por interferencias ocasionadas por sistemas de microondas que operen en la banda de 4 y 6 GHz. En el caso de la banda **Ku** los problemas de

interferencia no afectan, pero se deberán considerar los niveles de atenuación por lluvia principalmente en los sitios donde se establezcan los enlaces.

Uno de los aspectos importantes del uso de la banda Ku, es que se pueden tener antenas de menor tamaño con altas ganancias, debido a que la ganancia de una antena es proporcional a la frecuencia y la frecuencia es inversamente proporcional a la longitud de onda.

En México se han realizado estudios respecto a los niveles de atenuación por lluvia en diferentes regiones del país, basados en las estadísticas de lluvias y de algunos modelos matemáticos, en la figura 3.1-a y 3.1-b se muestran los resultados obtenidos de estos estudios y las diferentes zonas en la república mexicana.

ZONA GEOGRAFICA		CONFIABILIDAD					
		99.99%	99.95%	99.92%	99.90%	99.80%	99.50%
NOR OCCIDENTE	TX	8.0	6.8	5.3	3.5	3.0	1.8
	RX	8.0	4.6	3.3	1.5	1.0	----
NOR CENTRO	TX	8.4	4.8	2.9	1.3	1.0	----
	RX	3.4	2.5	0.8	----	----	----
GOLFO NORTE	TX	12.7	11.0	10.0	9.8	6.8	3.6
	RX	10.7	9.0	6.0	7.2	4.8	1.6
CENTRO	TX	11.9	10.2	8.2	6.3	4.2	2.2
	RX	9.8	8.2	6.2	4.3	2.2	0.2
PACIFICO CENTRO	TX	12.5	11.2	10.7	8.5	5.9	3.6
	RX	10.5	9.2	6.7	6.5	3.9	1.6
ITSMO	TX	12.2	11.3	10.5	8.2	5.8	2.6
	RX	10.2	9.3	8.5	6.2	3.8	0.6
YUCATAN	TX	13.9	12.3	11.1	8.9	6.0	2.9
	RX	11.9	10.3	9.1	6.9	4.0	0.9

Figura 3.1-a Estadísticas de lluvia en diferentes regiones del país



Figura 3.1-b Zonas geográficas para la aplicación de los márgenes de lluvia

El esquema de acceso al satélite de Scientific Atlanta proporciona la mejor mezcla de técnicas de acceso al satélite, características de bajo retardo de los protocolos aloha y la estabilidad de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), automáticamente se adopta la técnica más adecuada para cada aplicación del usuario VSAT, como lo dicten las condiciones de tráfico. La ventaja clave de este sistema es que ofrece un retardo de paquetes mínimo durante cargas de tráfico normal, mientras que evita la saturación del canal si ocurren picos de tráfico inesperados.

Las señales suben al satélite en el rango de frecuencias correspondiente en el que opere la maestra, ya sea en banda C o en banda Ku, dependiendo el tipo de diseño de la estación maestra. Las técnicas de acceso al satélite son TDM de la estación maestra a las

remotas y *TDMA* de las estaciones remotas hacia la maestra, la modulación empleada generalmente es *BPSK* (*Binary Phase Shift Keying*) y *QPSK* (*Quadrature Phase Shift Keying*), las cuales aseguran el *BER* (*Bit Error Rate*) más bajo posible y minimizan el uso de la potencia y ancho de banda del satélite.

Para los servicios comerciales las bandas de frecuencias están basadas en las atribuciones que establece la U.I.T. para los servicios fijos por satélite (bandas **C** y **Ku**), las bandas de frecuencia empleadas en los sistemas VSAT son:

Banda C

- De 3700 a 4200 MHz en enlace descendente
- De 5925 a 6425 MHz en enlace ascendente

Banda Ku

- De 11700 a 12200 MHz en enlace descendente
- De 14000 a 14500 en enlace ascendente

En el sistema el enlace ascendente (hacia el satélite) de la estación maestra hacia las estaciones remotas, se conoce comúnmente como *outlink*, y el enlace descendente del satélite de una o más estaciones remotas hacia la estación maestra se conoce como *returnlink*.

Dentro de las alternativas y requerimientos que tenemos para este tipo de redes podemos mencionar los estándares internacionales del CCITT, primer Comité Internacional que controla lo concerniente a los sistemas de voz y datos. Este Comité indica o recomienda a nivel mundial, sobre el tipo de interfaces que deben ser utilizadas en los sistemas de comunicación para la transmisión de datos, voz, etc., de los cuales sobresalen la **V.24 (RS-232)**, **X.25** y **V.35**.

Los *outlink's* están diseñados para optimizar la utilización del segmento espacial, por lo que el usuario de este tipo de redes (en el caso de redes públicas o privadas) no incurre en costo de segmento espacial innecesario, debido a que la mayoría de las estaciones maestras utilizan portadoras de subida de 64 Kbps, de los cuales 8 Kbps son de control quedando una portadora de 56 Kbps, además, dependiendo de la capacidad de la red será el ancho de banda que se rentará a *Telecomunicaciones de México*, evitando el pago innecesario de segmento espacial que no estemos utilizando.

Por conveniencia el término de enlace ascendente será utilizado para identificar transmisiones de una estación terrena, ya sea, de maestra o remota hacia el satélite; y el término enlace descendente será utilizado para identificar transmisiones del satélite a una estación terrena maestra o remota. En la figura 3.1-c se muestra este concepto.

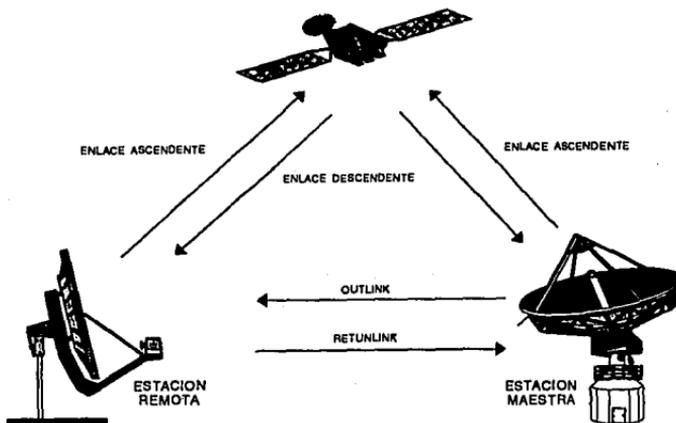


Figura 3.1-c Concepto de enlace ascendente y enlace descendente

Una de las principales ventajas que ofrecen las redes VSAT, es que tienen un retardo mínimo de paquetes durante cargas de tráfico normal, evitando la saturación en el canal si se presentan picos inesperados en el tráfico de las estaciones terrenas remotas.

Es de gran importancia el tener y mantener un control sobre las posibles interferencias que se puedan presentar con la instalación de estaciones terrenas, en general para el caso de los Estados Unidos Mexicanos, la dependencia encargada de llevar un registro de todas las estaciones terrenas transmisoras es la SCT. Por medio de TELECOMM realiza un estudio de acuerdo a los parámetros técnicos para cada una de las estaciones terrenas, con el fin de reducir las posibles interferencias que pudieran presentarse.

En el caso de los sistemas TDM y SCPC, típicamente requieren de una relación portadora a ruido de interferencia (C/I) mayor o igual a 25 dB. Para los sistemas de acceso múltiple de espectro expandido, se ha observado que resisten mayores niveles de ruido e interferencia, comparados con los sistemas SCPC y TDM.

El sistema de control de la red tiene un manejo comprensivo y fácil de ésta, mediante un software muy amigable del tipo de ventanas, con opciones de menú y terminología sencilla, así mismo, provee al operador de la red la facilidad de monitoreo, configuración y control de la red. Estos elementos se combinan para crear una red de datos inteligente, flexible y operacional, dándole así las ventajas y la confiabilidad que necesitan las empresas o instituciones públicas que adquieren este tipo de redes o bien a las empresas o instituciones que rentan este tipo de servicio en las redes públicas.

Para proporcionar una máxima flexibilidad en la estación remota se utiliza software múltiple por paquetes ensambladores/desensambladores (PAD's), el cual soporta

diferentes protocolos y velocidades, este software es enviado desde la estación maestra dependiendo de los parámetros que se tengan configurados en la base de datos de la estación maestra para cada puerto de la estación remota, adicionalmente cada puerto puede ser configurado como equipo terminal de datos (DTE) o equipo de terminación de circuito de datos (DCE), el cual podrá usarse para acceder una terminal directamente o un modem.

El sistema tiene la capacidad de operar en modo completamente desatendido en las estaciones remotas, ya que cada estación remota es capaz de indicarle a la estación maestra el momento en que su estado no es operativo, en caso de que el equipo DPU o el ORU presentarán alguna falla interna, esta se manifestaría en las consolas de monitoreo con las alarmas correspondientes al tipo de falla, perdiéndose el enlace por completo la mayoría de las veces que sucede esto, la falla también se puede deber a un factor externo como por ejemplo un corte en el suministro de energía, o simplemente atenuación en los niveles tanto de transmisión como de recepción a causa de la lluvia.

En la figura 3.1.d se muestra el diagrama a bloques de una estación maestra, la cual esta compuesta por la etapa de recepción (antena), la etapa de radiofrecuencia, la etapa de frecuencia intermedia (subsistema de banda base), y la etapa de monitoreo y control. Cada una de estas etapas fueron descritas con detalle en el capítulo II.

En la figura 3.1.e se ejemplifica el seguimiento de la señal en el caso de una red pública desde que la información sale de las instalaciones del usuario, hasta que llega a alguna de sus estaciones remotas. Primeramente la señal es generada por el usuario, posteriormente debe de haber un medio por el cual se enlace hacia la estación maestra, este medio dependerá de la distancia que haya desde sus oficinas centrales, hasta la estación maestra. Si éstas estan ubicadas en el Distrito Federal, el enlace de última milla

podrá realizarse por medio de un radiomodem, o bien por medio de un equipo de microondas a una velocidad máxima de 64 Kbps, siempre y cuando la distancia no exceda de aproximadamente 30 Km con línea de vista, esta distancia podrá variar dependiendo de las características de potencia del equipo, también se podrá utilizar un modem telefónico, pero en este caso la velocidad máxima que podremos manejar será de 9.6 Kbps en el mejor de los casos.

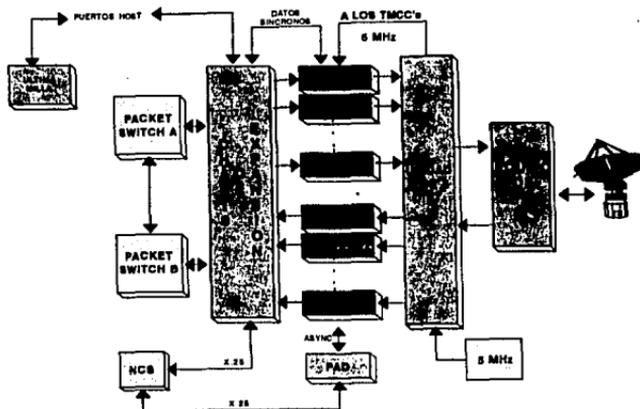


Figura 3.1-c Diagrama a bloques de una estación maestra.

En el caso de que las instalaciones se encuentren fuera del Distrito Federal (Estado de México) o cualquier estado del interior de la república, el enlace ya no contará con línea de vista y por consiguiente ya no podrá hacerse por medio de un radiomodem o un equipo de microondas; sino que ahora se tendremos que utilizar un enlace satelital

dedicado o *SCPC (Single Channel Per Carrier)*, con el cual no habrá ningún problema para acceder a la estación maestra, la velocidad en este caso también será como máxima de 64 Kbps, otra opción que no es muy segura, es utilizar nuevamente un modem telefónico aunque ahora como la distancia es mayor se pueden tener pérdidas del enlace continuamente por fallas en la línea telefónica o por ruido en la misma.

El modem telefónico únicamente se utiliza como respaldo en caso de que alguna estación remota o bien el enlace de última milla ya sea terrestre o satelital fallaran. Otra de las opciones para acceder a la estación maestra es por medio de fibra óptica a través de la *Red Digital Integrada (RDI)*, esta opción no es muy común ya que es más costosa por el equipo que se tiene que adquirir, pero es muy confiable, solamente en las redes públicas se tiene esta implementación.

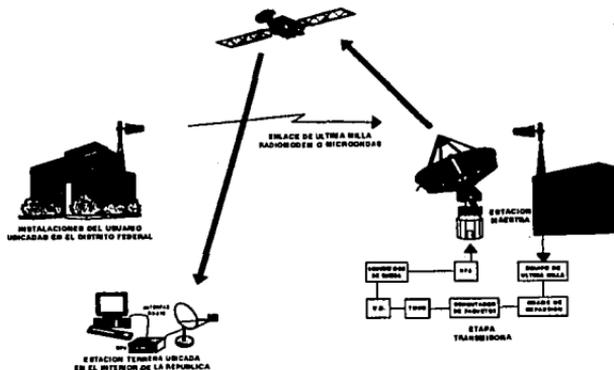


Figura 3.1-e Seguimiento de la información del host central del usuario a una de sus estaciones remotas

Una vez que la señal llega a la estación maestra por medio del enlace de última milla, ésta se lleva hasta el chasis de expansión de la red por medio de una interfaz RS-232 o V.35, y esto generalmente dependerá de la velocidad de los equipos de última milla que estén utilizando; la señal ya viene empaquetada en el protocolo X.25 de la estación maestra independientemente del protocolo que este utilizando el usuario en su aplicación, el empaquetamiento lo realizan conjuntamente tanto el DPU como el equipo del usuario.

Teniendo la señal en el chasis de expansión, es canalizada al conmutador de paquetes, el cual verifica la información y checa la ruta que vienen en el paquete de información de la trama enviada, y enruta este tráfico a su destino por medio del Transmisor (*TMCC*) o bien el *outlink* que le corresponda a la estación remota a la que vaya dirigida la información, una vez que la señal sale del *TMCC* es inyectada a la unidad de distribución, la cual se encarga de juntar todas las señales de todos los *TMMC's* y *RMCC's* por separado sin que estas se revuelvan, es decir, transmisión y recepción; la transmisión la manda al convertidor de subida, el cual a su vez esta conectado al *HPA* (amplificador de alta potencia) que es el que le dá la potencia requerida a la señal para mandarla al complejo de la antena, y posteriormente ser enviada hacia el satélite.

La información proveniente de la maestra es seleccionada por la estación remota correcta debido a la dirección que lleva la trama de información, descartando toda la información que no corresponda a esa estación remota en particular. Además la dirección que contiene la trama debe de coincidir con la dirección que esta configurada en la tarjeta *PAD* de equipo DPU y que es única para cada estación remota.

En toda la red no podrá haber dos equipos configurados con las mismas direcciones, ya que en el momento de dar de alta una segunda estación remota en la base de datos de la estación maestra, si al configurar ésta, se repite la ruta asignada

anteriormente a otra estación remota, el software de la estación maestra identifica inmediatamente que la ruta que se quiere asignar ya existe, impidiendo la configuración de la nueva estación remota, obligándonos a cambiar la dirección por otra diferente.

Una vez que la información llega al DPU esta es reconocida, desempaquetada y mandada por medio de una interfaz RS-232-C al equipo de computo del usuario, el cual empieza a procesar esta información en su aplicación y equipo correspondiente.

En la figura 3.1-f se ejemplifica ahora la trayectoria de la información desde que es generada por la estación remota, hasta llegar al host central del usuario. La información sigue el mismo camino descrito anteriormente pero ahora en sentido inverso. Una vez que la información llega a la estación maestra por medio de la antena, es canalizada al convertidor de bajada a través del complejo de la antena, el que a su vez traslada la información a la unidad de distribución y posteriormente pasa al receptor (*RMCC*) que le corresponde, ya una vez estando en el módulo receptor, la información es trasladada al conmutador de paquetes, el que nuevamente verifica la ruta de destino y enruta la información al puerto correspondiente del chasis de expansión, y posteriormente por medio de la interfaz al equipo de última milla del usuario, llegando nuevamente al host central del usuario.

Un punto importante a destacar es el cálculo del enlace satelital, las fórmulas que se requieren para realizar dicho cálculo ya fueron descritas en el capítulo I. Ahora veremos el cálculo real del enlace entre la estación maestra de Banca Serfín ubicada en el Distrito Federal y una estación remota ubicada en la Ciudad de Tijuana; se toma como referencia para el cálculo del enlace al estado de Tijuana por ser uno de los estados en el que se presentan las condiciones más críticas.

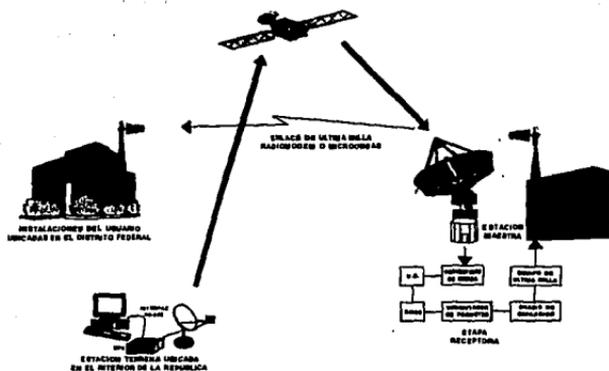


Figura 3.1-f Trayectoria de la información de la estación remota al host central del usuario

A continuación se especifican los puntos a desarrollar en el cálculo del enlace y posteriormente se irán desarrollando cada uno de éstos con las fórmulas vistas en el capítulo I sustituyendo los valores reales.

1) Datos

- a) Datos del satélite
- b) Datos de la señal a transmitir
- c) Datos de las estaciones terrenas transmisora y receptora
- d) Datos del satélite para las localidades de interés
- e) Datos de densidad de interferencia

II) Cálculos preliminares

a) Ancho de banda

b) Apuntamiento de la antena y distancia al satélite

III) Enlace ascendente

a) Pérdidas en el espacio libre ascendente

b) Relación $(C/N_o)_{ASC}$

c) Relación portadora a ruido $(C/N)_{ASC}$

d) Relación portadora a ruido ascendente del sistema $(C/N)_{ASC, SIST}$

IV) Enlace descendente

a) PIRE del satélite

b) Pérdidas por espacio libre descendentes

c) Figura de Mérito de la antena ubicada en tijuana

d) Relación $(C/N_o)_{DESC}$

e) Relación portadora a ruido descendente $(C/N)_{DESC}$

f) Relación portadora a ruido descendente del sistema $(C/N)_{DESC, SIST}$

V) Evaluación del enlace

a) Relación portadora a densidad de ruido total del sistema

b) Relación portadora a ruido requerido

c) Margen del enlace

1) Datos**a) Datos del satélite**

Satélite	Morelos II
Longitud	116.8 ° O
Banda de operación	Ku
Frecuencia ascendente	14.168 GHz
Frecuencia descendente	11.868 GHz
Tipo de transpondedor	2K
Back-Off de entrada (BOI)	8 dB
Back-Off de salida (BOO)	4.5 dB
Atenuador de posición (ATP)	9 dB

b) Datos de la señal a transmitir

Velocidad	64 Kbps
Modulación	BPSK
Roll-Off	14 %
F.E.C.	0.5
B.E.R.	1.0E-07
F.M.	1
Eb/No	5.5

c) Datos de las estaciones terrenas transmisora y receptora

	México D.F.	Tijuana B.C.	
Latitud	19.35	32.52	°N
Longitud	99.01	117.01	°O
Diámetro de la antena	7.6	1.8	m
Ganancia de la antena Tx	58.9	46.31	dB
Ganancia de la antena Rx	57.28	45.0	dB
Temperatura del sistema	125	125	°K

d) Datos del satélite para las localidades de interés

	México D.F.	Tijuana B.C.
D.F.S.	-89.88	-88.90
PIRE	48.43	45.43
G/T	2.98	2.0

e) Densidad de interferencia

Intermodulación	ASC = 30	DESC = 18
Polarización cruzada	ASC = 35	-----
Satélite adyacente	ASC = $G_{rx} - (29 - 25 \log 1.9)$	
	DES = $G_{rx} - (29 - 25 \log 1.9)$	

II) Cálculos preliminares**a) Ancho de banda (AB)**

$$AB = V_{NF} (F.E.C.)^4 (F.M.) (Roll-Off)$$

$$AB = 64 (0.5)^4 (1) (1.14)$$

$$AB = 145.92 \text{ KHz}$$

b) Apuntamiento de la antena y distancia al satélite**México****Angulo de azimut**

$$A' = \tan^{-1} [\tan (\text{Long Sat} - \text{Long E/T}) / \text{Sen Lat E/T}]$$

$$A' = \tan^{-1} [\tan (116.8 - 99.01) / \text{Sen } 19.35]$$

$$A' = 44.0806^\circ$$

Debido a que la estación en México se encuentra al *Este* del satélite se ocupa la siguiente relación.

$$A = 180 + A'$$

$$A = 180 + 44.0806$$

$$A = 224.0806^\circ$$

Angulo de elevación

$$E = \tan^{-1} \left[\frac{R - \text{Re}(w)}{[\text{Re Sen} (\text{Cos}^{-1} w)]} \right] - \text{Cos}^{-1} w$$

$$w = \text{Cos Lat E/T} [\text{Cos} (\text{Long Sat} - \text{Long E/T})]$$

$$w = \cos(19.35) [\cos(116.8 - 99.01)]$$

$$w = 0.8983$$

$$R = 42164.2 \text{ km (distancia promedio del centro de la tierra al satélite)}$$

$$R_e = 6378.155 \text{ km (radio promedio de la tierra)}$$

$$E = \tan^{-1} [42164.2 - 6378.155(0.8983) / 6378.155 \sin(\cos^{-1} 0.8983)] - \cos^{-1}(0.8983)$$

$$E = 59.5371^\circ$$

Distancia entre la E/T de México y el satélite Morelos II

$$D = [(R)^2 + (R_e)^2 - 2R_e(R) \sin[E + \sin^{-1} [(R_e/R) \cos E]]]^{1/2}$$

$$D = 36542.32 \text{ Km}$$

Tijuana

Angulo de azimut

$$A' = \tan^{-1} [\tan(\text{Long Sat} - \text{Long E/T}) / \sin \text{Lat E/T}]$$

$$A' = \tan^{-1} [\tan(116.8 - 117.01) / \sin 32.52]$$

$$A' = -0.3906^\circ$$

Debido a que la estación en Tijuana se encuentra al oeste del satélite se ocupa la siguiente relación.

$$A'' = 180 - A'$$

$$A = 180 + 0.3906$$

$$A = 180.3906^\circ$$

Angulo de elevación

$$E = \tan^{-1} [R - Re(w) / Re \text{ Sen } (\text{Cos}^{-1} w)] - \text{Cos}^{-1} w$$

$$w = \text{Cos Lat } E/T [\text{Cos } (\text{Long Sat} - \text{Long } E/T)]$$

$$w = \text{Cos } (32.52) [\text{Cos } (116.8 - 117.01)]$$

$$w = 0.8431$$

$$E = \tan^{-1} [42164.2 - 6378.155(0.8431) / 6378.155 \text{ Sen } (\text{Cos}^{-1} 0.8431)] - \text{Cos}^{-1}(0.8431)$$

$$E = 52.1422^\circ$$

Distancia entre la E/T de Tijuana y el satélite Morelos II

$$D = [(R)^2 + (Re)^2 - 2Re(R) \text{ Sen } [E + \text{Sen}^{-1} [(R/Re) \text{ Cos } E]]]^{1/2}$$

$$D = 36946.33 \text{ km}$$

III) Enlace ascendente

a) Pérdidas en el espacio libre ascendentes

$$L_s = 20 \text{ Log } [4\pi DF/C]$$

$$D = 36542.32 \text{ km}$$

$$F = 14.168 \text{ GHz.}$$

$$C = 3E08 \text{ m/s}$$

$$L_s = 20 \text{ Log } [4\pi(36542.32 E03) (14.168 E9) / 3E08]$$

$$L_s = 206.7238 \text{ dB}$$

b) Relación (C/No)_{ASC}

$$(C/No)_{ASC} = PIRE_{BT} + (G/T)_{SAT} - K - L_s - \mu - L_a \quad [\text{dB-Hz}]$$

$$(G/T)_{SAT} = 2.98 \text{ dB}$$

$$K = -228.6$$

$$\mu = 4.2$$

$$L_a = 1$$

Se considera un PIRE de 44.8 calculado con un valor por portadora de 12.8 de acuerdo a la tarifa comercial para Morelos II

$$(C/No)_{ASC} = 44.8 + 2.98 - (-228.6) - 206.7238 - 4.2 - 1$$

$$(C/No)_{ASC} = 64.4262 \text{ dB-Hz}$$

c) Relación portadora a ruido (C/N)_{ASC}

$$(C/N)_{ASC} = (C/No)_{ASC} - 10 \text{ Log} (AB)$$

$$(C/N)_{ASC} = 64.4262 - 10 \text{ Log}(145.92E03)$$

$$(C/N)_{ASC} = 12.7850 \text{ dB}$$

d) Relación portadora a ruido ascendente del sistema

$$(C/N)_{ASC \text{ SIST.}}$$

$$(C/N)_{ASC \text{ SIST.}} = 10 \text{ Log} \left[1 / \left(1 / \text{Log}^{-1} \left((C/N)_{ASC} / 10 \right) + 1 / \text{Log}^{-1} \left((C/I) / 10 \right) + 1 / \text{Log}^{-1} \left((C/X)_{ADV} / 10 \right) + 1 / \text{Log}^{-1} \left((C/X)_{POL \text{ CRZ}} / 10 \right) \right) \right]$$

$$(C/I)_{\text{INTERMODULACION}} = 30 \text{ dB}$$

$$(C/X)_{\text{POL.CRZ}} = 35 \text{ dB}$$

$$(C/X)_{\text{SADY}} = G_{\text{TX}} - (29 - 25 \text{Log} 1.9)$$

$$(C/X)_{\text{SADY}} = 58.9 - (29 - 25 \text{Log} 1.9)$$

$$(C/X)_{\text{SADY}} = 36.868 \text{ dB}$$

$$(C/N)_{\text{ASC SIST}} = 10 \text{Log} [1 / \{1 / \text{Log}^{-1}(12.785/10) + 1 / \text{Log}^{-1}(30/10) + 1 / \text{Log}^{-1}(36.868/10) + 1 / \text{Log}^{-1}(35/10)\}]$$

$$(C/N)_{\text{ASC SIST}} = 12.6612 \text{ dB}$$

IV) Enlace descendente

a) Pire del satélite

$$\text{PIRE}_{\text{SAT}} = -\text{DFS}_{\text{TX}} - \text{ATP} + \text{BOI} - \text{LP}_{\text{ASC}} + \text{PIRE}_{\text{BT}} - \text{BOO} + \text{PIRE}_{\text{SAT(BO)}}$$

$$\text{LP}_{\text{ASC}} = 10 \text{ Log} (4\pi D^2)$$

$$\text{LP}_{\text{ASC}} = 10 \text{ Log} (4\pi (36542.32\text{E}3)^2)$$

$$\text{LP}_{\text{ASC}} = 162.248 \text{ dB}$$

$$\text{PIRE}_{\text{SAT}} = -(-89.88) - 9 + 8 - 162.248 + 44.8 - 4.5 + 45.43$$

$$\text{PIRE}_{\text{SAT}} = 12.362 \text{ dBW}$$

b) Pérdidas por espacio libre descendentes

$$L_s = 20 \text{ Log}(4\pi \text{DF}/C)$$

$$D = 36946.33 \text{ km}$$

$$F = 11.868 \text{ GHz}$$

$$C = 3E08 \text{ m/s}$$

$$L_s = 20 \text{ Log}[4\pi (36946.33 E03) (11.868 E09)/3 E08]$$

$$L_s = 205.28 \text{ dB}$$

c) *Figura de mérito de la antena ubicada en Tijuana (Rx)*

$$(G/T)_{BT} = G_{RX} - 10 \text{ Log}(T_s + \Delta T)$$

$$G_{RX} = 45$$

$$T_s = T_{LNA} + T_{ANT} = 90 + 35 = 125$$

$$\Delta T = [1 - \text{Log}^{-1}(-\mu_{DES}/10)] 275$$

$$\Delta T = [1 - \text{Log}^{-1}(-1.0/10)] 275$$

$$\Delta T = 56.559 \text{ °K}$$

$$(G/T)_{BT} = 45 - 10 \text{ Log}(125 + 56.56)$$

$$(G/T)_{BT} = 22.4098 \text{ dB °K}$$

d) *Relación (C/No)_{DES}*

$$(C/No)_{DES} = PIRE_{SAT} + (G/T)_{BT} - K - L_s - \mu - L_a \text{ [dB-Hz]}$$

$$(C/No)_{DES} = 12.362 + 22.4098 - (-228.6) - 205.28 - 1 - 1$$

$$(C/No)_{DES} = 56.091 \text{ dB}$$

e) Relación portadora a ruido (C/N)_{DESCENDENTE}

$$(C/N)_{DES} = (C/No)_{DES} - 10 \text{ Log (AB)}$$

$$(C/N)_{DES} = 56.091 - 10 \text{ Log (145.92E3)}$$

$$(C/N)_{DES} = 4.4498 \text{ dB}$$

f) Relación portadora a ruido descendente del sistema (C/N)_{DES SIST}

$$(C/N)_{DES SIST} = 10 \text{ Log} [1/[1/\text{Log}^{-1}((C/N)_{DES}/10) + 1/\text{Log}^{-1}((C/I)/10) + 1/\text{Log}^{-1}((C/X)_{SADY}/10) + 1/\text{Log}^{-1}((C/X)_{POL CRZ}/10)]]$$

$$(C/I)_{INTERMODULACION} = 18 \text{ dB}$$

$$(C/X)_{POL CRZ} = \text{NO HAY}$$

$$(C/X)_{SADY} = G_{RX} - (29 - 25 \text{ Log } 1.9)$$

$$(C/X)_{SADY} = 45 - (29 - 25 \text{ Log } 1.9)$$

$$(C/X)_{SADY} = 22.968 \text{ dB}$$

$$(C/N)_{DES SIST} = 10 \text{ Log} [1/[1/\text{Log}^{-1}(4.4498/10) + 1/\text{Log}^{-1}(18/10) + 1/\text{Log}^{-1}(22.968/10)]]$$

$$(C/N)_{DES SIST} = 4.20403 \text{ dB}$$

V) Evaluación del enlace

a) Relación portadora a densidad de ruido total del sistema

$$(C/N)_{TOT SIST} = 10 \text{ Log} [1/[1/\text{Log}^{-1}((C/N)_{ASC SIST}/10) + 1/\text{Log}^{-1}((C/N)_{DES SIST}/10)]]$$

$$(C/N)_{\text{TOT SIST}} = 10 \text{ Log } [1/[1/\text{Log}^{-1}(12.66/10) + 1/\text{Log}^{-1}(4.20/10)]]$$

$$(C/N)_{\text{TOT SIST}} = 3.62 \text{ dB}$$

b) Relación portadora a ruido requerida $(C/N)_{\text{REQ}}$

$$(C/N)_{\text{REQ}} = E_b/N_o - 10 \text{ Log } (AB) + 10 \text{ Log } (V_e)$$

$$(C/N)_{\text{REQ}} = 5.5 - 10 \text{ Log } (145.92 \text{ E}03) + 10 \text{ Log } (64 \text{ E}03)$$

$$(C/N)_{\text{REQ}} = 1.920 \text{ dB}$$

c) Margen del enlace

$$ME = (C/N)_{\text{TOTAL SIST}} - (C/N)_{\text{REQ}}$$

$$ME = 3.62 - 1.92$$

$$ME = 1.699$$

Como ME es mayor que cero sí se garantiza el enlace.

A continuación se muestra la corrida de un programa en el cual únicamente necesitamos introducir los valores y los resultados calculados anteriormente los obtenemos de una manera inmediata. Este programa es con el que se realizan los cálculos de enlace de los diferentes usuarios que quieren rentar una porción de segmento espacial en Telecomunicaciones de México. Si verificamos ambos resultados vemos que efectivamente nuestro cálculo está bien.

Satélite:	MORELOS II	
Longitud:	116.80 deg.	
Banda de Operación:	KU	
Frec. Ascendente:	14.168 GHz	
Frec. Descendente:	11.968 GHz	
Tipo de Transpondedor:	KU	
Ancho de Banda del TP:	108.00 MHz	
Ganancia en 1 mt2:	44.52	
Modulación:	BPSK	
Vel. de Información:	64.00 kbps	
F.E.C.:	0.50	
Roll-Off:	0.14%	
Eb/No:	5.50	
B.E.R.:	1.0E-07	
No. de Hertz/blt:	1.00	
Ancho de Banda:	145.92 KHz	
Disponibilidad:	99.80%	99.80%

ZONA	CENTRO	NOR OCCIDENTE
Localidades:	MEXICO	TIJUANA
Diam. Antena:	7.60 m	1.80 m
Ganancia Antena Tx:	58.90 dB	46.31 dB
Ganancia Antena Rx:	57.28 dB	45.00 dB
Temp. T. del Sist.:	20.97 dBK	20.97 dBK
Temp. T. del Sist.:	125.03 K	125.03 K
G/T de la E/T.X.:	36.31 dB/K	24.03 dB/K
D.F.S. sat.:	-89.88 dBW/m2	-89.90 dBW/m2
Posición del A.T.P.:	9.00 dB	9.00 dB
Figura de Mérito Sat. (G/T):	2.98 dB/K	2.00 dB/K
BACK-OFF IN:	8.00 dB	8.00 dB
Latitud:	19.35 deg.	32.52 deg
Longitud:	99.01 deg	117.63 deg
Gama:	26.05	32.53
Gama':	0.8984	0.8431
Delta:	85.60	84.67
Elevación:	59.55 deg	52.14 deg
Azimuth:	224.08 deg	181.54 deg
Distancia al sat.:	36541.624 Km	36946.226 Km

ENLACE ASCENDENTE

Perdidas por dispersión:	162.25 dBm2	162.34 dBm2
Perdidas por absorción atmosf.:	0.5 dBm	0.5 dBm
BACK-OFF IN:	8.00 dB	8.00 dB
PIRE/Portadora desde la E.T.	44.80 dB	36.66 dB
Perdidas por Espacio Libre:	206.72 Db	206.82 dB
Perdidas por apuntamiento:	0.30 dB	0.30 dB
Perdidas por Polarizador:	0.20 dB	0.20 dB
Cte. Boltzman:	-228.60 dBJ/K	-228.60 dBJ/K
Margen por precipitación:	4.20 dB	3.00 dB
Relación de G/T del T.P.:	2.98 dB/K	2.00 dB/K
Relación C/No Asc.:	64.46 dB-Hz	56.44 dB-Hz
Relación C/N Asc.:	12.82 dB	4.80 dB

Relación C/I Intermod.:	30.00 dB	30.00 dB
Relación C/X por Pol. Cruzada:	35.00 dB	35.00 dB
Relación C/X Sat. Ady.:	36.87 dB	24.28 dB
Relación C/N Asc. del Sist.:	12.69 dB	4.74 dB

POTENCIA NOMINAL REQUERIDA

FIRE/portadora desde la E.T.:	44.80 dB	36.66 dB
Perdidas en guía de Onda:	0.30 dB	0.30 dB
BACK-OFF OUT	3.00 dB	3.00 dB
Perdidas por eficiencia por edad:	1.00 dB	1.00 dB
Potencia nominal Req/portadora:	-10.80 dBW	-6.35 dBW
Potencia nominal Req/portadora:	0.08 W	0.23 W
Ptencia req. bajo lluvia:	-6.60 dBW	-3.35 dBW

ENLACE DESCENDENTE

Perdidas por Absorción atmosf.:	0.50dB	0.50 dB
FIRE en Saturación T.P.:	45.43 dB	48.43 dB
BACK-OFF OUT:	4.50 dB	4.50 dB
FIRE/portadora desde el satélite:	12.36 dBW	6.15 dBW
Perdidas por espacio libre:	205.28 dB	205.19 dB
Perdidas por apuntamiento:	0.30 dB	0.30 dB
Perdidas por polarizador:	0.20 dB	0.20 dB
Margen de precipitación:	1.00 dB	2.20 dB
Cte. de Boltzman:	-228.60 dBJ/K	-228.60 dBJ/K
Fig. de merito (G/T) E.T.:	22.41 dB/K	33.58 dB/K
Relación C/No Descend.:	56.09 dB	59.95 dB
Relación C/n Descend.:	4.45 dB	8.31 dB
Relación C/I por Intermod.:	18.00 dB	18.00 dB
Relación C/X por Sat. ady.:	.97 dB	35.25 dB
Relación C/X Interf. TP's Ady.:	27.00 dB	27.00 dB
Relación C/N Desc. del Sist.:	4.18 dB	7.80 dB

MARGEN DEL ENLACE

Relación C/N Total del Sist.:	3.61 dB	2.99 dB
Over Head:	1.00 Kbps	1.00 Kbps
Relación C/N Req.:	1.99 dB	1.99 dB
Facción	-228.52	-37.74
IPBO1:	36.52 dB	45.74 dB
OPBO1	33.02 dB	42.24 dB
D.F.S. PORT.:	-117.45 dBW/m2	-125.68 dBW/m2
FIRE e.t. Tx:	44.80 dBW	36.66 dBW
FIRE port. sat.:	12.36 dBW	6.15 dBW
% Potencia:	0.139 %	0.017 %
% Ancho de Banda:	0.135 %	0.135 %
Margen con lluvia ambos lados:	1.62 dB	1.01 dB
Num. de Portadoras:	719.00	6000.00
Margen con cielo desp.:	7.26 dB	4.85 dB
Margen con lluvia asc.:	3.65 dB	1.97 dB
Margen con lluvia desc.:	5.44 dB	3.81 dB
Potencia nominal Req/portadora:	0.08 W	0.23 W

3.1.1 CAPACIDAD

La capacidad de una estación maestra va a depender de las necesidades que se tengan al momento de adquirirla. En el caso de una red privada los equipos que se compren serán de menor capacidad que los de una red pública, pero esta capacidad deberá ser la suficiente para sufragar las necesidades tanto al momento de la compra de la red como a mediano y largo plazo, esto es, si la empresa piensa en un futuro expandir su capacidad deberá planearlo desde el momento en que adquiere el equipo, estos equipos generalmente son el controlador de red (NCS), el equipo PAD, y el número suficiente de TMCC's y RMCC's, así como también el modelo de los empaquetadores de datos, esto con el fin de soportar todo el tráfico que demenden sus estaciones remotas, sin que se presenten saturaciones en los equipos. Por su modularidad este tipo de redes se adaptan fácilmente a las necesidades del usuario.

En el caso de una red pública sucede lo mismo, esta se adquiere con cierta capacidad para brindar servicio a empresas que requieran de la transmisión de datos por satélite. En muchos de los casos no es costable para las empresas adquirir su propio equipo por la cantidad de estaciones remotas que en un determinado momento puedan llegar a implementar en sus diferentes instalaciones en el interior de la República, y les es más beneficioso rentar el servicio a una red pública, teniendo las mismas características y ventajas como si tuvieran su propia red.

En este caso las redes públicas rentan el servicio a un costo aceptable por cada estación remota, en el momento que una red pública tiene demasiada demanda por parte de diferentes usuarios, tiene que expandir su capacidad y esto lo pueden hacer sin problemas, únicamente necesita saber que tanto quiere ampliar su capacidad para hacer un análisis y saber con más certeza cuantos módulos transmisores (TMCC's), y receptores

(*RMCC's*), necesitaran para cubrir las necesidades de todos los usuarios que quieren ingresar a su red. Además de estos módulos se tendrá que ver también si es necesario adquirir algun otro controlador para la red (*NCS*), o ampliar la capacidad de puertos del que ya se tiene; aumentar el número de equipos *PAD's* para poder conectar todos los módulos que se adicionen. Respecto a los empaquetadores de datos no hay ningún problema ya que las redes públicas utilizan los de mayor capacidad en el mercado. Como ya se menciona se pueden conectar otros chasis de expansión en caso de que los puertos host que se tengan ya no sean suficientes.

Otro factor importante en la expansión de una red VSAT, es el segmento espacial que se adquiera, es decir, el ancho de banda que se le rente a Telecomunicaciones de México. Si en el momento de adquirir el equipo no se tiene contemplado un crecimiento a futuro, y únicamente se renta el segmento espacial necesario para solventar las necesidades en ese momento, se puede llegar a tener problemas cuando quisieramos expandirnos, ya que si el ancho de banda ya no nos es suficiente y queremos ampliar este rango por el aumento de módulos *TMCC's* y *RMCC's*, estamos sujetos a lo que disponga Telecomunicaciones de México; porque se puede dar el caso de que las frecuencias siguientes a las que nos asignaron en un principio se encuentren acupadas, y en este caso ya no podríamos expandirnos en el mismo ancho de banda, nos tendrían que asignar otras frecuencias y el problema radicaría en el manejo de la configuración por parte de los operadores de la red, quienes tendrán que realizar los cambios necesarios en el software de la estación para que se puedan ocupar dos rangos de frecuencia diferentes en una misma configuración, ó bien si las frecuencias que nos asignan quedan fuera de la ventana de trabajo de la estación maestra, ya no podremos hacer nada para expandir nuestra capacidad, ya que estaremos fuera del rango de F.I. de la estación maestra.

Este es un punto que hay que tener muy en cuenta al momento de adquirir una red VSAT, ya que actualmente la capacidad de los transpondedores en banda Ku que tenemos disponibles en los satélites mexicanos, por la gran cantidad de usuarios están llegando a ocuparse por completo. Aún hay demasiada capacidad con la puesta en órbita de los dos satélites Solidaridad, pero si queremos expandirnos en el mismo rango de frecuencias, o bien en el mismo transpondedor quizá ya no lo podamos hacer.

Las redes VSAT de tipo público que existen actualmente en nuestro país son dos, la red VSATCOMM de Telecomunicaciones de México y la red VSAT de Telefonos de México, las cuales tienen actualmente capacidad para manejar aproximadamente 500 estaciones remotas sin ningún problema, con una configuración aproximada de 8 *TMCC's* y 8 *RMCC's*, estas redes aún no han llegado a ocupar por completo esta configuración a su máxima capacidad; sin embargo es muy probable que para finales de 1995 se expanda la red VSATCOMM de Telecomunicaciones de México, o bien como se comentó anteriormente se adquiera otra red VSAT que maneje además de datos también voz, la cual trabajará probablemente bajo el protocolo *Frame Relay*.

Respecto a algunas de las redes privadas que hay actualmente en México, están por ejemplo, las cinco estaciones maestras con que cuenta la red de Banca Serfin ubicadas en diferentes estados de la República, las cuales son de pequeña capacidad, aproximadamente pueden manejar alrededor de 80 estaciones remotas por cada estación maestra. La idea de adquirir cinco estaciones maestras en lugar de una sola de mayor capacidad, fué la de no depender de un solo nodo, ya que en un caso de contingencia o de falló en alguna de éstas, únicamente se perdería la comunicación con las estaciones remotas de la maestra que fallará, y no con todas las que están instaladas en el interior de la República.

La capacidad por canal de salida y llegada a la estación maestra es de 64 Kbps, únicamente podemos tener un máximo de 16 portadoras de subida (*outlink's*) y 32 portadoras de bajada (*returnlink's*). El software del sistema es el que nos limita en este aspecto como se mencionó anteriormente. Cada estación remota tiene cuatro puertos estándar RS-232; cada uno de estos puede soportar diferentes protocolos y nos ofrecen velocidades hasta de 19.2 Kbps. Los protocolos que pueden programarse son: X.25, SDLC y Asíncrono. El que es más comúnmente utilizado es el protocolo síncrono X.25, ya que por naturaleza este tipo de redes son redes X.25, aunque tienen la capacidad de manejar los otros protocolos estos no son muy comunes en las aplicaciones de los usuarios, la mayoría de sus equipos terminales manejan el protocolo X.25 con mucho más facilidad. El otro protocolo que también se utiliza con mucha frecuencia es el protocolo asíncrono, aunque este tiene muchos problemas al momento de entrar a alguna aplicación, su velocidad efectiva de transmisión es mucho menor y se presentan con más frecuencia retransmisiones en las tramas enviadas, ya que carece de un reloj para sincronizar tanto el transmisor como el receptor en el flujo de datos.

3.1.2 TOPOLOGIAS UTILIZADAS EN UNA RED VSAT

La configuración básica para este tipo de redes es una configuración estrella (figuras 3.1.2 y 3.1.2-a), esto se puede ver fácilmente, ya que cualquier estación remota que quiera cursar tráfico deberá pasar por la estación maestra; si hablamos de la administración de las estaciones remotas donde un solo *outlink* puede ser utilizado por varias estaciones remotas, al igual los *returnlink's*, a los cuales se les puede asignar un número igual o menor de estaciones remotas para darle agilidad a su tráfico de datos, y tener una mejor administración por parte de los operadores en la estación maestra.

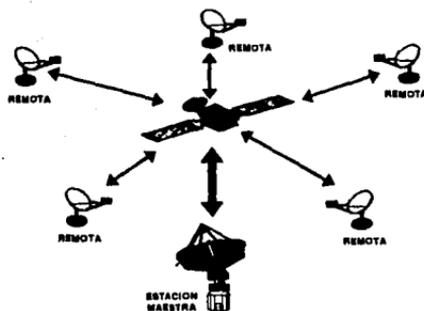


Figura 3.1.2 Configuración estrella de una red VSAT

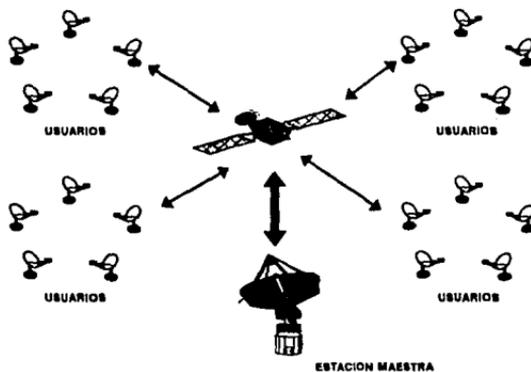


Figura 3.1.2-a Configuración estrella de una red VSAT

Como la técnica de acceso para los *outlink's* es *TDM*, pero para los *returnlink's* la técnica de acceso es *TDMA*, todos los recursos del sistema son compartidos por las estaciones remotas. En la figura 3.1.2-b se muestra un diagrama de la configuración de *outlink's* y *returnlink's* para diferentes estaciones remotas, en esta figura se puede apreciar como es que se comparten los recursos del sistema entre las diferentes estaciones remotas.

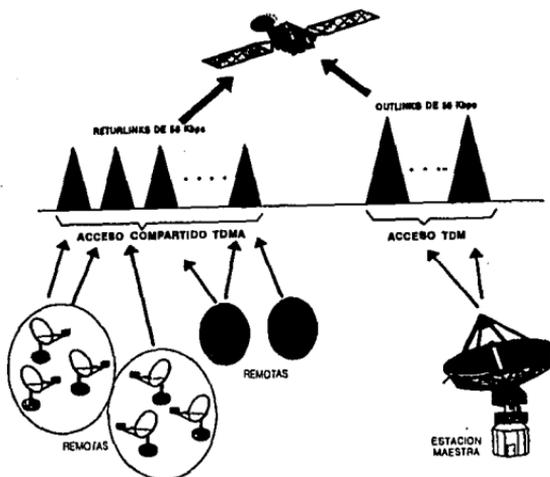


Figura 3.1.2-b Configuración de outlink's y returnlink's

Para tener una buena administración de *outlink's* y de *returnlink's* y evitar saturación en éstos en una red pública o privada, se deberá hacer un análisis de tráfico para clasificar a los usuarios, y esto implica dos situaciones que son las siguientes:

- El primer caso será, cuando el tráfico sea mayor del host central de usuario hacia las estaciones remotas.
- El segundo caso será, cuando el tráfico cursado sea mayor de las estaciones remotas hacia el host central de usuario.

Este tráfico va a depender principalmente del tipo de consulta que se realice en la aplicación correspondiente, y nos será de gran utilidad para adecuar la asignación de los módulos *TMCC's* y *RMCC's* entre sí, es decir, saber cuando debemos de asignar dos ó más *outlink's* a un solo *returnlink*, que sería el primer caso. El segundo caso consistirá en saber cuando asignar dos o más *returnlink's* a un solo *outlink*.

Erróneamente se manejaban en concepto topologías como la malla multipunto en estas redes, aunque la topología malla multipunto tiene implícita una topología del tipo estrella, no es posible utilizarla como nos los indica el concepto malla multipunto, porque, como mencionábamos al principio de este capítulo todo el tráfico que se curse por parte de las estaciones terrenas deberá ser controlado por la estación maestra. No se pueden enlazar dos estaciones remotas por sí solas sin pasar por la estación maestra. La estación maestra es la que direcciona o enruta el tráfico de una estación remota a otra, las estaciones remotas por sí solas no pueden enrutar el tráfico que generan a otra estación remota sin pasar primero por la estación maestra. En la figura 3.1.2-c se muestra una topología malla multipunto.

En las aplicaciones por parte del usuario, es decir, si el usuario cuenta con redes *LAN*, redes *WAN* en cualquiera de sus diferentes topologías, no tendrán problema al conectarse o adaptarse a una red VSAT, porque ellos cursarán su tráfico por medio de un servidor o concentrador y este a su vez canalizará la información hacia la red VSAT a través de DPU. Cada una de las terminales de la red local del usuario podrá cursar su

tráfico, o correr cualquier aplicación interactivamente con cualquiera de sus sucursales en el interior de la república, por medio de un circuito virtual que será asignado a cada terminal por parte de la estación maestra.

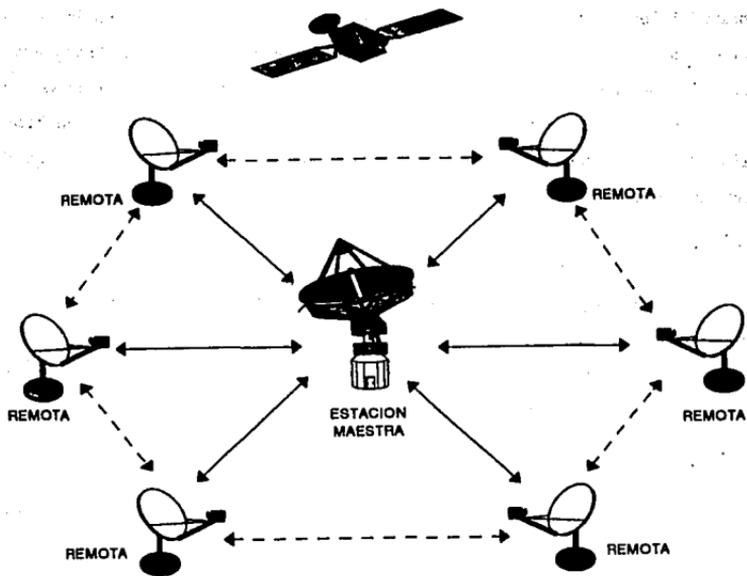


Figura 3.1.2-c Topología malla multipunto

3.1.3 VELOCIDADES UTILIZADAS

En una red VSAT las velocidades que normalmente se utilizan son varias dependiendo de la etapa en donde se quiera saber esta característica. Si analizamos la etapa del enlace de última milla nos encontramos que las velocidades con las que el usuario puede acceder a la estación maestra van desde 64 Kbps como máxima, 19.2 Kbps, hasta 1.2 Kbps como mínima, y esto principalmente va a limitarse por el tipo de equipo que se tenga para el enlace. Otro de los de los parámetros que intervienen en la velocidad del enlace de última milla es la cantidad de tráfico que se curse por el puerto host, ya que si el tráfico es muy intenso se necesitará que éste se transmita lo más rápido posible hacia el host central, para que los sitios que están conectados a ese puerto host no noten el retardo por la cantidad de tráfico que están generando.

Esto generalmente sucede en las redes públicas, en donde se tiene un puerto host por usuario que ingresa a la red, cuando alguno de estos usuarios tiene una demanda de tráfico mayor a la normal, la velocidad que utilizan generalmente en el enlace de última milla es de 64 Kbps por medio de una tarjeta de alta velocidad en el chasis de expansión. En usuarios que no requieren de tiempos de respuesta muy críticos la velocidad más común en el enlace de última milla es de 19.2 Kbps, y de ahí en adelante se puede ir bajando la velocidad hasta donde el usuario la requiera. Aquí va a depender de la velocidad que se utilice en el enlace de última milla de la red pública para saber el costo que el usuario pagará, habiendo solo dos cuotas; la primera será de 1.2 Kbps hasta 19.2 Kbps, y la segunda únicamente será para enlaces a 64 Kbps, es decir, entre más rápido quiera su enlace más tendrá que pagar.

En las redes privadas no sucede esto ya que el empresario que adquiere la red no necesitará del enlace de última milla, porque la estación maestra estará en sus mismas instalaciones, por lo que se conectarán directamente a su equipo de computo.

Es muy importante no confundirse en este tipo de aspectos, ya que se prestan a confusión muy fácilmente cuando se habla de la velocidad a la que se transmiten los datos. En una red pública por ejemplo los datos que viajan de la estación maestra hasta las instalaciones del usuario (enlace de última milla) varían su velocidad de transmisión por los aspectos que se discutieron anteriormente, pero la velocidad que se tiene entre la estación maestra y las estaciones remotas es de 64 Kbps.

La velocidad de transmisión entre la estación maestra y las estaciones remotas se realiza a 64 Kbps, que sería lo que llamamos anteriormente *outlink*. Tanto el *outlink* como el *returlink* son portadoras de 64 Kbps.

La velocidad entre el equipo DPU de la estación remota, específicamente en la tarjeta *PAD* que consta de 4 puertos únicamente con conectores RS-232 cada uno de éstos, y el equipo de computo del usuario será de 19.2 Kbps como máxima.

Como se vió en el capítulo I la velocidad máxima que manejan este tipo de conectores es de aproximadamente 20 Kbps como máximo. Actualmente todavía no se han diseñado tarjetas *PAD* para los equipos DPU con puertos que manejen velocidades mayores a 19.2 Kbps. En la figura 3.1.3 se ejemplifica este concepto.

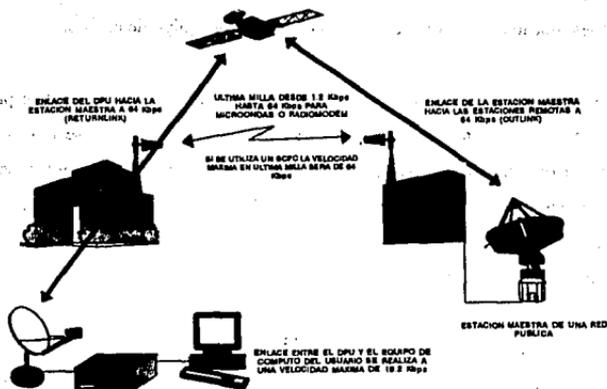


Figura 3.1.3 Velocidades utilizadas en una red VSAT

3.1.4 COBERTURA

La cobertura que se tiene en una red VSAT, depende principalmente de la cobertura que tenga el satélite en la banda que trabaja la estación maestra, en México actualmente contamos con tres satélites en operación el *Morelos II* y el *Solidaridad I*, y *Solidaridad II*.

Como las redes VSAT que se tienen actualmente en México trabajan en banda Ku enfocaremos este aspecto únicamente a esta banda. Las redes tanto públicas como privadas que trabajan en esta banda pueden estar tanto en el satélite *Morelos II* como en el *Solidaridad I y II*, y esto lo decide Telecomunicaciones de México que es quien les asigna el segmento espacial. En las figuras 3.1.4.a y 3.1.4.b se muestran las coberturas que se tienen tanto en el satélite *Morelos II* como en el *Solidaridad I* en banda Ku en el territorio nacional.

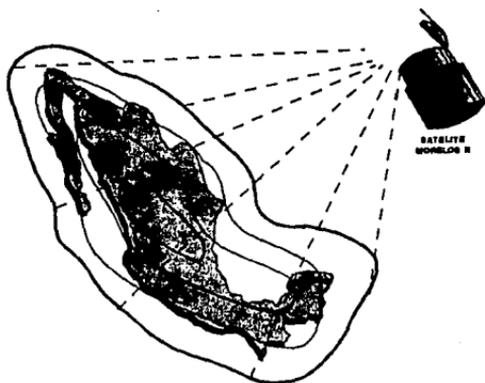


Figura 3.1.4-a Cobertura del satélite Morelos II en banda Ku

Para cubrir la zona de Latinoamérica se encuentran disponibles los satélites de México, Brasil y próximamente Argentina. Se espera también el uso de una mayor cantidad de transpondedores de los satélites de Intelsat y Panamsat. Por otro lado se está

actualizando el proyecto de un satélite regional para el uso de los países andinos, y se espera que para finales de los '90 se encuentre en órbita.

Actualmente México cuenta con la siguiente capacidad en el sistema de satélites *Morelos*, específicamente en *Morelos II* se tienen en banda C, 12 transpondedores de 36 MHz y 6 de 72 MHz; en tanto que para banda Ku, se cuenta con 4 transpondedores de 108 MHz de ancho de banda en el satélite. Tomando también en consideración todos los transpondedores con los que cuenta el satélite *Solidaridad I*, que dispone de 12 transpondedores de 36 MHz y 6 transpondedores de 72 MHz en banda C y de 16 transpondedores de 54 MHz en banda Ku, se cuenta con una capacidad lo suficientemente amplia para darle servicio a todos los empresarios mexicanos en ambas bandas, y con la puesta en operación del *Solidaridad II* esta capacidad se verá incrementada considerablemente.

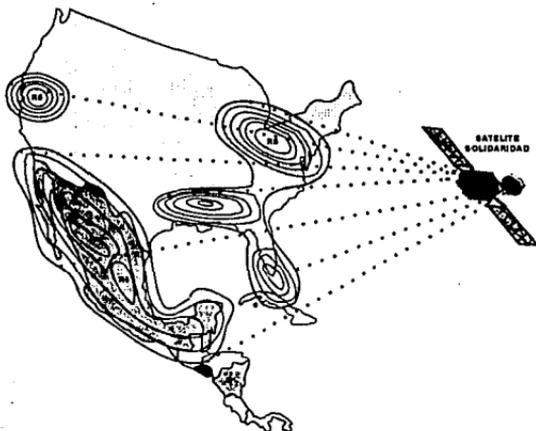


Figura 3.1.4-b Cobertura del Satélite Solidaridad I en banda Ku

3.1.5 CONFIABILIDAD

La confiabilidad que ofrecen estas redes es muy grande porque tienen una tasa de error muy baja, aproximadamente 1×10^{-9} , son redes muy estables ya que una vez que se instalan únicamente hay que darles mantenimiento preventivo y en ocasiones correctivo.

La finalidad del mantenimiento preventivo es la de conservar las estaciones en condiciones óptimas de operación, y así evitar fallas en los equipos. Para cumplir tal propósito se establecen las siguientes acciones:

Estación maestra

- 1.- Monitoreo de la potencia de transmisión, con el fin de conservar un nivel óptimo de transmisión. Se debe de hacer esta medición por lo menos cada mes.
- 2.- Monitoreo, ajuste y pruebas de diversas condiciones de operación de los subsistemas que componen la estación, referidos a los protocolos de prueba.
- 3.- Limpieza periódica de los equipos que componen la estación, y revisión del estado mecánico de los conectores.

Estación remota

Para iniciar el mantenimiento debemos de contactar en algunos casos con los responsables de los equipos, para verificar niveles y parámetros de trabajo de la estación remota. Si estos se encuentran dentro de los rangos establecidos, procederemos a revisar el estado físico de los cable, conectores, DPU, ORU, antena y herrajes, sin descuidar detalles como las condiciones del lugar donde se ubiquen los equipos interior y exterior, así como la alimentación eléctrica y el aterrizaje correcto de los equipos. Todo esto apoyándose en los manuales respectivos, para checar correctamente los niveles.

3.1.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS REDES VSAT

A diferencia de las redes terrestres, las redes VSAT ofrecen como unas de sus principales ventajas las siguientes:

- Son modulares, lo que permite intercambiar y reparar hardware rápidamente, además de facilitar la expansión del sistema
- Soporta varios protocolos de comunicación
- Integridad de datos de extremo a extremo
- Utiliza interfaces eléctricas estándar en el mercado
- Alta calidad en los canales de comunicación
- Fácil expansión en estaciones remotas
- Brindan mayor eficiencia y confiabilidad en el manejo de métodos de acceso, protocolos de comunicación y velocidades de acceso de datos.
- Maneja altos volúmenes de información de manera rápida y confiable
- Capacidad de monitoreo y control en toda la red
- El costo de comunicación es independiente de la distancia
- Desempeño virtual libre de errores
- Control dinámico de flujo de información para soportar variaciones del tráfico
- Bajo costo a mediano y largo plazo
- Proveedores diversos en el diseño de estas redes
- Alta confiabilidad
- Instalación rápida y fácil de las estaciones remotas tipo VSAT
- Redundancia total en la estación maestra
- Se acopla fácilmente a cualquier equipo del usuario
- Expansión de la red a bajos costos

Entre las pocas desventajas que se pueden decir de este tipo de redes tenemos:

- Todas las comunicaciones debe de pasar a través de la estación maestra, por lo que si un usuario tiene su oficina central en el interior de la república deberá emplear un enlace independiente al sistema VSAT entre su oficina central y la estación maestra, por lo tanto, el retardo de datos se puede ver ligeramente incrementado.

- Una falla en la estación maestra provoca una falla general en la red
- La velocidad de los puertos de la estación remota no puede exceder 19.2 Kbps.
- La pérdida de la comunicación por aspectos naturales, como la lluvia
- Tienen límite en el número de circuitos virtuales que manejan por estación remota.

3.1.7 PRINCIPALES APLICACIONES DE LAS REDES VSAT

Las redes VSAT tienen una gran versatilidad en las aplicaciones que se pueden cursar por este tipo de redes, entre las más comunes encontramos las siguientes:

- Transacción de redes bancarias
- Autorización de tarjetas de crédito
- Cajeros automáticos
- Terminales de cajeros
- Automatización de plataformas
- Control de flujo de efectivo
- Transacciones en puntos de venta

- Redes de mercadeo y servicios al cliente
- Redes de correo electrónico facsímil
- Transferencia de archivos
- Redes de noticias
- Periódicos
- Sistemas de reservaciones hoteleras
- Venta de videos
- Venta de automóviles y refacciones, etc.

Además de todas las aplicaciones anteriores, se puede implementar casi cualquier aplicación que se requiera por parte de los usuarios, siempre y cuando los equipos sean compatibles con este tipo de redes.

Actualmente todos los diferentes equipos que hay en el mercado como son ruteadores, puentes, multiplexores, modems, *SCPC's* o cualquier otro tipo de equipo, ya casi en su totalidad compatibles entre sí, adaptándose fácilmente a las aplicaciones del usuario o de cualquier tipo de red incluyendo las redes VSAT, ya que todos estos equipos se diseñan bajo los estándares internacionales.

A pesar de que la mayoría de los equipos son compatibles hoy en día, todavía nos encontramos con equipos para aplicaciones muy específicas que no son 100% compatibles tanto con los demás equipos, como con las redes VSAT, pero apesar de esto la mayoría de las veces se pueden adaptar a una red VSAT.

3.2 FUNCIONAMIENTO CALCULO Y DISEÑO DE UNA RED VSAT UTILIZANDO DOS SATELITES

Lo que se pretende dar a conocer en este punto, es un procedimiento en el cual se basen todos los empresarios que cuenten con una red VSAT propia para poderla explotar al máximo, o bien, para no perder su tráfico en caso de alguna contingencia por parte de *Telecomm*. Además de esto, se dirá como se pueden utilizar dos satélites simultáneamente en este tipo de redes para tener una mayor cobertura, esto tanto para las redes privadas como para las redes públicas.

Principalmente se presenta en redes públicas la necesidad de ampliar la capacidad o explotar al máximo la red que se tiene, ya que la redes públicas son las que cuentan con una mayor capacidad para manejar más cantidad de tráfico sin presentar saturaciones de ningún tipo.

En 3.1 se describió el funcionamiento de una red VSAT utilizando un solo satélite, basándose en todos y cada uno de los elementos que componen una red de este tipo detallados en todo el capítulo II; ahora explicaremos el funcionamiento de una red VSAT utilizando dos satélites simultáneamente.

Todas las características que se describieron en 3.1 funcionan exactamente igual para dos satélites, únicamente lo que va a variar un poco es el punto referente a la cobertura, que como podemos indagar será mucho mayor utilizando dos satélites simultáneamente, que utilizando únicamente un solo satélite, uno de los dos satélites que se utilizarán será un satélite nacional con el cual tendremos cobertura en el territorio nacional únicamente y el otro satélite será un satélite internacional (*de Intelsat*) con el cual abarcaremos una parte del continente europeo.

Para empezar veremos que el hecho de manejar dos satélites al mismo tiempo en una sola estación maestra no implica que se reduzca o aumente la capacidad de la red, hablando de una capacidad general y no parcial como veremos a continuación.

Si nos ponemos a analizar detalladamente sobre la capacidad de la red, veremos que efectivamente sí se reduce la capacidad al utilizar dos satélites, pero solo en el sentido de que ahora habrá que distribuir los módulos transmisores (*TMCC's*) y receptores (*RMCC's*) en ambos satélites, es decir, ver cuantos módulos se asignarán en la base de datos del sistema, o bien, en la configuración del sistema a un satélite, y cuantos al otro satélite del total de módulos con que cuente la red, pero la capacidad de ambos satélites junta será igual a la capacidad que se tendrá destinando todos los módulos a un solo satélite.

Para poder realizar este tipo de implementación necesitamos contar o adquirir adicionalmente el equipo que se describe a continuación, ya que de otra manera sería imposible realizar la implementación que necesitamos.

- Una antena alterna a la maestra
- Equipo de R.F. para la antena alterna
 - Convertidor de subida (*up-converter*)
 - Convertidor de bajada (*down-converter*)
 - Amplificador de potencia (*TWT*)
- Una unidad de distribución adicional

Como se ve, el hacer una implementación de este tipo implica una mayor inversión y más que nada de la necesidad que se tenga para poder hacer ésto, es decir, si tomamos como ejemplo una red privada veremos que es muy difícil que llegen a tener la

necesidad de realizar esta implementación, en primer lugar por los costos que se elevan en la adquisición del equipo adicional para la implementación, y en segundo lugar, por el hecho de que la mayoría de las sucursales u oficinas de las empresas mexicanas se encuentran distribuidas principalmente en el interior de la república, y solamente el corporativo internacional es el que se encuentra fuera de la república mexicana en algunos casos, con lo cual no se justificaría una implementación de este tipo, habiendo otros medios para enlazar a una o dos estaciones fuera de la república a su red.

En una red pública es más factible poder realizar un proyecto de este tipo, ya que las redes públicas cuentan con usuarios de diferentes necesidades y, si en un momento determinado las exigencias de los usuarios requieren que se haga una implementación así, se puede llevar a cabo entonces un proyecto de esta naturaleza. Actualmente en México no existe ninguna red pública ni privada que presente una configuración de este tipo.

Quizá no es muy conveniente hacer esto por el hecho de que la inversión es mayor y no todos los empresarios tienen la necesidad de tener una red intercontinental en sus empresas, y para muchos otros no resultará rentable este proyecto, pero a pesar de todo esto, en esta tesis daremos las bases para poder realizarlo. No hay hoy en día una red VSAT en el mundo con esta implementación, que este cursando tráfico por dos satélites al mismo tiempo.

Las redes VSAT actuales, por diseño cuentan con la característica de manejar varios transpondedores al mismo tiempo, lo que no se tenía en las primeras generaciones de redes VSAT. Teniendo ésto, únicamente hay que saber adecuarlas en la configuración de sus archivos y parámetros para las necesidades que se vayan teniendo, y más que nada contar con operadores lo suficientemente capacitados para poder realizar los cambios o implementaciones pertinentes.

En la figura 3.1-a observamos el diagrama a bloques de una estación maestra en su configuración normal, es decir, utilizando un solo satélite, y en la figura 3.2 tenemos el diagrama a bloques de una estación maestra ya con la implementación del equipo que se va a necesitar para utilizar dos satélites simultáneamente.

Como se puede observar en esta figura, se tiene la necesidad de contar de entrada con otra antena, esto es comprensible ya que no podemos tener una antena orientada a dos satélites al mismo tiempo, también se necesitamos implementar todo el equipo de R.F. para dicha antena.

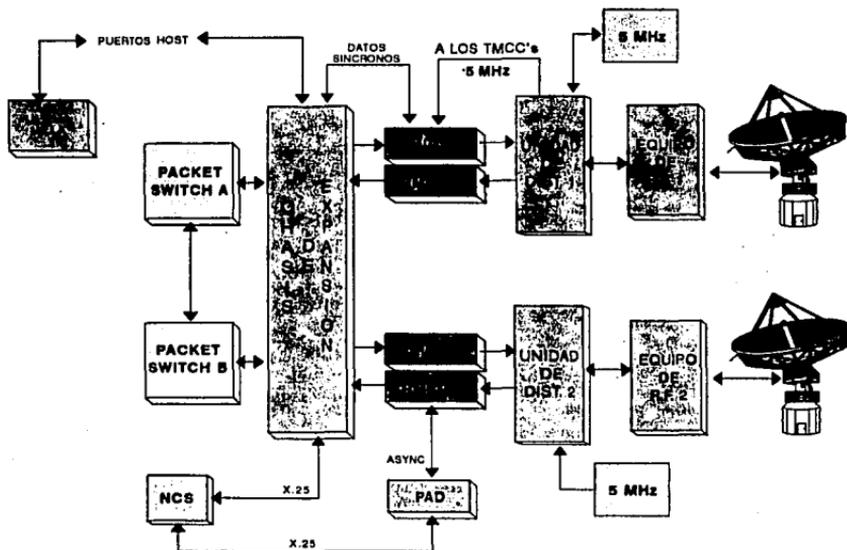


Figura 3.2 Diagrama a bloques de una red VSAT utilizando dos satélites

En el equipo de F.I., únicamente se adicionará otra unidad de distribución y todos los demás módulos de esta etapa nos servirá para ambos satélites. En el caso de las redes públicas, por lo general cuentan en su configuración inicial con dos unidades de distribución, esto es, por la cantidad de módulos *TMCC's* y *RMCC's* que se adquieren y por las necesidades que se pudieran tener en cualquier momento.

El hecho de necesitar dos unidades de distribución para nuestra implementación, será principalmente para poder acomodar en cada una de ellas los módulos correspondientes *TMCC's* y *RMCC's* que se asignaron previamente a cada satélite. En la base de datos necesitamos crear *grupos* para la configuración de los módulos que se tienen que asignar a cada satélite, es decir, todos los módulos asignados al satélite mexicano pertenecerán al grupo "cero" de la base de datos, que es el grupo por default y todos los módulos asignados al satélite *Intelsat*, pertenecerán al grupo "uno" de la base de datos, con esto evitamos un conflicto entre señales de control y de datos, ya que de otra manera el asignar todos los módulos a un mismo grupo no nos servirá de nada porque estaríamos trabajando con la configuración de un solo satélite en la base de datos.

Esto principalmente es, porque manejaremos frecuencias diferentes en cada transpondedor para las portadoras tanto de subida (*outlink's*) como de bajada (*returnlink's*), y por consiguiente las frecuencias de operación tanto del convertidor de subida como del convertidor de bajada serán también diferentes para cada satélite, con esto ya no tendremos problemas con las señales que entren y salgan del sistema, ya que, el mismo sistema sabrá diferenciar y enrutar las señales correspondientes a cada módulo no importándole el satélite al que este asignado dicho módulo.

Los elementos que juegan el papel principal para esta implementación son el *NCS* y el conmutador de paquetes, ya que en ambos se encuentran los archivos de

configuración, sincronización, monitoreo y control de todo el sistema, no sin descartar la importancia de todos los demás subsistemas o módulos que componen la red, ya que si cualesquiera de estos faltara no funcionaría la nueva implementación.

En sí, la capacidad para manejar dos satélites radica tanto en el hardware como en el software. Por una parte el equipo de R.F. incluyendo la antena que se necesita implementar, y por la otra los archivos de configuración del sistema que se modificarán, ambos son igualmente importantes, pero es por medio del software en donde los operadores de la red tienen el control de ella.

Cabe mencionar que la capacidad de la red depende tanto del hardware como del software. En el hardware estamos limitados por la capacidad de cada uno de los equipos de control o de manejo del tráfico de la red, y en el software estamos limitados por el número máximo de módulos *TMCC's* y *RMCC's* que podemos configurar en la base de datos del sistema, esto ya fue mencionado en el cálculo con un satélite.

Los cambios que vamos a realizar van a ser muy útiles, no solo para tener una mayor cobertura sino también para un caso de contingencia, es decir, cuando un satélite termina su vida útil éste entra en un período de contingencia, y para poder trasladar todos los usuarios que estén utilizando el satélite que se encuentra en contingencia a otro satélite, Telecomunicaciones de México tiene la obligación de avisar a los usuarios el período que tienen para trasladarse al nuevo satélite, con las nuevas frecuencias y el transpondedor que se les asignarán a cada uno de los usuarios. En el caso de las redes VSAT, el utilizar dos satélites al mismo tiempo con la implementación que estamos sugiriendo, nos servirá para superar la contingencia y realizar el traslado de los usuarios al nuevo satélite, lo que implicaría un mínimo de tiempo que estarían fuera tanto la estación maestra como las estaciones remotas de la red, ésto se describirá más adelante.

Respecto al hardware, la nueva configuración se muestra en la figura 3.2. En ésta se ve claramente como se comparten los recursos para ambos satélites, asignando los módulos correspondientes transmisores (TMCC's) y receptores (RMCC's) a cada unidad de distribución y posteriormente a su respectivo equipo de R.F.

Hablaremos ahora un poco sobre el software del sistema que utiliza Scientific Atlanta para ejemplificar. Este tipo de redes se rigen principalmente por módulos *PAD's* y conmutadores de paquetes, así como, el controlador de red (*NCS*) de la empresa Telematics, que es la que se encarga de diseñar y distribuir este tipo de equipos a los fabricantes de redes VSAT en su mayoría, aunque cabe aclarar que hay algunos fabricantes que diseñan ellos mismos sus propios equipos. El sistema operativo que utiliza Scientific Atlanta en sus redes se denomina *TRAX (Telematics Resident Applicator Executor)*.

TRAX es un sistema operativo multitarea de procesamiento en paralelo, las tareas corren bajo bases de prioridad, y tareas de igual o menor prioridad pueden ser pre-
vacadas a una cantidad de procesamiento de tiempos que han expirado.

En adición a este sistema operativo, *TRAX* consiste de un número de tareas cargadas en la inicialización del conmutador de paquetes. Para las personas encargadas de la operación, monitoreo y configuración de la red, una de las tareas más importantes con las que cuenta el sistema operativo *TRAX* es el *Interprete de Comandos en Línea (CLI)*. *CLI* es una interface entre el sistema operativo *TRAX* y el usuario, que permite interrogar al sistema, manejar actividades y desarrollar o invocar programas. *CLI* es accedido a través de la terminal editora o desde la consola que esta conectada directamente al conmutador de paquetes.

En el siguiente nivel las tareas del conmutador de paquetes, y del *NCS* que son cargadas por el sistema *Telematics* en la inicialización de los archivos de configuración para el óptimo funcionamiento de la red son, entre las más importantes para la configuración y monitoreo del sistema la denominada *INF (Interactive Network Facility)*.

INF soporta sesiones interactivas desde una terminal editora o de la consola al conmutador de paquetes, o al *NCS*. Entre las funciones de *INF* estan:

- *INF* proporciona acceso a los Módulos de Administración de Producto (*PMM's*)
- *INF* sistema de control en el procesamiento de las alarmas
- *INF* responsable de las tareas de monitoreo de la red

Los productos individuales o programas en el software, corriendo en el conmutador de paquetes pueden ser accedados interactivamente usando el *PMM* específico diseñado para el producto. Este es un *PMM* para X.25, Asíncrono, *SDLC*, y controladores remotos en el sistema Skylinx.25. Los accesos individuales *PMM* son a través de los comandos *INF*.

Tanto *CLI* como *INF* son de suma importancia en el sistema operativo *TRAX*, o más bien, son los niveles más importantes ya que con la ausencia de alguno de ellos en el sistema sería imposible tener acceso al monitoreo, configuración y control de la red. Esto puede llegar a ocurrir cuando por alguna causa se dañan los archivos de alguna de las tareas de *CLI* o de *INF* cargados en la memoria principal del sistema, impidiéndole el acceso a esa tarea al operador de la red. Además de notificarlo a los operadores por medio de la consola, esto se puede solucionar reinicializando o corriendo nuevamente la tarea dañada registrada por el sistema.

En el caso de que apesar de volver a cargar la tarea dañada en la memoria del sistema esta siga sin responder, será necesario reinicializar el *NCS* o el conmutador de paquetes dependiendo de la necesidad, es decir, volver a cargar toda la configuración del sistema y todas las tareas de trabajo a la memoria principal del sistema; lo cual nos puede llevar a la pérdida del tráfico de todas las estaciones remotas de la red por tener fuera la estación maestra; en el peor de los casos el tiempo que este fuera la red dependerá principalmente de los operadores de la misma, ya que si se toman desiciones equivocadas se tendrá un tiempo mayor el sistema abajo, y por consiguiente todos los usuarios de la red perderan sus comunicaciones, así mismo también, si se toman buenas desiciones, analizando el tipo de falla en el sistema se reducirá al mínimo el tiempo que la red este fuera. Cabe mencionar que fallas de este tipo es muy difícil que ocurran.

Los dos archivos de configuración más importantes para realizar nuestro propósito, que tenemos que modificar en la base de datos del controlador de la red (*NCS*) y en el conmutador de paquetes son el **SYS_PARAMS** (Parámetros del Sistema) y el **XPON_PARAMS** (Parámetros de los Transpondedores).

Para el caso de las redes del proveedor Scientific Atlanta, en estos archivos se encuentran almacenados los datos más importantes en cuanto a frecuencias de los *outlink's* y *returnlink's*, así como de los convertidores de subida y de bajada, también parámetros referentes a la longitud del satélite y parámetros tanto de latitud y de longitud de la estación maestra, y otros más que ya son proporcionados por el fabricante y que no se deben de cambiar en sus valores.

A continuación se muestran los dos archivos a modificar ya con los cambios pertinentes para manejar dos satélites simultáneamente.

! File: SYS_PARMS 2.8.2

these are default parameters associated with system wide defaults.
this file should be kept as small as possible to keep access time
at a minimum this file is accessed from the netcon function sys_plist

RLACTMR 10
OLACTMR 10
COLLPER 10/* collection period = 10mins for dtmc */
RCCPOLL 30
RCCDTHR 2
NOMTXSTR 62
EBNOTHR 100
PADN2 20
RCCN2 20
SYSNAME S5000 SCT_MEXICO
SYSLOC Mexico City D.F.
ADRES .0391
MSLOPE 1.6667
PADADDR6 0x4000
OLFREQ1 14187.000
OLFREQ2 14187.600
OLFREQ3 14188.000
OLFREQ4 14188.400
OLFREQ5 14188.600
OLFREQ6 0.0
OLFREQ7 0.0
OLFREQ8 14151.000
OLFREQ9 14151.600
OLFREQ10 14152.000
OLFREQ11 14152.400
OLFREQ12 14152.800
OLFREQ13 0.0
OLFREQ14 0.0
OLFREQ15 0.0
OLFREQ16 0.0
RLFREQ1 14187.200
RLFREQ2 14189.000
RLFREQ3 14189.400
RLFREQ4 14189.800
RLFREQ5 14190.200
RLFREQ6 0.000
RLFREQ7 0.000
RLFREQ8 14151.200
RLFREQ9 14154.000

RLFREQ10 14154.400
RLFREQ11 14154.800
RLFREQ12 14155.200

RLFREQ13 0.0
RLFREQ14 0.0
RLFREQ15 0.0
RLFREQ16 0.0
RLFREQ17 0.0
RLFREQ18 0.0
RLFREQ19 0.0
RLFREQ20 0.0
RLFREQ21 0.0
RLFREQ22 0.0
RLFREQ23 0.0
RLFREQ24 0.0
RLFREQ25 0.0
RLFREQ26 0.0
RLFREQ27 0.0
RLFREQ28 0.0
RLFREQ29 0.0
RLFREQ30 0.0
RLFREQ31 0.0
RLFREQ32 0.0

UPFREQ1 14205.000
UPFREQ2 14168.000
UPFREQ3 0.0000000
UPFREQ4 0.0000000
UPFREQ5 0.0000000
UPFREQ6 0.0000000
UPFREQ7 0.0000000
UPFREQ8 0.0000000
DCFREQ1 11155.000
DCFREQ2 11168.600
DCFREQ3 00000.000
DCFREQ4 00000.000
RSMC_LINK 0
RSMC_PAD_ID 0

NUMPS 1/* 0 indicates an on board ncs, 1 for offboard ncs */

! this is the NUA prefix for TMCC NCS calls

MCCIO_PREF_NUA 3340100007

! File: master:XPON_PARMS 2.8.2

**these are default parameters associated with system wide defaults.
this file should be kept as small as possible to keep access time
at a minimum**

**XPONOPT1 0x0
XPONUC1 2
XPONDC1 2
XPONLONG1 116.5**

**XPONOPT2 0x0
XPONUC2 2
XPONLONG2 325.5
XPONDC2 2**

**XPONOPT3 0x0
XPONUC3 0
XPONLONG3 0.0
XPONDC3 0**

Como se puede observar en el archivo *XPON_PARMS* tenemos tres bloques de parámetros, cada bloque es independiente entre sí, lo que nos permite tener acceso a tres transpondedores diferentes al mismo tiempo o bien, la configuración que se tiene es para poder acceder a dos satélites simultáneamente.

Respecto a los cambios en los archivos de la base de datos, únicamente serán en estos dos archivos. Los cambios referentes a la signación de los módulos *TMCC's* y *RMCC's* los realizaremos desde las pantallas de configuración de la Interface Humana

(H.I.), todas estas pantallas se muestran en el punto referente a monitoreo y control de la red.

A continuación se presenta el cálculo un enlace internacional entre México y España utilizando el satélite *Intelsat VI-325.5°*.

Se tomo España como referencia por ser uno de los países que se encuentran en la zona de menor nivel de potencia del satélite *intelsat*, con esto cualquier otro país que utilizemos estará dentro del rango. Con este cálculo cubrimos lo referente al cálculo de un enlace intercontinental que era el que nos hacia falta; se tomó el satélite 325.5° por ser el satélite que cubre la mayor parte de los países más importantes de Europa, y porque en este satélite aún se tiene capacidad en los transpondedores designados para *TDMA*.

Al igual que se realizó el cálculo para el satélite *Morelos II*, se realizará el mismo procedimiento para hacer el cálculo con el satélite *Intelsat VI 325.5*, especificando los puntos que componen el enlace y posteriormente desarrollando cada uno, involucrando la fórmula y sustituyendo los valores correspondientes.

J) Datos

a) Datos de satélite

b) Datos de la señal a transmitir

c) Datos de las estaciones terrenas transmisora y receptora

d) Datos de densidad de interferencia

II) Cálculos preliminares

a) Ancho de banda

b) Apuntamiento de la antena y distancia de la estación terrena al satélite

III) Enlace descendente

a) Pérdidas en el espacio libre ascendentes

b) Relación $(C/N)_{ASC}$

c) Relación portadora a ruido $(C/N)_{ASC}$

d) Relación portadora a ruido ascendentes del sistema $(C/N)_{ASC\ SIST}$

IV) Enlace descendente

a) PIRE del satélite

b) Pérdidas por espacio libre descendentes

c) Figura de mérito de la antena ubicada en España

d) Relación $(C/N)_{DESC}$

e) Relación portadora a ruido descendente $(C/N)_{DESC}$

f) Relación portadora a ruido descendente del sistema $(C/N)_{DESC\ SIST}$

V) Evaluación del enlace

a) Relación portadora a densidad de ruido total del sistema

b) Relación portadora a ruido requerido

c) Margen del enlace

1) Datos***a) Datos del satélite***

Satélite	Intelsat VI
Longitud	325.5° E = 34.5° O
Banda de operación	Ku
Frecuencia ascendente	14.205 GHz
Frecuencia descendente	11.155 GHz

b) Datos de la señal a transmitir

Velocidad	64 Kbps
Modulación	BPSK
Roll-Off	14 %
F.E.C.	0.5
B.E.R.	1.0E-9
F.M.	1
Eb/No	5.5

c) Datos de las estaciones terrenas transmisora y receptora

	México	España	
Latitud	19.35	41	°N

Longitud	99.01	3.77	°O
Diámetro de la antena	7.6	2.4	m
Ganancia de la antena Tx	58.9	48.81	dB
Ganancia de la antena Rx	57.28	47.27	dB
Temperatura del sistema	125	177.4	°K

e) *Densidad de interferencia*

Intermodulación	ASC = 30	DESC = 18
Polarización cruzada	ASC = 35	-----
Satélite adyacente	ASC = $G_{TX} - (29 - 25 \log 1.9)$	
	DES = $G_{RX} - (29 - 25 \log 1.9)$	

II) *Cálculos preliminares*

a) *Ancho de banda (AB)*

$$AB = V_{INF} (F.E.C.)^{-1} (F.M.) (Roll-Off)$$

$$AB = 64 (0.5)^{-1} (1) (1.14)$$

$$AB = 145.92 \text{ KHz}$$

b) *Apuntamiento de antena y distancia de la ET al satélite*

México**Angulo de azimut**

$$A' = \tan^{-1} [\tan (\text{Long E/T} - \text{Long Sat}) / \text{Sen Lat E/T}]$$

$$A' = \tan^{-1} [\tan (99.01 - 34.5) / \text{Sen } 19.35]$$

$$A' = 81.023^\circ$$

Debido a que la estación terrena en México se encuentra al Oeste del satélite se ocupa la siguiente relación.

$$A = 180 - A'$$

$$A = 180 - 81.02$$

$$A = 98.976^\circ$$

Angulo de elevación

$$E = \cos^{-1} [(R+H)/L] \text{ Sen } \beta$$

$$R = 6378 \text{ Km (radio promedio de la tierra)}$$

$$H = 35786 \text{ Km (Altitud del satélite en forma perpendicular sobre el ecuador)}$$

L = Distancia entre la E/T y el satélite.

$$\beta = \cos^{-1} [\cos (\text{Lat E/T}) \cos (\text{Lon E/T} - \text{Lon Sat})]$$

$$L = [(R)^2 + (R+H)^2 - 2R(R+H) \cos (\beta)]^{1/2}$$

Sustituyendo valores.

$$\beta = \cos^{-1} [\cos (19.35) \cos (99.01 - 34.5)]$$

$$\beta = 66.043$$

$$L = [(6378)^2 + (6378+35786)^2 - 2(6378)(6378+35786) \cos (66.043)]^{1/2}$$

$$L = 40001.12 \text{ Km}$$

$$E = \cos^{-1} [((6378+35786)/40001.12) \text{ Sen } 66.043]$$

$$E = 15.587^\circ$$

España**Angulo de azimut**

$$A' = \tan^{-1} [\tan (\text{Long } E/T - \text{Long Sat})/\text{Sen Lat } E/T]$$

$$A' = \tan^{-1} [\tan (356.23 - 325.5)/\text{Sen } 41]$$

$$A' = 42.180^\circ$$

Debido a que la estación terrena en España se encuentra al este del satélite se ocupa la siguiente relación.

$$A = 180 + A'$$

$$A = 180 + 42.180$$

$$A = 222.180^\circ$$

Angulo de elevación

$$E = \cos^{-1} [((R+H)/L) \text{ Sen } \beta]$$

$$\beta = \cos^{-1} [\cos (\text{Lat } E/T) \cos (\text{Lon } E/T - \text{Lon Sat})]$$

$$L = [(R)^2 + (R+H)^2 - 2R(R+H) \cos (\beta)]^{1/2}$$

Sustituyendo valores.

$$\beta = \cos^{-1} [\cos (41) \cos (356.23 - 325.5)]$$

$$\beta = 49.553^\circ$$

$$L = [(6378)^2 + (6378+35786)^2 - 2(6378)(6378+35786) \cos (49.553)]^{1/2}$$

$$L = 38334.82 \text{ Km}$$

$$E = \cos^{-1} \left[\frac{((6378+35786)/38334.82) \sin 49.553}{1} \right]$$

$$E = 33.17^\circ$$

III) Enlace ascendente

a) Pérdidas en el espacio libre ascendentes

$$L_s = 20 \log [4\pi DF/C]$$

$$D = 40001.12 \text{ km}$$

$$F = 14.205 \text{ GHz.}$$

$$C = 3E08 \text{ m/s}$$

$$L_s = 20 \log [4\pi(40001.12 E03) (14.205 E9)/3E08]$$

$$L_s = 207.5320 \text{ dB}$$

b) Relación $(C/N_o)_{ASC}$

$$(C/N_o)_{ASC} = PIRE_{BT} + (G/T)_{SAT} - K - L_s - \mu - L_{\Delta} \quad [\text{dB-Hz}]$$

$$(G/T)_{SAT} = 1 \text{ dB}$$

$$K = -228.6$$

$$\mu = 4.5$$

$$L_{\Delta} = 1$$

Se considera un pire de 53.8 de acuerdo a los valores del satélite *Intelsat-VI* (325.5)

$$(C/N_o)_{ASC} = 53.8 + 1 - (-228.6) - 207.5320 - 4.5 - 1$$

$$(C/N_o)_{ASC} = 70.37 \text{ dB-Hz}$$

c) *Relación portadora a ruido (C/N)_{ASC}*

$$(C/N)_{ASC} = (C/N_o)_{ASC} - 10 \text{ Log (AB)}$$

$$(C/N)_{ASC} = 70.37 - 10 \text{ Log}(145.92E03)$$

$$(C/N)_{ASC} = 18.7288 \text{ dB}$$

d) *relación portadora a ruido ascendente del sistema*

$$(C/N)_{ASC \text{ SIST.}}$$

$$(C/N)_{ASC \text{ SIST}} = 10 \text{ Log} \left[\frac{1}{1/\text{Log}^{-1}((C/N)_{ASC}/10) + 1/\text{Log}^{-1}((C/I)/10) + 1/\text{Log}^{-1}((C/X)_{POL \text{ CRZ}}/10) + 1/\text{Log}^{-1}((C/X)_{RADY}/10) + 1/\text{Log}^{-1}((C/X)_{POL \text{ CRZ}}/10)} \right]$$

Considerando las densidades de intermodulación igual a los valores utilizados para el satélite Morelos II se tiene:

$$(C/I)_{INTERMODULACION} = 30 \text{ dB}$$

$$(C/X)_{POL \text{ CRZ}} = 35 \text{ dB}$$

$$(C/X)_{RADY} = G_{TX} - (29 - 25 \text{ Log } 1.9)$$

$$(C/X)_{\text{SADY}} = 58.9 - (29 - 25 \text{Log} 1.9)$$

$$(C/X)_{\text{SADY}} = 36.868 \text{ dB}$$

Debido a que son valores mayores que la $(C/N)_{\text{ASC}}$, se puede prescindir de ellos ya que predomina el valor menor.

$$(C/N)_{\text{ASC SIST}} = 10 \text{Log} \left[\frac{1}{\left[\frac{1}{\text{Log}^{-1}(18.7288/10)} + \frac{1}{\text{Log}^{-1}(30/10)} + \frac{1}{\text{Log}^{-1}(36.868/10)} + \frac{1}{\text{Log}^{-1}(35/10)} \right]} \right]$$

$$(C/N)_{\text{ASC SIST}} = 18.261 \text{ dB}$$

IV) Enlace descendente

a) PIRE del satélite

$$\text{PIRE}_{\text{SAT}} = 44.7$$

De acuerdo a valores característicos para el satélite *Intelsat VI*

b) Pérdidas por espacio libre descendentes

$$L_s = 20 \text{ Log}(4\pi DF/C)$$

$$D = 38334.82 \text{ km}$$

$$F = 11.155 \text{ GHz}$$

$$C = 3\text{E}08 \text{ m/s}$$

$$L_s = 20 \text{ Log}[4\pi (38334.82 \text{ E}03) (11.155 \text{ E}09)/3 \text{ E}08]$$

$$L_s = 205.63 \text{ dB}$$

c) Figura de mérito de la antena ubicada en España (Rx)

$$(G/T)_{RT} = G_{RX} - 10 \text{ Log}(T_s + \Delta T)$$

Considerando una antena de 2.4 m y $\eta = 0.6$

$$G_{RX} = 10 \text{ Log } \eta [(\pi D/\lambda)^2]$$

$$\lambda = C/F = 3 \text{ E}8/11.155 \text{ E}9 = 0.0268$$

$$G_{RX} = 10 \text{ Log } 0.6 [(\pi(2.4))/0.0268]^2$$

$$G_{RX} = 46.7660$$

Considerando que:

$$T_{ANT} = 35^\circ \text{ K}$$

$$T_{LNA} = 90^\circ \text{ K}$$

$$T_{PER POL} = 7^\circ \text{ K}$$

$$T_s = T_{ANT} + T_{LNA} + T_{PER POL} = 35 + 90 + 7 = 132$$

$$\Delta T = [1 - \text{Log}^{-1}(-\mu_{DES}/10)] 275$$

$$\Delta T = [1 - \text{Log}^{-1}(-4.5/10)] 275$$

$$\Delta T = 177.426 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$(G/T)_{RT} = 46.7660 - 10 \text{ Log}(132 + 177.42)$$

$$(G/T)_{BT} = 21.8604 \text{ dB } ^\circ\text{K}$$

d) Relación $(C/N_o)_{DES}$

$$(C/N_o)_{DES} = PIRE_{SAT} + (G/T)_{BT} - K - L_s - \mu - L_a \text{ [dB-Hz]}$$

$$(C/N_o)_{DES} = 44.7 + 21.8604 - (-228.6) - 205.063 - 4.5 - 1$$

$$(C/N_o)_{DES} = 84.5974 \text{ dB}$$

e) Relación portadora a ruido $(C/N)_{DESC}$

$$(C/N)_{DES} = (C/N_o)_{DES} - 10 \text{ Log (AB)}$$

$$(C/N)_{DES} = 84.5974 - 10 \text{ Log (145.92E3)}$$

$$(C/N)_{DES} = 32.9562 \text{ dB}$$

f) Relación portadora a ruido descendente del sistema $(C/N)_{DES, SIST}$

$$(C/N)_{DES, SIST} = 10 \text{ Log} \left[\frac{1}{\frac{1}{\text{Log}^{-1}((C/N)_{DES}/10)} + \frac{1}{\text{Log}^{-1}((C/I)/10)} + \frac{1}{\text{Log}^{-1}((C/X)_{ADV}/10)} + \frac{1}{\text{Log}^{-1}((C/X)_{VOL, CRZ}/10)}} \right]$$

$$(C/I)_{INTERMODULACION} = 18 \text{ dB}$$

$$(C/X)_{VOL, CRZ} = \text{No hay}$$

$$(C/X)_{ADV} = G_{RX} - (29 - 25 \text{ Log } 1.9)$$

$$(C/X)_{ADV} = 47.27 - (29 - 25 \text{ Log } 1.9)$$

$$(C/X)_{ADV} = 25.238 \text{ dB}$$

$$(C/N)_{DES\ SIST} = 10 \text{ Log } [1/[1/\text{Log}^{-1}(32.9562/10) + 1/\text{Log}^{-1}(18/10) + 1/\text{Log}^{-1}(25.238/10)]]$$

$$(C/N)_{DES\ SIST} = 17.144 \text{ dB}$$

V) Evaluación del enlace

a) Relación portadora a densidad de ruido total del sistema

$$(C/N)_{TOT\ SIST} = 10 \text{ Log } [1/[1/\text{Log}^{-1}((C/N)_{ABC\ SIST}/10) + 1/\text{Log}^{-1}((C/N)_{DES\ SIST}/10)]]$$

$$(C/N)_{TOT\ SIST} = 10 \text{ Log } [1/[1/\text{Log}^{-1}(18.261/10) + 1/\text{Log}^{-1}(17.144/10)]]$$

$$(C/N)_{TOT\ SIST} = 14.6597 \text{ dB}$$

b) Relación portadora a ruido requerida $(C/N)_{REQ}$

$$(C/N)_{REQ} = E_b/N_0 - 10 \text{ Log } (AB) + 10 \text{ Log } (Vel)$$

$$(C/N)_{REQ} = 5.5 - 10 \text{ Log } (145.92 \text{ E}03) + 10 \text{ Log } (64 \text{ E}03)$$

$$(C/N)_{REQ} = 1.920 \text{ dB}$$

c) Margen del enlace

$$ME = (C/N)_{TOTAL\ SIST} - (C/N)_{REQ}$$

$$ME = 14.6597 - 1.92$$

$$ME = 12.7397$$

Como ME es mayor que cero se garantiza el enlace.

Cabe mencionar que actualmente no existe un enlace intercontinental de transmisión de datos utilizando una red VSAT.

Con el cálculo realizado anteriormente se comprueba que existen los elementos para llevarlo a cabo, pero debido a que es un servicio que apenas se empieza a difundir en México, se cuenta con pocos usuarios y el tráfico que estos generan, no es el suficiente como para solventar el servicio ya que las tarifas de *Intelsat* son relativamente caras.

Retomando nuevamente un caso de contingencia, ejemplificaremos con lo siguiente. En nuestro caso, si tenemos una red de transmisión de datos por satélite, y por ejemplo nos encontramos utilizando el satélite *Morelos II*, en el momento en que se termine su vida útil, entraremos unos meses antes en un período de contingencia para trasladar nuestras señales a otro satélite. El organismo encargado de dar aviso de estos sucesos es Telecomunicaciones de México, el cual tiene que asignarnos nuevamente una parte de segmento espacial en el otro satélite digamos *solidaridad I* ó *II* con sus nuevas frecuencias respectivas al tipo de señales que estemos manejando.

Pero que va a pasar si en la red ya sea pública o privada se tienen un número superior a las 100 estaciones remotas distribuidas en el interior de la república, a las cuales les es indispensable contar con este enlace en forma permanente. Al momento de reorientar la antena maestra se perderán los enlaces con todas sus estaciones remotas al salirse éstas de sincronización, y permanecerán fuera desde un día en las primeras estaciones que se reorienta hasta meses en las últimas, y esto dependerá del número de estaciones remotas que se tengan así como la rapidez con que se trasladen al lugar y se realicen los cambios. Como también las estaciones remotas tendrán que reorientarse al

asignadas al nuevo segmento espacial. Para poder hacer esto, personal especializado en este tipo de trabajo se tendrá que trasladar al lugar y hacer lo necesario para dejar el enlace nuevamente activo pero ahora en el otro satélite.

3.3 MONITOREO Y CONTROL DE UNA RED VSAT

Para el monitoreo y control de una red VSAT, los diferentes fabricantes han adoptado características muy semejantes en cuanto a los dispositivos de monitoreo y control a utilizar, tanto del sitio remoto como de la estación maestra, lo cual es soportado por el módulo de software de monitoreo y control de la red (*NMC*). El *NMC* actualiza la base de datos de los módulos dedicados a los *TMCC's* y *RMCC's*, y el software de monitoreo y control de tráfico de datos (*DTMC*), que es el que se encarga de integrar las estadísticas de tráfico, así como de todos los parámetros de nivel 2 y nivel 3 del protocolo utilizado, provenientes de estos módulos.

Para poder realizar dicho monitoreo los fabricantes y en especial **Scientific Atlanta** han decidido incluir tres elementos primordiales que son:

- *La Consola*
- *La H.I (Human Interface)*
- *La Terminal Editora.*

En la *consola*, lo que obtenemos es una visualización del estado de alarmas y posibles eventos que ocurren tanto en la estación maestra como en las estaciones remotas, ya sea de software o de hardware. Estos mensajes son desplegados cada vez que el sistema realiza el poleo con cada uno de los elementos de los que puede obtener una respuesta para su monitoreo automático, y así poder desplegar el mensaje de alarma correspondiente, o bien, únicamente mensajes informativos del estado de la red. En la *consola* se despliegan las alarmas de todos los tipos y niveles en que se clasifican, para poder tener un mejor control de las fallas que ocurren, y de las cuales la mayoría se pueden resolver ya sea por alguna acción tomada por el operador de la red en cuanto a

configuración de equipo o movimiento de parámetros, o bien, por algún comando del software que se le introduzca para poder contrarrestar la falla.

La *H.I.* o *Interfaz Humana*, es la terminal con que el operador de la red cuenta para interactuar directamente con el sistema en la configuración de alguna estación remota, la configuración de *TMMC's* y *RMCC's*, configuración de puertos de estaciones remotas, *Outlink's* y *Returlink's* o cualquier tipo de configuración necesaria para correr alguna aplicación.

También nos despliega en pantallas separadas el estado de las estaciones remotas, o bien los parámetros de control para éstas. Cuenta con pantallas en las que se puede apreciar la asignación de módulos (*TMCC's* y *RMCC'S*) a sus respectivos *Outlink's* y *Returnlink's*; desplegados de los sitios que están en falla o de alguno de los módulos de la estación maestra, etc. También nos proporciona estadísticas las cuales nos muestran por medio de gráficas el porcentaje de utilización y de tráfico de cada uno de los módulos transmisores y receptores, así como de cada una de las estaciones remotas.

La *H.I.* es de bastante utilidad, ya que sin ésta no se podría tener acceso a los diferentes tipos de configuración de los elementos de la red que deben de ser configurados, de manera que se adapten a las necesidades de las aplicaciones que se estén utilizando por parte de los diferentes usuarios que tengan su propia red, o que renten el servicio en una red pública.

La terminal *editora* es otra herramienta de suma importancia en el monitoreo y control de una red VSAT, en ésta podemos obtener las estadísticas del tráfico cursado por las diferentes estaciones remotas, tanto a nivel de trama (nivel 2), como a nivel de paquete (nivel 3), desde esta terminal el operador interactúa directamente con el NCS o

bien con cualquiera de los conmutadores de paquetes, también por medio de ésta se interactúa con el sistema operativo de la red en todos sus niveles. Además nos ayuda a la configuración de parámetros tanto de *outlink's*, de *returnlink's* y puertos Host para el chasis de expansión.

A continuación se dará una visión general del software empleado por Scientific Atlanta en las redes que actualmente se encuentran instaladas en la república mexicana para su monitoreo y control. Este software está integrado por una serie de pantallas muy amigables del tipo de ventanas y menús, que permiten un fácil manejo a cualquier persona que sea la responsable del monitoreo y control de la red.

Una parte del monitoreo y control es la dedicada al hardware de la estación maestra, en esta parte entran en juego el modulador de salida *TMCC* asociado (*MOD/TMCC*), el demodulador de la ráfaga del enlace de regreso con su *RMCC* asociado (*MOD/RMCC*).

Una de las tareas de suma importancia con las que cuenta el software de la red es la conmutación de los módulos como los conmutadores de paquetes. Cuando un conmutador de paquetes está en línea, el otro queda como respaldo del primero en caso de que ocurriera alguna falla en éste; normalmente el que está en línea procesa el software activo, mientras que el de respaldo se encuentra monitoreando al que está en línea. Cuando el conmutador de paquetes en línea falla, el conmutador de paquetes que está de respaldo automáticamente se pondrá en línea tomando ahora éste el control del tráfico y el software activo en la memoria del sistema, quedando el que falló primero de respaldo al que quedó en línea automáticamente.

Una de las consecuencias que lleva todo esto es que cuando un conmutador de paquetes falla, se pierde el tráfico de toda la red, normalizándose cuando entra el que se encuentra de respaldo. La conmutación automática y la transferencia de tráfico se lleva aproximadamente 5 minutos, y este tiempo depende principalmente de cuanto se tarde el conmutador de paquetes que entra en tomar el control del tráfico de la red, y del tiempo que le tome en reconocer todas las estaciones remotas configuradas en la base de datos.

El conmutador de paquetes puede dejar de operar si se presenta falla en:

- *El hardware del conmutador*
- *El software del conmutador de paquetes incluyendo una mala operación del sistema por parte del operador*
- *Una tarea crítica del conmutador de paquetes, incluyendo tareas de conmutación de datos en X.25*

En el caso de las estaciones remotas los estados que se revisan para controlarlas a través de la estación maestra son:

- *Estado de la portadora*
- *Tráfico del usuario*
- *Modo de prueba*
- *Estado respuesta-velocidad*

En las estaciones remotas los *RMCC's* son los encargados de recibir y ejecutar las solicitudes de cambio generadas por la estación maestra, confirmando que el cambio fue efectuado. El software del *NCS* realiza constantemente un poleo con todas las estaciones

remotas que tiene dadas de alta en su base de datos, con lo cual actualiza la información de monitoreo y control aproximadamente cada 15 segundos.

Cuando ocurre una falla en el sitio remoto, automáticamente se detiene el tráfico de datos, con lo cual aparece un mensaje de alarma en la estación maestra. Al intervalo de tiempo mínimo en que ocurre una transmisión de estos mensajes entre maestra y remota se le llama relación de velocidad de respuesta. Dicha relación es para notificar a la estación maestra de una falla detectada en la estación remota, el rango de trabajo de la velocidad de respuesta es desde unos segundos hasta 5 o 6 minutos dependiendo del tipo de falla.

Una facilidad que presenta el monitoreo y control de la red, es la de generar estados de prueba que permiten realizar una comunicación entre los sitios remotos y la estación maestra, sin afectar el tráfico del usuario, a esto se le llama poner en modo de prueba una estación remota y sirve para checar los niveles de potencia tanto a la transmisión como a la recepción de la estación remota. Además la estación maestra establece comunicación con los diferentes sitios remotos, con el fin de evaluar estadísticamente el número y porcentaje de mensajes recibidos.

La función de monitoreo de la red es la de desplegar la información concerniente al enlace satelital con cada remota, esto es la relación E_b/N_0 y el BER del *Outlink*, la frecuencia exacta del mismo, así como el estado del equipo de la unidad interior y exterior de la estación remota, o cualquier otro parámetro o módulo que intervenga en la red.

La relación E_b/N_0 , bit de energía a densidad de energía de ruido, es una base para la medición de la función señal a ruido del sistema digital a la recepción. Esta

relación depende del tipo de modulación y sistema procesador de la señal utilizada. En el NCS el software evalúa el Eb/No en los sitios remotos, a partir del voltaje generado por la etapa demoduladora del DPU expresado en dB. Esta medida es una señal útil recibida de la estación remota, un deterioro en el Eb/No generalmente denota problemas en el equipo del sitio remoto o bien desvanecimiento por lluvia en la señal recibida; por lo tanto, estableceremos que si la relación es mayor de 6.5 o 7.5 dB, la comunicación entre remota y maestra se hará de una forma normal sin problemas en la transmisión de la información, de lo contrario se detectará una pérdida de comunicación de tal forma que se verá interrumpida la transmisión de la información.

El Eb/No es una medida crítica de la función del enlace, que coloca en un vínculo lineal a la relación de BER (*Bit Error Rate*) que es una relación de los bits transmitidos en el canal y los bits de error que se transmiten. Por ejemplo si tenemos un BER 10^{-4} , es un Eb/No de 4 dB aproximadamente. Si este valor cae, es considerado un BER inaceptable para el valor de operación del DPU. En la siguiente figura se presenta la relación Eb/No y el BER. El Eb/No de la estación remota puede variar respecto a:

- *Figura de mérito de la antena*
- *El PIRE del satélite*
- *Desvanecimiento por causas del clima en el enlace de bajada del satélite*

En el momento de instalar una estación remota se deberá obtener un Eb/No de 13.0dB, para que la estación se encuentre en un estado óptimo de operación, aunque si este nivel baja hasta aproximadamente 6.5 o 7 dB por desvanecimiento de la señal a causa de lluvia en el enlace de bajada, puede haber problemas en la transmisión de la información. Por lo tanto se debe de considerar un rango en el nivel obtenido en la

instalación de entre 10 y 13 dB, para que el equipo trabaje en condiciones óptimas de operación.

El monitoreo y control es fundamental en una estación remota, ya que gracias a éste, casi no se necesita de mantenimiento en el equipo mientras se encuentra en estado normal de funcionamiento. En caso de posibles fallas en el equipo, se podrá determinar el problema en el sitio remoto por medio de un panel de alarmas que posee el DPU, el cual nos refleja dependiendo de los led's que se encuentren encendidos el estado en que se encuentran tanto el DPU como el ORU en la estación remota.

Mensajes de alarma

Entre los parámetros fundamentales de las redes VSAT se encuentra el soporte de seguridad y alarmas, con el cual podemos garantizar condiciones de trabajo óptimas en la red.

La principal importancia de dicho soporte es que permite a la estación maestra prevenir y corregir fallas muchas veces automáticamente sin intervención del operador de la red.

Los mensajes de seguridad y alarmas son clasificados y codificados con hora y fecha en la que aparecieron, así como también letras y colores para poder diferenciar el tipo de mensaje.

Dentro de los mensajes de seguridad y alarmas se ubican cuatro niveles que son representados por las letras *I, W, E, F*, estas letras las definiremos a continuación.

(I) = Información

Indica un cambio en el estado que no requiere de acción del operador. Típicamente algún sitio, componente o parámetro ha sido restablecido de una acción anormal o de falla.

(W) = Advertencia

Indica un cambio en el estado se que podría requerir de la acción del operador. Si esta alarma no es sustituida en breve por un mensaje informativo, o si vuelve a presentarse, el servicio de comunicación puede verse afectado.

(E) = Error

Indica un cambio en el estado que requiere de la acción del operador de la red, esto es, que una falla significativa a ocurrido en algún sitio dentro de la red. Esta falla puede ser parcial afectando solo a un sitio, o bien que una recuperación automática pueda haber prevenido la pérdida del servicio de comunicación, pero una falla mayor podría ocurrir en la red si no se toman las medidas necesarias para reparar la primera falla.

(F) = Fatal

Un cambio en el estado ha ocurrido que demanda una intervención inmediata del operador. Los procesos de restablecimiento automático ya no funcionan para una falla mayor en el sistema. Nos indica que una falla es inminente o ha ocurrido ya.

Para acentuar las diferencias en el nivel de seguridad, todos los mensajes de alarmas son clasificados por colores, los mensajes *informativos* son de color *verde*, los de

advertencia son de color *blanco*, los de *error* son de color *azul* y los *fatales* son de color *rojo*.

Además son cuatro los tipos de alarmas o mensajes de seguridad que son generados por el sistema.

- *Alarmas de hardware*
- *Alarmas de software*
- *Alarmas de depuración*
- *Alarmas de enlace/informativo*

Las alarmas de *hardware* son generadas por el *NCS*, para señalar cualquier cambio significativo en los componentes o parámetros de la red. La mayoría de estas alarmas se relacionan con los cambios de los parámetros críticos en la configuración de la red. Por ejemplo: la señal deteriorada en un sitio remoto, o el exceso de tráfico en la red.

Las alarmas de *hardware* son fácilmente identificables del otro tipo de alarmas, por un número de identificación de alarma, el cual antecede al mensaje del texto, solo las alarmas de *hardware* presentan este número. La importancia de estas alarmas es el proveer información de diagnóstico y sugerencias para solucionar el problema.

Los números de las alarmas van del 1 al 99 para mensajes de falla o anomalía y del 100 al 199 son asignados a mensajes que indican restablecimiento o condición normal de trabajo. Existe una relación directa entre los números de falla y los de restablecimiento, ya que si se genera en la pantalla un 1 = pérdida de comunicación de un sitio remoto; al restablecerse la falla, aparecerá el número 101 = comunicación restablecida, y así sucesivamente con las diferentes alarmas.

Las alarmas de *software* son generadas por el NCS, siempre y cuando éste detecte anomalía en el proceso lógico de configuración o de programación. Este tipo de alarmas se dividen en: mensajes de programación anormal y mensajes de depuración de programación.

Los mensajes de programación anormal son generados por las rutinas del NCS cuando se detectan problemas internos tales como, error en la lectura del disco. Cuando en una tarea de programación se presenta un problema, éste genera el mensaje de alarma correspondiente deteniendo el proceso en cuestión. Los problemas de software están relacionados con los módulos *NMC*, *NETCON*, *DTMC*, y *DMC*.

Los mensajes de *depuración* son exhibidos solo en procesos de prueba y no se habilitan en procesos normales.

Por último las alarmas de enlace (*link*) o de interfaz de la red, son usadas para identificar cambios críticos en el estado de los circuitos X.25, PAD y los parámetros operativos del sistema. Estas alarmas señalan los cambios de estado en la trayectoria de conformación de los enlaces en los circuitos X.25. Los estados en los que se pueden generar falla son:

- *La subida/bajada del enlace*
- *Desactivación en el enlace, etc.*

Estos problemas pueden ser causados por desvanecimiento de la señal recibida por lluvia, posible falla en el hardware, problemas en el sitio remoto o comandos de configuración.

A continuación describiremos algunas de las pantallas más utilizadas en el software de la *H.I.* para configuración, monitoreo y control de la red.

- 1.- Pantalla de configuración del *TMCC/RMCC*
- 2.- Pantalla de configuración del *Outlink*
- 3.- Pantalla de configuración del *Returnlink*
- 4.- Pantalla de configuración del modem de diagnóstico
- 5.- Pantalla de configuración del enlace del host
- 6.- Pantalla de configuración del sitio remoto
- 7.- Pantalla de configuración del puerto de datos del sitio remoto

Pantalla de configuración del TMCC/RMCC

Cuando esta pantalla es llamada, el cursor se posiciona en el primer campo de entrada, en el cual se selecciona entre los dos tipos de dispositivos, tecleando *t* o *r*, se selecciona uno de los dos, después se pasa el cursor al campo siguiente *TMCC/RMCC* No., en este campo se asigna el número a configurar que va del 1 al 8 para ambos, pasando así al siguiente campo al dar un enter.

Campo *Action*: En este campo existen cuatro argumentos seleccionables *Display* (desplegar en pantalla), *Create* (crear), *Delete* (borrar) y *Edit* (editar); *Display* muestra la configuración existente si es que la hay, *Crear* si se va a configurar uno nuevo, *Editar* si se quiere cambiar algunos parámetros, *Delete* si se quiere borrar todo lo existente; con un enter pasamos al siguiente campo.

Campo *Data port address*: Es el campo de dirección del puerto de datos, el operador introduce un número de canal duplex que identifica una conexión del puerto

síncrono dentro del conmutador de paquetes. El puerto numerado puede ser usado por un *TMCC* para recibir datos de usuario desde el conmutador y por un *RMCC* para enviar datos de usuario al conmutador, el rango permisible es de 64 a 479.

Mon/Ctl	Traffic	Config	Reports	Download
TMCC / RMCC Configuration				
TMCC/RMCC (T or R) :		TMCC/RMCC No :	Action : (Display, Create, Delete, Edit)	
Packet Switch Number :		IF Rack Number :		
Data Port Address :		IF Shelf Number :		
Async/Sync (A/S) :		Group Number : 0		
NCS Port Address :		Data Rate (Kb/s) :		
Pad Id :				
Pad Port Number :				
TMCC/RMCC Status :		RMCC Group :		
Link Number :		Link Status :		
Ready To		(Y or N)? :		

Campo *NCS Port Address*: En este campo el operador introduce un número del canal duplex que identifica la conexión de un puerto asíncrono sobre el conmutador de paquetes, el rango permisible es de 64 a 479.

Campo *IF Rack No. / IF Shelf No*: Aquí se introduce la localización física del *TMCC/RMCC*.

Campo *Group No*: Todos los *NCC*'s son asignados en grupos entre 0 y 15 y se pueden conmutar entre ellos mismos pero no fuera del grupo asignado.

Campo Data Rate: Se introduce la velocidad del *TMCC/RMCC* en Kb/seg. El *TMCC/RMCC* debe tener la misma velocidad que el *Outlink/Returlink* al cual este asignado.

Después de configurar cada uno de los parámetros en esta pantalla y ser afirmativos los datos nos indica si estamos listos podemos tomar las siguientes opciones y/n.

Pantalla de configuración del Outlink

Cuando la pantalla de configuración es llamada, la posición del cursor se visualiza en el primer campo.

Campo Outlink: En este campo se identifica la conexión del satélite con los sitios remotos asignando un número en la base de datos. El rango permisible es de 1 a 127, cuando este número es tecleado (seguido por enter), el cursor se pasa al campo de *Action*.

```

Mon/Ctl Traffic Config Reports Download
                        Outlink Configuration
-----
Outlink No :          Action : (Display,Create,DElete,
                               Edit,Activate,DEActivate)

Satellite  Grade Of Service  Link Fault  Attribute  Assigned
Frequency  Threshold (Kb/s)  Threshold (Kb/s)  File No.  TMCC

          DATA FOR RELATED RETURNLINKS
Trans  Group  Returnlink Data  Returnlink Ack  Returnlink Frame
ponder Number  Burst Length (Bits)  Burst Length (Bits)  Size (Slots)
  1         0

Outlink Status :          Outlink Data Rate (Kb/s) :

Carrier Status :          Current TMCC Number :

Ready To          (Y/N)? :  Assigned TMCC Status :
  
```

Campo Action: Existen seis argumentos seleccionables; *Display, Create, Delete, Edit, Activate y Deactivate* descritos anteriormente; con enter nos cambiamos al siguiente campo.

Campo Satellite Frequency: Se asigna la frecuencia referida (en banda Ku) del *Outlink* y es usada para acceder al satélite y poder establecer comunicación con una subred de estaciones remotas, preasignadas por el operador consultando la lista de frecuencias autorizadas en la pantalla correspondiente.

Campo Grade Of Service: El umbral de grado de servicio es el rendimiento en Kb/s, que produce un retardo aceptable en el *Outlink*, representando el tráfico pico en el mismo. El rendimiento actual por *Outlink* es comparado con este umbral y despliega un mensaje de alarma cuando es sobrepasado.

Campo Link Fault: Esta dado en Kb/s produciendo un retardo en el *Outlink* con mucho tráfico en los picos ascendentes, este retraso provocará una falla en los enlaces.

Campo Attribute File No.: Los *Outlink's* deben tener archivos de configuración extendida para configurar las conexiones de la estación maestra con el sitio remoto sintonizado. Se introduce el No. de archivo de atributo que debe ser referido al archivo apropiado para este *Outlink* cuyo rango permisible es de 1 a 255.

Campo Assigned TMCC: Se configura con el mismo número de *TMCC* asignado para este *Outlink*. Se puede dejar en blanco y el mismo *NCS* lo asigna cuando se de el argumento *Activate*.

Campo *Transponder*: Estas redes pueden trabajar en más de un transpondedor. Para calcular las frecuencias del *Outlink* para cada *TMCC*, el software de configuración de la red debe conocer la frecuencia central del transponder que esta siendo usado por cada *Outlink* en el sistema. Por default se asigna el grupo cero, cuando se usa un solo transponder.

Campo *Group No.*: Los *Outlink's* deben de ser asignados a un número que va de 1 a 12. Este número debe corresponder con el número de grupo asignado al *TMCC* que pueda soportar el *Outlink*.

Campo *Data Burst Length/ Ack Burst Length*: Para cada estación remota en una subred, el ascenso al canal del *returlink* esta dividida en intervalos de tiempo o ranuras; cada ranura ordena la configuración de al menos dos ráfagas, una larga para uno o más arreglos de información y una corta para un arreglo supervisorio único. La ráfaga más larga llamada de datos (*Data Burst*) es para los paquetes de datos del usuario y mensajes *NCS*; la ráfaga corta se utiliza principalmente para la confirmación de arreglos recibidos previamente y se llama ráfaga de confirmación (*Ack Burst*)

Campo *Returnlink Frame Size*: Se configura un número que es definido por el usuario para ranuras contiguas. Esta entrada con la longitud de la ranura y de la ráfaga del *Outlink*, es usada por el *NCS* para calcular la velocidad de la palabra de sincronía *SOF* para este *Outlink*.

Campo *Ready to (Y or No)*: Al dar una respuesta afirmativa (Y) se confirma la petición, en caso de que los valores caigan fuera del rango permitido aparecerá un mensaje de error, enviando el cursor al campo donde existe el error.

Pantalla de configuración del Returnlink

Campo Returnlink No: El número de enlace identifica únicamente la comunicación entre sitio remoto y maestro. El rango permisible es de 1 a 127 seguido por enter el cursor se desplaza al campo siguiente.

Campo Action: Ya se describió anteriormente.

Campo Satellite Frequency: Esta frecuencia de *returnlink* es asignada a un *RMCC* cuando el *returnlink* esta activo. El *NCS* sintoniza los moduladores de sitios remotos y los demoduladores del sitio maestro.

Campo Relate Data Outlink: En una red que usa más de un transpondedor, un *returnlink* puede necesitar dos *outlink's* asociados, uno para datos y otro para corrección de frecuencia. Este identifica los datos del *outlink* asociado, usado por el software de configuración de la red para configurar los parámetros X.25.

```

Mon/Ctl Traffic Config Reports Download
Returnlink Configuration
Returnlink No :      Action : (Display,Create,DElete,
                             Edit,Activate,DEActivate)
Related Related
Satellite Data Timing Thresholds (Packets per Slot) X.25 Mode
Frequency Outlink Outlink Grade Of Service Link Fault (Y or N)

Assigned RMCC :      Transponder No :1      Group No :0

Returnlink Status :      Returnlink Data Rate (Kb/s) :

Data Burst Length (Bits) :      Returnlink Frame Size (Slots) :

Current RMCC No :      Assigned RMCC Status :

Ready To      (Y or N)? :
  
```

Campo *Related Timing Outlink*: Corrige las frecuencias de los *Outlink's* que no pueden reconocer sus transmisiones cuando se esta trabajando con muchos transpondedores, es decir, es utilizado para sintonizar la demodulación continua en los *RMCC's*.

Puede servir el mismo *Outlink* tanto para sincronía como para datos.

Campo *Grade of Service*: Es el rendimiento de paquetes por ranura que produce un retardo tolerable en un *returnlink* y representa picos de tráfico anticipados con el mismo. El rango permisible es de 0.12 a 0.20 marca error cuando esta fuera del rango.

Campo *Link Fault*: El rendimiento de paquetes por ranura que produce grandes retrasos tolerables sobre este *returnlink*, con tráfico adicional los picos ascendentes en retrasos pueden causar falla en los enlaces. Un mensaje de alarma es desplegado si el umbral es excedido, el rango permisible es de 0.20 a 0.30.

Campo *X.25*: Para estos *returnlink's*, una entrada en *n* coloca el enlace en modo *TDMA*, en algunas o todas las ranuras de datos son permanentemente reservadas.

Campo *Assigned RMCC*: El número de *RMCC*, para que este *returnlink* sea asignado si no es especificado, el *NCS* debe controlar su asignación cuando el argumento *Active* este completo, el rango permisible es de 1 a 127.

Campo *transponder No*: Algunas redes pueden necesitar más de un transpondedor. Para calcular el ángulo visual de la antena VSAT y las ráfagas de frecuencias demoduladas, el software de configuración de la red debe conocer la

frecuencia central del transpondedor utilizada. El grupo cero se asigna cuando la red trabaja con un solo transpondedor el rango permisible es de 0 a 3.

Campo Ready To (Y or N): La confirmación de la solicitud es Y. Si los valores estan fuera del rango manda un error en donde el valor este mal.

Pantalla de configuración del puerto Host

Campo Host Link No: Identifica una conexión única entre el host y el conmutador de paquetes. Al presionar la tecla enter el cursor se desplaza al campo siguiente.

Campo Action: Cuenta con cuatro argumentos seleccionables *D=Display*, *C=Create*, *DEL=DELe*te y *E=Edit* descritos anteriormente.

```

Mon/Ctl Traffic Config Reports Download
Host Link Configuration
-----
Host Link No :      Action : (Display, Create, DELe, Edit)

Protocol   Packet Switch   Packet Switch   Host Pad   Attribute
Type       Port No.       Number         Node No.   File No.

Ready To      (Y/N)? :
  
```

Campo *Packet Switch Port No:* Indica el número de puerto del conmutador de paquetes en donde va a ser conectado.

Campo *Protocol:* Indica el tipo de protocolo a utilizar y pueden ser *Asincrono, X.25, Sdlc.*

Campo *Attribute File No:* El número de campo con características para este enlace host es creado usando la pantalla de atributos de enlaces host. Este no puede ser borrado o editado si el enlace host es asignado a un puerto de un sitio remoto, el rango permisible es de 1 a 225.

Campo *Host Pad Node No:* Identifica el número de nodo usado por este enlace host, el rango permisible es de 0 a 99.

Campo *Ready To Y or N:* La confirmación de la solicitud es **Y**. Si los valores caen dentro del rango permisible la tarea será completada, si no, un mensaje de error será desplegado y enviará el cursor al campo en donde exista el error.

Pantalla de configuración del modem de diagnóstico

Campo *Modem No:* Este número identifica únicamente un modem de diagnóstico en la estación maestra, el rango permisible es de 1 a 16. Al teclear enter el cursor avanza al siguiente campo.

Campo *Action:* Igual al descrito anteriormante.

Campo *Packet Switch Port No*: La dirección del campo usado por esta conexión debe ser un puerto asíncrono en la entrada del chasis de expansión.

Campo *Tone/Pulse*: Aquí se configura como *tono* o *pulso* dependiendo del tipo de señal que sea.

Campo *Telephone No*: El número que es accedido en la estación maestra es el de la línea telefónica que usará el modem de diagnóstico, el rango permisible es de 22 dígitos del 0 al 9.

Campo *Ready To(Y or N)*: La confirmación de la solicitud es *Y*, manda un mensaje de error si hay algún dato fuera del rango permisible.

Pantalla de configuración del sitio remoto

Campo *Site No*: Identifica el sitio remoto para el usuario, que por lo regular se constituye de cuatro dígitos los cuales los asigna el operador de la red, es diferente para cada sitio, con enter pasamos al siguiente campo.

Campo *Action*: descrito anteriormente.

Campo *Site ID*: Este número de 16 bits es producido usando microswitchs sobre la tarjeta *PAD/RCC* y no puede ser editado desde la pantalla. El número de sitio es cargado en el software *NCS*, el rango permisible es de 1000 a 65535, por lo regular se configura igual que *Site No*.

Mon/Ctl	Traffic	Config	Reports	Download
Remote Site Configuration				
Site No:		Action: (Display, Create, Delete, Edit)		
Site ID	Site Name	Returnlink	Latitude(N)	Longitude(W)
Telephone Number		Tone/Pulse	Message Backlog	Threshold Response Rate (Sec)
Express Plus Site	ORU Power Level	Starting TDMA Slots (or N) M	Ending TDMA Slot (or N) M	TDMA Frame (or N) M
Site Status:		Outlink:	Timing Correction Factor	
Angles - Elevation:		Azimuth:	Polarization:	
Ready To	(y or n) ?			

Campo Site Number: El nombre del sitio es seleccionado por el usuario, apareciendo en todas las pantallas en donde sea necesario identificar el nombre del sitio, incluyendo la pantalla de control del sitio remoto, el rango permisible es de 18 caracteres alfanuméricos.

Campo Returnlink: Es el número de *returnlink* identificado para cada sitio asignado. Cuando el argumento *crear* es asignado, es identificado el *outlink* asociado. El rango permisible es de 1 a 127.

Campo Latitud (N), Longitud (W): La latitud en grados Norte y la longitud en grados Oeste son usados por el software *NCS* para calcular el *Factor de Corrección de Tiempo (TCF)* y los ángulos de orientación de la antena (elevación, azimut y polarización), el rango permisible es de $\pm 90^\circ$; $\pm 180^\circ$.

Campo Telephone Number: Se configura el número telefónico por el cual se va a acceder al sitio remoto por medio de un modem de diagnóstico, bajo el control del RCC, el modem se comunica con el modem compatible de la estación maestra para intercambiar información y puede servir como medio alternativo de cargas descendentes, el rango permisible es de 22 dígitos del 0 al 9.

Campo Tone/Pulse: Puede ser *tono* o *pulso* dependiendo del tipo de señal.

Campo Message Backlog Threshold: Es el límite configurado para el número de buffers que pueden ser formados antes de solicitar la reservación de ranuras temporales para cada sitio; el rango es de 5. El NCS continúa la asignación de ranuras reservadas hasta que el *Indicador de Nivel del Buffer (BLI)* regresa por debajo del umbral.

Campo Response Rate (sec): Es el límite configurado para la velocidad en la cual los mensajes de estado no solicitado son enviados por el modem de diagnóstico. Este ajuste representa el número de segundos transcurridos entre transmisiones. Se ajusta a 600 (diez minutos), el rango permisible es de 5.

Campo Assigned Diag Modem: Este modem de diagnóstico para la estación maestra fue definido desde la pantalla de configuración del modem de diagnóstico. Si el enlace satelital falla, el RCC local debe usar este modem para sintonizar con el de la estación maestra.

Campo Starting, Ending TDMA Slot (or N) y TDMA Frame (or n): Es usado por asignación de ranura reservada permanente a un sitio, cuando el protocolo para acceder un *returnlink* es TDMA. El modo TDMA es implementado desde la pantalla de configuración *returnlink*. El rango es de 0 a 255.

Campo *Ready To(Y or N)*: Si son afirmativos los datos y están dentro del rango permisible se da enter en caso contrario manda un error y hay que corregir.

El software que se utiliza en la estación maestra además de configurar también analiza todos los mensajes de estado y utiliza las pantallas *MON/CTL* para alertar al operador de cambios presentados en el hardware; así como también nos indica el estado de los equipos de R.F., F.I. y al conmutador de paquetes, a continuación se describirán dichas pantallas.

Pantalla de R.F. del sitio maestro

Campo *U.L Power Ctl*: Es el único campo de entrada de esta pantalla, se encarga de ajustar la potencia del enlace ascendente de la estación maestra, para mantener constante el *Pire* del satélite a sitios remotos durante desvanecimiento por lluvia.

Los comandos que sirven para controlar dicha potencia son: el comando *s*; establece la opción de cielo limpio (clear sky) que controla la potencia de salida del sitio maestro, en caso de un desvanecimiento estimado por encima de 6 dB que puede reflejar una pérdida en la señal del enlace ascendente, el comando *e* (*enable*) habilita dicha opción y el comando *d* (*disable*) la deshabilita.

Los campos de estados que aparecen en la pantalla son:

El HPA, cuando está en línea (online), está conectado a la antena y habilitado (*enable*) se observa que se enciende el flujo de energía. Para propósito de transmisión, el HPA y el convertidor de subida (U/C) deben estar en línea, normal y habilitado.

```

Mon/Ctl Traffic Config Reports Download
                                Master Site RF

                                S5000_MEXICO SCT
                                Mexico City D.F.

Svrty
Code: 1
-----
HPA 1: Offline Disable Local   LNC 1: Offline Local   Shelter
U/C 1: Normal Local           LNC 2: Offline Local   HI Temp : Normal
Freq1: 14348.000              LNC 3: Offline Local   Lo Temp : Normal
                                LNC 4: Offline Local   Low Pres : Normal

HPA 2: Offline Disable Local   5 Mhz 1: Offline Local Intran : Normal
U/C 2: Normal Local           5 Mhz 2: Offline Local Fire : Normal
Freq2: 14168.000              Mon/Ctl*: Fault
                                Deicing : Off

HPA 3: Offline Disable Local   U.L. Power Ctl Disable
U/C 3: Normal Local           Fade : dB
Freq3: 0.0000000

                                Command Accomplished
Enter <ESC> to exit.          Use UP and DOWN arrows to move cursor.

```

Si algún U/C o HPA falla se conmuta automáticamente al módulo fuera de línea (*offline*).

Para el LNA en línea cuando está conectado a la antena, si éste falla se conmuta automáticamente. El oscilador estándar en línea provee la referencia de sincronía para la red, conmutándose automáticamente en caso de falla.

El estado *remoto/local* en todos los campos indica que la conmutación se puede controlar remotamente desde la computadora o en los paquetes propios del módulo.

Pantalla de F.I. y conmutador de paquetes de la estación maestra

Esta pantalla es solo de monitoreo por lo cual no hay campo de entrada, los enlaces son asignados desde la pantalla de configuración del *outlink* o *returnlink*, el número de *TMCC/RMCC* es asignado en la configuración de *TMCC/RMCC*, cuando un enlace está en espera (*Standby*) se indica con 0. El estado activo (*status active*) indica que

el *TMCC* ha sido sintonizado a la frecuencia del *outlink* configurado y la portadora se ha encendido (On), esto también es para el *returnlink* solo que no enciende portadora. Los *MCC's* son activados desde la pantalla de configuración de *outlink* o *returnlink*.

Como algunas redes necesitan de varios transpondedores, por tanto para calcular la frecuencia de los *MCC's*, el control de la red requiere de la frecuencia central del transpondedor utilizado para cada *outlink* y *returnlink*. Cuando el transpondedor (*XPND*) indica 0 significa que solo se utilizará en la red un solo transpondedor, asignando el número de transpondedor en la pantalla de *outlink* o *returnlink*.

Mon/Ctl		Traffic		Config		Reports		Download					
Master Site IF Packet Switch													
Severity		55000_MEXICO SCT				Packet Switch A Online							
Code : 5		Mexico City D.F.				Packet Switch B							

Dev	No.	Link	Status	Car	XPND	Group	Dev	No.	Link	Status	Car	XPND	Group
TMCC	1	11	Active	On	2	1	RMCC	7	10	Active	2	1	
TMCC	2	10	Active	On	2	1							
TMCC	3	9	Active	On	2	1							
TMCC	4	12	Active	On	2	1							
TMCC	5	0	Standby	Off	0	1							
TMCC	6	13	Active	On	2	1							
RMCC	1	14	Active		2	1							
RMCC	2	13	Active		2	1							
RMCC	3	11	Active		2	1							
RMCC	4	9	Active		2	1							
RMCC	5	8	Active		2	1							
RMCC	6	12	Active		2	1							

Enter <ESC> to Exit Command Accomplished

El número de grupo (Group) va de 1 a 15, es el límite del conmutador para grupos cerrados de *MCC's* y será 0 mientras este dentro del límite, asignado desde la pantalla de configuración del *TMCC/RMCC*.

El conmutador de paquetes en línea (*Online*) es la unidad primaria. Si un *MCC's* falla, se conmuta automáticamente por el que esta en espera (*Standby*), si falla el

conmutador de paquetes primario se conmuta a la unidad secundaria. La pantalla muestra los cambios causados por fallas de dispositivos en la red.

Pantalla de control del sitio remoto

Se llama la pantalla de control de sitio remoto y el cursor se posiciona en el primer campo.

Campo *Site No*: Tiene un rango que va de 1 a 64,532 y debe ser introducido para despliegue de los parámetros de pantalla. El número identifica el sitio en el cual es asignado durante la configuración, si esta dentro de la base de datos se despliega la pantalla pasando al siguiente campo.

Campo *Carrier*: Con *N (normal)* pone la portadora y con *OFF* se deshabilita la portadora y se utiliza para propósitos de prueba.

```

Mon/Ctl Traffic Config Reports Download
Remote Site Control
-----
Site No: 3207      BCH CANCUN
Severity          Outlink No: 11    Returnlink No: 11
Code : 5

----- Status -----
Carrier: Normal   Status Response Rate : 600 Sec
Traffic: Enable   Test Mode : Disable

Command Accomplished
Enter <ESC> to exit: Use UP and DOWN arrows to move cursor.
  
```

Campo *Traffic*: Se encarga de controlar el flujo de tráfico, el comando **E** (*enable*) habilita el tráfico del usuario a través del sitio remoto, con **d** (*disable*) deshabilita o detiene el tráfico, excepto mensajes *NCS* para propósitos de prueba y mantenimiento.

Campo *Status Response Rate*: Define el número de segundos que tarda un mensaje de falla no solicitado desde el sitio remoto, para propósito de prueba el operador puede decrecer o incrementar este rango para minimizar el informe de falla.

Campo *Test Mode*: Controla el modo de prueba el cual cuenta con seis niveles diferentes:

Modo 1 = genera mensajes cada segundo, se selecciona aleatoriamente desde 0 a 19 ranuras

Modo 2 = para SCADA

Modo 3 = comienzo de ranura a intervalos específicos

Modo 4 = comienzo de ranura, arreglos o intervalos específicos

Modo 5 = igual que el modo 3, pero inserta un mensaje de prueba a lo largo de la ranura

Modo 6 = la misma opción para comienzo de ranura igual que 4. El comando **E** (*Enable*) habilita la utilización del modo de prueba, adicionando el número de prueba deseado; con **D** se deshabilita el modo de prueba.

Pantalla del estado del sitio remoto

Campo Site No: Este es el único campo de entrada, tiene un rango que va de 1 a 64,535, aquí se le asigna un número que identifica el sitio y es proporcionado por el usuario.

Los demás datos presentan la siguiente información.

La mayor parte de las fallas en la pantalla requiere mensajes de fallas no solicitados a través del modem de diagnóstico. El enlace (*Link*) permanecerá en falla (*Fault*) si el BER para el sitio está por debajo de 10^{-4} . El del equipo exterior (*Outdoor Equipment*) permanecerá en falla si los componentes de R.F. sufren un deterioro. El interior (*Indoor Equipment*) presentará falla si los componentes del DPU sufren alguna falla.

Campo de estado actual (Diagnóctic Modem): indica si esta activado o no (*Active or Inactive*). Los restantes campos indican el tipo de *PAD's* cargados a la remota y el número de puerto asignado al usuario para cada protocolo.

Mon/Ctl Traffic Config Reports Download
Remote Site Status

Site No: 3207 BCH CANCEL
Severity Code: 5 Outlink No: 11 Returnlink No: 11

Status			
Link	Outdoor Equipment	Indoor Equipment	User Ports 1 = On
Normal	Normal	Normal	1 1 1 1 1
Signal qlty	Frq Accuracy= 62	BER=1 10-9	Port DSR DTR DCD Poll
14.3dB			2 1 1 1 1
			3
Current State	PAD's Downloaded	Diagnostic Modem	4
	1 X25 2 X25		5
			6
Normal		Inactive	7
			8

<Press ESC to Exit> Command Accomplished

En el campo de comunicación (Comm Status): Una falla significa pérdida de comunicación con el conmutador de paquetes.

En el campo estado de tráfico (Traffic State): Además del estado normal existen dos estados de alarma (GOS) y (LNK) que son umbrales de tráfico excedidos en el enlace, estos son definidos en la pantalla de configuración del *outlink* y *returnlink*, no significa falla de equipo.

3.4 DISEÑO DE LOS ENLACES DE ULTIMA MILLA

Se le llama enlace de última milla a la conexión que existe entre la estación maestra y algún punto donde se requiere concentrar la información de los sitios remotos, esta conexión puede ser por varios medios como lo son:

- Canal de radio (radio-enlace)
- Modem telefónico
- Enlace (SCPC)
- Fibra Optica

En la figura 3.4 se puede ver la representación de estos tipos de enlace.

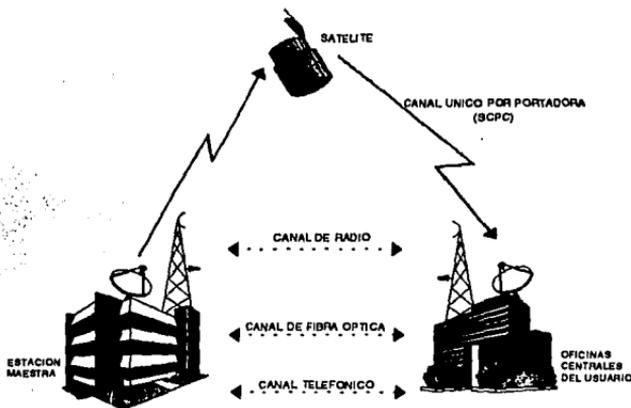


Figura 3.4 Representación de los diferentes tipos de enlace de última milla

En las redes VSAT públicas es común tener este tipo de enlaces ya que se puede prestar servicio a varios usuarios, y éste último ubica el lugar en donde quiere concentrar su información y escoger cualquiera de las opciones para conectarse a la estación maestra de acuerdo a sus necesidades.

En las redes VSAT privadas generalmente no se utilizan este tipo de enlaces ya que como la red es para un solo usuario, éste tiene su estación maestra en el lugar donde requiere concentrar su información como se puede ver en la figura 3.4-a.

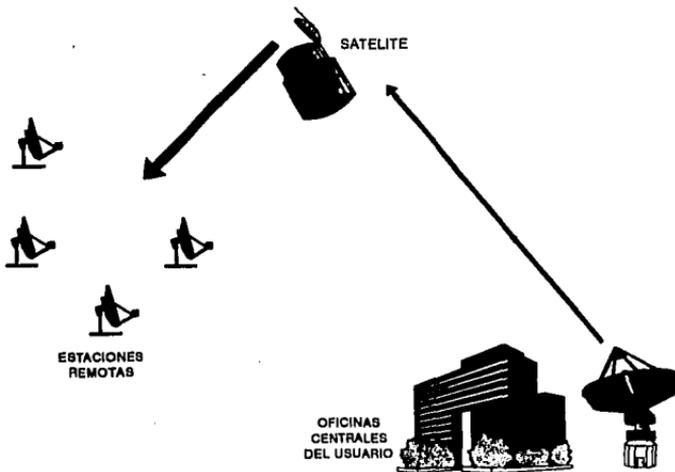


Figura 3.4-a Redes VSAT privadas

La estación maestra acepta la conexión de los enlaces de última milla a través del puerto Host o puerto anfitrión del módulo de expansión del conmutador de paquetes que se especificó en la sección de F.I.

Radio - enlace

Sistemas en línea de vista, también conocidos como radio enlaces en línea de vista o simplemente radio-enlaces.

Los sistemas de radio-enlaces se definen como aquellos que cumplen con las siguientes características:

- 1.- La señal sigue una trayectoria casi recta o también denominada ruta de línea de vista.
- 2.- La propagación de la señal es afectada por atenuación en el espacio libre y por fenómenos meteorológicos.
- 3.- Se utilizan, por lo general, frecuencias mayores a 200 MHz. (en realidad se manejan 400 MHz), con el propósito de permitir la transmisión de mayor información en cada portadora de RF.
- 4.- Utilización de modulación angular para sistemas analógicos y demodulación en fase (*BPSK*; *PSK*; técnicas de ampliación de espectro) para sistemas digitales.

Pasos para el diseño del enlace

- a) Selección de los sitios que se encuentren en línea de vista entre sí.
- b) Selección de la banda de frecuencias en la que se pretende operar, considerando interferencia de RF y restricciones prácticas y legales.

c) Desarrollo de los perfiles de ruta para determinar la altura de las antenas, si la altura de estas excede un cierto límite económico, entonces el paso a) debe ser repetido, considerando repetidores o reconfigurando la ruta.

En este paso se debe tener en cuenta que la energía de la onda es:

1.- Atenuada o absorbida por objetos sólidos

2.- Reflectada por elementos tales como el agua y las paredes metálicas de los edificios.

3.- Difractada alrededor de objetos sólidos.

4.- Refractada por la atmósfera, frecuentemente la refracción es tal que el haz electromagnético puede extenderse más allá del horizonte óptico. Las zonas costeras presentan muchas variaciones en sus índices de refracción, por ello algunos terrenos tienen dos antenas, una alta y otra más baja.

d) Después de elegir cierta confiabilidad para el enlace se deben hacer los cálculos respectivos para asegurar que el nivel de señal recibido sea mayor a un cierto nivel de umbral. (mínima relación de señal a ruido que deba haber en un transmisor para que el receptor pueda recuperar la señal).

e) Inspección de los sitios y de la ruta para asegurar que lo asentado en los pasos a) b) y c) es correcta. Este paso también proporciona información útil para la instalación, y además se hace en un plano llamado mapa de curvas de nivel.

f) Instalación, alineación del haz y pruebas de aceptación. Si no funciona a la primera, se realizan algunos ajustes en la antena hasta que en el analizador de espectros se tenga la máxima potencia recibida, en ese momento la antena ya está bien orientada. Los sistemas analógicos ya no se usan. Las pruebas son para los sistemas digitales a los cuales, ya después de la alineación entre las antenas se manda un tren de dígitos y en el receptor se checan cuantos errores se están generando y la tasa de error .

Estos enlaces se contruyen para una vida útil de diez años.

Atenuación por espacio libre

Curvatura de la tierra y curvatura de las ondas

No existen radio-enlaces mayores de 30 kilómetros por lo tanto, hay que considerar la curvatura de la tierra (Figura 3.4-b).

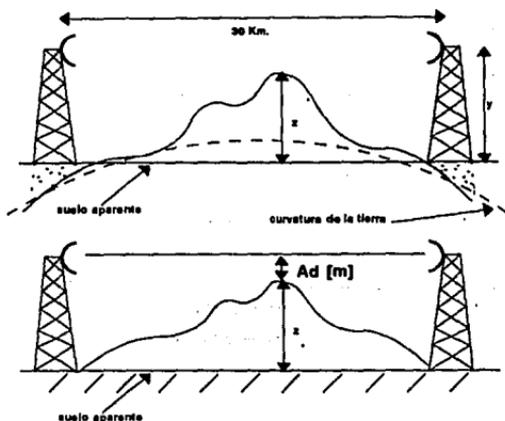


Figura 3.4-b Curvatura de la tierra

La altura debida al factor de curvatura (en metros) en cualquier punto de una ruta puede ser determinada por la siguiente ecuación (Figura 3.4-c).

$$h = d_1 d_2 / 12.75$$

donde:

d_1 = distancia desde el extremo más cercano del enlace al punto (Km)

d_2 = distancia desde el extremo más lejano del enlace al punto (Km)

h = altura adicional del obstáculo debido a curvatura de la tierra (m)

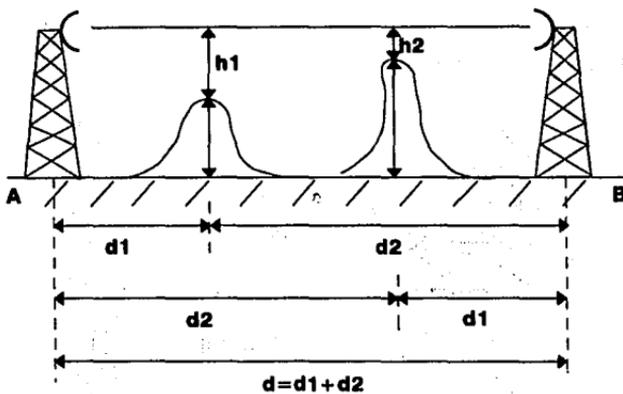


Figura 3.4-c

La ecuación completa considerando la refracción es:

$$h = d \sqrt{2/12.75 k}$$

donde:

k = factor equivalente de radio terrestre. Factor que involucra al gradiente de los índices de refracción de las capas atmosféricas.

La refracción atmosférica puede causar que los haces se doblen hacia la tierra o hacia arriba. Si el doblés es hacia la tierra es como si el factor de curvatura de la tierra disminuyera ($k > 1$), si el dobles es hacia arriba, entonces el factor de curvatura se incrementa ($k < 1$).

El problema es ahora calcular k.

Cuando se comenzaban a usar las microondas, se tenía un factor estándar para k :

$$k = 4/3$$

Sin embargo, al avanzar los estudios, se comprobó que no se cumplía en todas las regiones.

En Estados Unidos de Norteamérica, dividieron su territorio en ciertas curvas en las cuales se marcaba en donde cambiaba k. En México no se tiene esto, en cambio se ha realizado:

A continuación se presenta una tabla que se conoce como guía para el factor k, La tabla fué hecha a través de la estadística.

CONDICIONES DE PROPAGACION					
	PERFECTA	IDEAL	PROMEDIO	DIFFICIL	MALA
FACTOR K	1-33	1-1.33	0.66-1	0.5-0.66	0.4-0.5
CONDICIONES AMBIENTE	TEMPERATURA CONSTANTE NO NIEBLA INDUCTOS ATMOSFERA CONSTANTE EN EL DIA Y NOCHE	CLIMA SECO MONTAÑOSO SIN NIEBLA	ZONA PLANA CON ALGO DE NIEBLA	ZONA COSTERA	ZONA COSTERA DE ALTA HUMEDAD

Guía para el factor k

Lo recomendable es el punto medio de cada rango. La confiabilidad es la posibilidad de perder el enlace.

La probabilidad de que los 8.76 minutos sean continuos es muy baja, ruta de A a B.

Cuando el usuario no dice en que lugar va a colocar el sistema, el diseño se hace para el óptimo.

Zonas de Fresnel

Las zonas de Fresnel permiten calcular la cantidad de señal que va a llegar al punto receptor. Los máximos y mínimos que se obtienen por interferencia, representan dichas zonas y dependerá también de la diferencia de fase entre la onda directa y la onda reflejada (Figura 3.4-d).

Hay que considerar que la tierra cambia las condiciones de propagación de la señal ya que ésta al recibirse no solamente depende de la onda transmitida sino que además dependerá de las ondas que hayan sido reflejadas en el terreno. Estas ondas pueden llegar fuera de fase o en fase con la señal directa a la antena receptora, y esto provocara reforzamiento o disminución de la onda transmitida y dependiendo de las características de los puntos de reflexión la señal transmitida podrá ser en un momento dado cancelada por las ondas reflejadas.

Cualquier obstáculo en la trayectoria de las ondas obstruirá la radiación por lo tanto afectara de una manera directa la altura de las torres y el análisis económico del enlace. Las zonas de Fresnel se pueden ilustrar de acuerdo a la figura siguiente.

La ecuación para el cálculo de las zonas de Fresnel es la siguiente:

$$r_n = [n \lambda d_1 d_2 / (d_1 + d_2)]^{1/2}$$

donde:

n = número de zona

d1,d2 = distancias entre las antenas y el obstáculo

λ = longitud de onda

r = radio de la zona

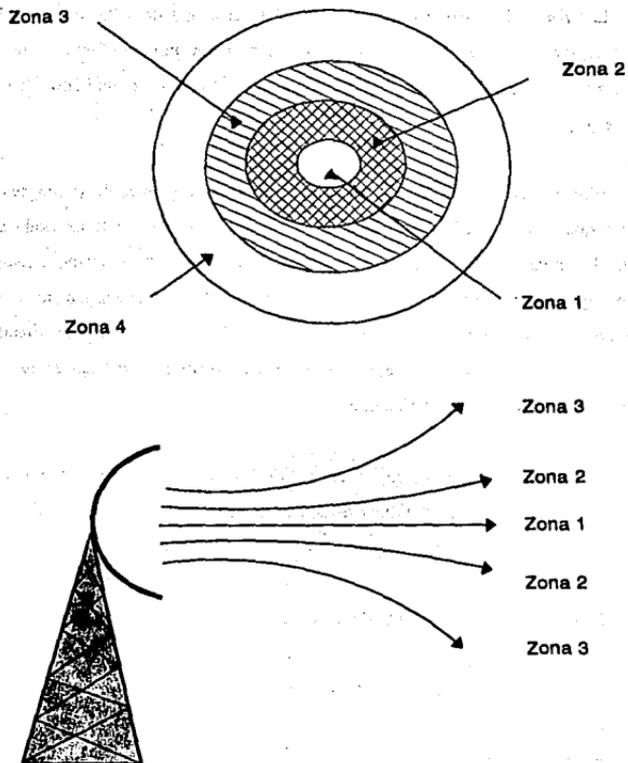
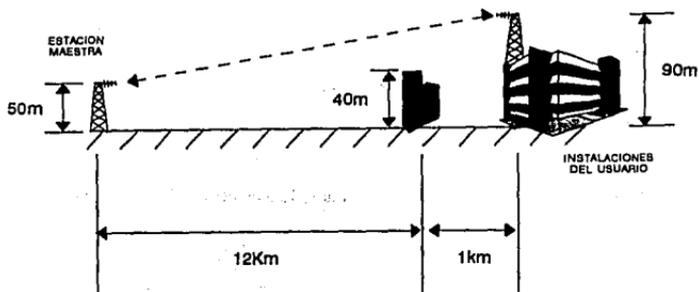


Figura 3.4-d Zonas de Fresnel

A continuación se da el ejemplo de un cálculo de enlace de última milla para un usuario de la red VSAT de Telecomunicaciones de México, utilizando un radiomodem (RAN19).

**DATOS:**

Frecuencia de operación:

Tx = 506.35 MHz.

Rx = 511.35 MHz.

GTx = 43.4 dB

GRx = 55.4 dB

Potencia Tx = 5 Watts.

Distancia = 13 Km.

Primeramente se calculará la potencia de recepción para ver si se satisface el enlace según los requerimientos del equipo.

Calculando la atenuación en el espacio libre tenemos:

$$\alpha = 32.44 + 20 \log (D) + 20 \log (F)$$

Sustituyendo valores:

$$\alpha = 32.44 + 20 \log (13) + 20 \log (506.35)$$

$$\alpha = 108.80 \text{ dBi}$$

Calculando la atenuación total considerando la ganancia de las antenas tenemos:

$$\alpha_{\text{TOT}} = -G_{T_x} + \alpha - G_{R_x}$$

$$\alpha_{\text{TOT}} = -43.4 + 108.8 - 55.4$$

$$\alpha_{\text{TOT}} = 10 \text{ dBi}$$

Calculando la potencia de recepción y sustituyendo valores tenemos:

$$P_r = P_t / \alpha$$

$$P_r = 37 \text{ dBm} / 10 \text{ dBi}$$

$$P_r = 27 \text{ dBm}$$

Pasando este valor a Watts se tiene:

$$P_r = (\text{Antilog}(27/10)) (1 \times 10^{-3})$$

$$P_r = 501 \text{ m Watts} \approx 0.5 \text{ Watts}$$

Con esto se asegura el enlace, ya que se tiene $P_r = 0.5 \text{ W}$ y según las características del equipo con tener una $P_r = 0.25 \text{ W}$ es suficiente para que se logre el enlace.

Considerando la curvatura de la tierra y que se trabaja en la *primer zona de Fresnel* se asegura el enlace. Esto debido a que el arreglo de las antenas ayuda a no tener obstáculos entre los puntos a enlazar debido a que en un punto la antena se encuentra a 50m. de altura y en el otro a 90m., y el obstáculo más alto entre estos dos puntos es un edificio de 40m. como se observa en la figura 3.4.7

Para comprobar lo anterior se calcula la altura que deben tener las antenas.

Considerando el factor de curvatura de la tierra en peores condiciones $K=2/3$

$$h = [(d_1)(d_2)]/[12.75 K]$$

$$h = [(12)(1)]/[12.75 (2/3)]$$

$$h = 1.4117\text{m}$$

Utilizando la primer zona de Fresnel:

$$r = [(\lambda d_1 d_2)/(d_1 + d_2)]^{1/2}$$

$$\lambda = C/F = 3\text{E}8/506.35\text{E}6$$

$$\lambda = 0.592\text{m.}$$

sustituyendo valores.

$$r = \left[\frac{(0.592)(12)(1)}{(12+1)} \right]^{1/2}$$

$$r = 0.739\text{m.}$$

Calculando la altura para el punto en donde se encuentra el obstáculo más alto y tomando como referencia la altura sobre el nivel del mar ($ASNM = 2250\text{m}$) se tiene:

$$h_p = ASNM_r + h + N(r)$$

$N = 0.3$ peores condiciones del índice refracción.

$$h_p = 2290 + 1.4117 + (0.30)(0.739)$$

$$h_p = 2291.63\text{m.}$$

La altura de las antenas será:

$$h_{ANT} = 2291.63 - 2250$$

$$h_{ANT} = 41.63\text{m}$$

Con este resultado se ve que el enlace es seguro ya que la altura mínima que deben tener las antenas es de 41.63m y éstas se encuentran por encima de este valor.

Cabe mencionar que al hacer la instalación de equipos como el que se utilizó en el cálculo anterior se obtienen valores prácticos que no coinciden exactamente con los calculados teóricamente, esto es debido que al hacer pruebas se tienen que realizar algunos ajustes para lograr que el enlace quede en las mejores condiciones, estos ajustes en ocasiones son a base de prueba y error y en otras ocasiones en base a la experiencia de la gente que se dedica a hacer este tipo de instalaciones apoyándose en los equipos de medición adecuados.

3.5 REDES VSAT PUBLICAS Y PRIVADAS EN MEXICO

Las comunicaciones por satélite han alcanzado actualmente una etapa muy importante en el desarrollo del país, los satélites mexicanos estan en función de las multiples necesidades de comunicación que requiere el país y representan una alternativa a los sistemas de comunicación existentes. Dentro de esta alternativa de comunicación vía satélite y dentro de las nuevas inovaciones que han venido revolucionando el mundo de las telecomunicaciones, encontramos lo que se les demoninó redes VSAT.

Las redes VSAT cuenta con una tecnología de apenas pocos años de desarrollo; no obstante es una tecnología sofisticada que esta a la vanguardia en el ámbito de las telecomunicaciones y de la electrónica.

Las redes VSAT por su vesátilidad y capacidad para manejar volúmenes de tráfico a velocidades aceptables, con un mínimo de errores y una gran confiabilidad, han causado euforia en las empresas no solo a nivel nacional sino también a nivel mundial, y estan siendo aún más aceptadas cada vez.

Utilizan este tipo de redes empresas como bancos, la industria automotriz, cadenas hoteleras, líneas aéreas, líneas de autotransporte terrestre, empresas de seguros etc., y todo tipo de pequeñas, medianas y grandes empresas que necesitan comunicar sus diferentes sucursales dentro del territorio nacional.

Las múltiples aplicaciones que han sido resueltas con la tecnología VSAT explican el por que del crecimiento estabilizado de estas redes en el mercado mundial y principalmente en el mercado norteamericano.

Dentro de las principales redes VSAT en México encontramos redes públicas y redes privadas.

Redes públicas

En lo que respecta a las redes públicas en México, encontramos dos redes que prestan sus servicios a empresas que no pueden adquirir su propia red. Estas redes son *VSATCOMM* perteneciente a Telecomunicaciones de México que actualmente presta servicio a aproximadamente 10 empresas que solicitaron la renta de este servicio, las cuales suman un total de aproximadamente 180 estaciones remotas instaladas en el Distrito Federal e interior de la República Mexicana.

La otra red pública de la que hablamos es la red VSAT que es propiedad de Teléfonos de México, esta red al igual que la red *VSATCOMM* cuenta con una capacidad muy similar y cuenta también con casi el mismo número de estaciones remotas instaladas, aunque son de diferentes proveedores.

Redes privadas

Ahora bien, dentro de las redes VSAT privadas que están en operación actualmente en México encontramos, las cinco estaciones maestras con que cuenta *Banca Serfin*, tres estaciones maestras que tiene operando *CEMEX* (Cementos Mexicanos), una estación maestra que tiene el *Grupo Financiero Bancomer*, una estación maestra con que cuenta el grupo *CIFRA*, también encontramos la estación maestra que tiene instalada en Puebla la empresa *Volswagen de México*. Estas son las redes privadas más importantes que se tienen operando actualmente en México.

3.6 CONECTIVIDAD CON OTRAS REDES

Las redes VSAT tienen entre una de sus características principales, que se pueden adaptar a otro tipo de redes fácilmente ya que como se menciono en 3.1, reúnen todas las normas internacionales dentro del ámbito de las comunicaciones, por lo que son adaptables a cualquier tipo de equipo de comunicaciones que reúna también estas normas internacionales en su diseño.

Si el empresario que adquiere su red o renta el servicio a una red pública tiene en su empresa una red particular LAN o WAN, no se debe de preocupar ya que únicamente el concentrador de la red se tendrá que conectar al equipo DPU en uno o varios de sus puertos, y podrán comunicarse con cualquier otra estación remota de su misma red sin ningún problema, la única dificultad que enfrentarían será poder adaptar el concentrador de su red al DPU, eligiendo el protocolo más conveniente para hacerlo, todo esto requiere de un período de pruebas de adaptación. Una vez solucionado este pequeño problema el usuario podrá trabajar sin problemas.

Además de esto, mencionaremos un tipo de aplicación que están actualmente utilizando las Universidades Estatales de la red RUTYC, ellos utilizan la red VSAT para interconectarse entre Universidades y brindarle al estudiante la oportunidad de obtener información de otra Universidad en diferente estado de la República en unos cuantos segundos; también prestan el servicio de correo electrónico entre Universidades por medio de la red VSAT. Con la ayuda de un ruteador y teniendo un nodo central en la Universidad de Salamanca, también realizan consultas a la red internacional (*INTERNET*) sin ningún problema, utilizando el protocolo *TCP/IP*, o bien se comunican también por *Telnet* y por *FTP*. Con esto se puede ver la capacidad de interconexión que tienen las redes VSAT.

3.7 PROVEEDORES DEL EQUIPO

Los proveedores de equipo para redes VSAT más importantes a nivel Internacional son:

- *Hughes Network System (HNS)*
- *AT&T Tridom*
- *GTE Spacenet*
- *NEC*
- *Scientific Atlanta*
- *Otros*

El orden en que se mencionaron a estas empresas es también el orden de importancia en cuanto a ventas en Estados Unidos se refiere.

En México no ocurre lo mismo, ya que al mercado mexicano únicamente han entrado tres de estas empresas que son:

- *Scientific Atlanta*
- *NEC*
- *Hughes Network System*

Como se puede ver en México se invierten las cosas, ya que el proveedor que más estaciones maestras tiene instaladas en la República Mexicana es *Scientific Atlanta*, con aproximadamente 10 estaciones maestras, además de que también provee de diferentes equipos de comunicaciones y telefonía.

Esto tiene una razón de ser y es, que el costos del equipo del proveedor *Scientific Atlanta* es más barato que el de los otros proveedores. Sus diseños varían un poco, pero todos se manejan bajo un mismo principio de operación, monitoreo y control. Lo que tenemos que ver también es la calidad del equipo y su capacidad, ya que *Scientific Atlanta* se limita a portadoras de 56Kbps, mientras *Hughes* provee a sus redes con portadoras de 128 Kbps o más.

3.8 TENDENCIAS DE LAS REDES VSAT

Las redes VSAT tienen todavía mucho futuro para las empresas mexicanas, ya que aún no se han logrado explotar al máximo, en Estados Unidos no sucede lo mismo ya que las redes VSAT únicamente para la transmisión de datos están siendo obsoletas, las nuevas redes VSAT que se contemplan hoy en día en Estados Unidos son, redes VSAT que manejan datos y voz en banda C y no en banda Ku como se hacía con las redes de datos únicamente, estas nuevas redes VSAT se pueden ya considerar como la cuarta generación de este tipo de redes, ya que se basan en el protocolo *Frame Relay* que es más eficiente que el X.25.

Además de las redes con *Frame Relay* tenemos una nueva generación de redes para la transmisión de datos vía satélite que se les ha denominado redes USAT (*Ultra Small Aperture Terminal*), que son como las redes VSAT que hemos descrito durante todo este trabajo, pero con unas diferencias que las caracterizan.

- Costo económico por estación remota interconectada
- Solución de rápida implantación

- Datos interactivos a 19.2 Kbps
- Uso eficiente del segmento espacial en banda C o Ku
- Soporte a protocolos estándares y propietarios

La estación maestra es tan flexible que puede configurarse para soportar hasta 500 estaciones remotas, el costo del segmento espacial es mínimo en virtud de que un solo *returnlink* es compartido a diferentes intervalos de tiempo por las estaciones remotas, y un solo *outlink* envía los mensajes del computador central a numerosas estaciones remotas.

La estación remota se instala en un día y esta formada por tres componentes principales:

- Antena o reflector parabólico con tamaños que varían de 0.95 a 2.4m
- El transceptor que contiene toda la electrónica de la terminal va montado junto con el alimentador.
- La electrónica es alimentada a la línea de corriente normal (120 V/ 60 Hz) a través de una fuente de poder conectada al transceptor, opcionalmente el transceptor puede alimentarse, debido a su bajo consumo de energía por medio de paneles solares.

El tiempo promedio de falla para el transceptor es de una falla en 13,123 horas o 18 meses en virtud de los altos estándares de manufactura y calidad utilizados.

Uno de los proveedores más fuertes en Estados Unidos que están introduciendo estas redes USAT es *INTELENET*, además de *Hughes* por ejemplo.

CONCLUSIONES

La comunicación vía satélite hoy en día juega un papel muy importante ya que las sociedades modernas necesitan comunicarse cada vez más de una forma rápida y eficiente, también han tenido un gran avance en los últimos años debido al lanzamiento de una gran cantidad de satélites, esto con el fin de poder comunicar a todo el mundo, además del avance que se tiene hasta el momento en la tecnología de equipos electrónicos.

De esta forma, surge la idea de explotar un sistema de comunicación vía satélite para poder tener una mayor cobertura de una manera eficiente.

En esta tesis se trataron de destacar los aspectos más importantes de todos y cada uno de los elementos que intervienen en una comunicación vía satélite, y en especial se enfoco a las redes digitales de transmisión de datos por satélite, entre las que destacamos a las redes digitales de transmisión de datos por satélite tipo VSAT por su versatilidad, e importancia que tienen hoy en día como una solución a la transmisión de datos en México. También se mostraron los aspectos más importantes de estas redes, así como el funcionamiento e implementación de cada uno de los elementos que intervienen en ellas; además se sentaron las bases para poder tener una comunicación a nivel intercontinental.

Como hemos visto la utilización de una red VSAT para comunicación Intercontinental es posible, pero aún este tipo de implementación es muy costosa y no hay suficientes usuarios potenciales a los que se les pueda dar este servicio en México.

CONFIDENTIAL

... ..
... ..
... ..
... ..
... ..

... ..
... ..

... ..
... ..
... ..
... ..
... ..
... ..
... ..
... ..
... ..
... ..

... ..
... ..
... ..

APENDICE A

[DESC]

Not Ready	*ERROR*	Este evento no puede ocurrir mientras no haya una conexión establecida.
Expire T1	*ERROR*	Este evento no puede ocurrir mientras no haya una conexión establecida.
Expire T1	*ERROR*	En este estado no esta activo el timer T1.
Local Call	< DISC & P > ini T1 [DESC 1]	La capa de Red solicita el establecimiento de una conexión.
Remote Call	< DM > ini T1 [DESC 2]	La capa de Red del ETD solicita que sea el ETCD quien de inicio a la conexión.
Free Call	*ERROR*	Este evento no puede ocurrir mientras no haya una conexión establecida.
{I}	if (P_bit==1) < DM & F >	A una trama I con P=1 se le responde con una trama <DM> con F=1. Si P=0 se ignora la trama.
{NR}	if (P_bit==1) < DM & F >	A una trama S con P=1 se le responde con una trama <DM> con F=1. Si P=0 se ignora la trama.
{NEJ}	if (P_bit==1) < DM & F >	A una trama S con P=1 se le responde con una trama <DM> con F=1. Si P=0 se ignora la trama.
{SABM}	if (P_bit==1) { < UA & P > NextFrm=0 FrmExp=0 ACKExp=0 { CONNECT } } else	El ETCD solicita al ETD el establecimiento de una conexión. El bit P deber llegar con valor 1.
{DISC}	if (P_bit==1) < DM & F >	A una trama S con P=1 se le responde con una trama <DM> con F=1. Si P=0 se ignora la trama.
{DM}	< SABM & P > ini T1 [SC]	El ETCD solicita al ETD, que sea quien de inicio a la conexión.
{UA}		Una trama de este tipo se debe ignorar.
{FRMR}		Una trama de este tipo se debe ignorar.
{INDEX}		Una trama de este tipo se debe ignorar.

APENDICE A

[DESC P 1]

Net Ready	* ERROR *	Este evento no puede ocurrir mientras no haya una conexión establecida.
Expires T2	* ERROR *	Este evento no puede ocurrir mientras no haya una conexión establecida.
Expires T1	<pre> if (++N2T1 < N2) { < DISC & P > ini T1 } else { *NO_CONNECT* [DESC P] } </pre>	No se ha recibido la respuesta de la trama DISC enviada. Se intenta enviar nuevamente N2 veces.
Local Call	* ERROR *	Hay una establecimiento de conexión en proceso.
Remote Call	* ERROR *	Hay una establecimiento de conexión en proceso.
Free Call	* ERROR *	Hay una establecimiento de conexión en proceso.
[I]		Se ignora la trama porque hay un establecimiento de conexión en progreso.
[RR]		Se ignora la trama porque hay un establecimiento de conexión en progreso.
[REJ]		Se ignora la trama porque hay un establecimiento de conexión en progreso.
[SABM]	<pre> if (P_bit==1) { stop T1 < DM & F > *COLISION* [DESC P] } </pre>	Se genera una colisión entre el <DISC&P> enviado y el <SABM&P> recibido. Como se trata de tramas U distintas, se debe enviar una respuesta <DM&F> y pasar al estado de desconectado.
[DISC]	<pre> if (P_bit==1) { < UA & F > [SUB 1] } </pre>	Se genera una colisión entre el <DISC&P> enviado y el <DISC&P> recibido. Como la colisión es entre tramas iguales, se debe enviar la respuesta <UA&F> de la trama <DISC&P> recibida y pasar a un sub-estado para esperar a que llegue la respuesta <UA&F> de la trama <DISC&P> enviada o a que expire el timer T1 en caso de no llegar esta respuesta. Para hacer esto, es necesario pasar a un sub-estado que únicamente reconozca estos dos eventos e ignore los demás.

APENDICE A .

```

(DM)      if (F_bit ==1) {
           < SABM & P >
           ini T1
           [ SC ]
        }
        else {
           stop T1
           < DM & F >
           *COLISION*
           [ DESC ]
        }
    
```

Si F=1, la trama <DM&F> es la respuesta a la trama <DISC&P> enviada, indicando que el ETCD ya estaba desconectado, por lo tanto, el proceso de conexión continua.

Si F=0, se genera una colisión, entre la trama <DISC&P> enviada y la trama <DM> recibida. Como se trata de tramas U distintas, se debe enviar una respuesta <DM&F> y pasar al estado de desconectado.

```

(UA)      if (F_bit==1) {
           < SABM & P >
           ini T1
           [ SC ]
        }
    
```

<UA&F> es la confirmación de desconexión del ETCD, por lo tanto, puede continuar el proceso de conexión.

```

(FMR)     stop T1
           < DM & F >
           [ DESC ]
    
```

Se genera una colisión entre el <DISC&P> enviado y el <FRMR> recibido.

Como se trata de tramas U distintas, se debe enviar una respuesta <DM&F> y pasar al estado de desconectado.

(INDEF)

Cualquier trama no definida se ignora

APENDICE A

[DESC 2]

<p>Net Ready</p>	<pre>*ERROR*</pre>	<p>Este evento no puede ocurrir mientras no haya una conexión establecida.</p>
<p>Expira T1</p>	<pre>*ERROR*</pre>	<p>Este evento no puede ocurrir mientras no haya una conexión establecida.</p>
<p>Expira T1</p>	<pre>if (++N2T1 < N2) { < DH > ini T1 } else { "NO_CONNECT" [DESC] }</pre>	<p>No se ha recibido la respuesta de la trama <DM> enviada. Se intenta enviar nuevamente N2 veces.</p>
<p>Local Call</p>	<pre>*ERROR*</pre>	<p>Hay un establecimiento de conexión en proceso.</p>
<p>Remote Call</p>	<pre>*ERROR*</pre>	<p>Hay un establecimiento de conexión en proceso.</p>
<p>Free Call</p>	<pre>*ERROR*</pre>	<p>Hay un establecimiento de conexión en proceso.</p>
<p>[I]</p>		<p>Se ignora la trama porque hay un establecimiento de conexión en progreso.</p>
<p>[RH]</p>		<p>Se ignora la trama porque hay un establecimiento de conexión en progreso.</p>
<p>[REJ]</p>		<p>Se ignora la trama porque hay un establecimiento de conexión en progreso.</p>
<p>[SABM]</p>	<pre>if (P_bit==1) { < UA LF > NextFrm=0 FrmExp=0 AckExp=0 stop T1 [CONNECT] }</pre>	<p>El ETCO inicio la conexión solicitada por el ETD.</p>
<p>[DISC]</p>	<pre>if (P_bit==1) { < UA & F > stop T1 [DESC] }</pre>	<p>El ETCO inicio la conexión solicitada por el ETD.</p>
<p>[DM]</p>	<pre>stop T1 if (ETD) { < SABM & P > ini T1 [SC] } else [DESC]</pre>	<p>Una colisión <DM>-<DM> se resuelve cuando el ETD envia una trama <SABM&P> y el ETCO pasa al estado de desconectado. La variable ETD se utiliza para distinguir entre una implementación para el ETD y una para el ETCO. Las dos implementaciones son casi iguales, solo difieren cuando se presenta este evento.</p>

APENDICE A

(UA)	stop T1 < DM & F > *COLISION* [DESC]	Se genera una colisión entre el <DISC&P> enviado y el <UA> recibido. Como se trata de tramas U distintas, se debe enviar una respuesta <DM&F> y pasar al estado de desconectado.
(FRMR)	stop T1 < DM & F > *COLISION* [DESC]	Se genera una colisión entre el <DISC&P> enviado y el <FRMR> recibido. Como se trata de tramas U distintas, se debe enviar una respuesta <DM&F> y pasar al estado de desconectado.
(INDEF)		Cualquier trama no definida se ignora.

[SC]

Net Ready	*ERROR*	Este evento no puede ocurrir mientras no haya una conexión establecida.
Expire T1	*ERROR*	Este evento no puede ocurrir mientras no haya una conexión establecida.
Expire T1	<pre> if (++N2T1 < N2) { < SABM & P > Ini T1 } else { *NO_CONNECT* [DESC] } </pre>	<p>No se ha recibido la respuesta de la trama <DM> enviada.</p> <p>Se intenta enviar nuevamente N2 voccs.</p>
Local Call	*ERROR*	Hay una establecimiento de conexión en proceso.
Remote Call	*ERROR*	Hay una establecimiento de conexión en proceso.
Free Call	*ERROR*	Hay una establecimiento de conexión en proceso.
(I)		Se ignora la trama porque hay un establecimiento de conexión en progreso.
(NR)		Se ignora la trama porque hay un establecimiento de conexión en progreso.
(NEJ)		Se ignora la trama porque hay un establecimiento de conexión en progreso.
(SABM)	<pre> if (P_bit==1) { < UA & F > [SUB 2] } </pre>	<p>Se genera una colisión entre el <SABM&P> enviado y el <SABM&P> recibido.</p> <p>Como la colisión es entre tramas iguales, se debe enviar la respuesta <UA&F> de la trama <SABM&P> recibida pasar a un sub-estado para esperar a que llegue la respuesta <UA&F> de la trama <SABM&P> enviada o a que expire el timer T1 en caso de no llegar esta respuesta.</p> <p>Para hacer esto, es necesario pasar a un sub-estado que únicamente reconozca estos dos eventos e ignore los demás.</p>
(DISC)	<pre> if (P_bit==1) { #top T1 < DM & F > *COLISION* [DESC] } </pre>	<p>Se genera una colisión entre el <SABM&P> enviado y el <DISC&P> recibido.</p> <p>Como se trata de tramas U distintas, se debe enviar una respuesta <DM&F> y pasar al estado de desconectado.</p>

APENDICE A

<pre> (DM) if (F_bit ==1) { stop T1 *NO_CONNECT* { DESC } } else { stop T1 < DM & F > *COLISION* { DESC } } </pre>	<p>Si F=1, la trama <DM&F> es la respuesta a la trama <SABM&P> enviada, indicando que el ETCD no se puede conectar.</p> <p>Si F=0, se genera una colisión, entre la trama <SABM&P> enviada y la trama <DM> recibida. Como se trata de tramas U distintas, se debe enviar una respuesta <DM&F> y pasar al estado de desconectado.</p>
<pre> (UA) if (F_bit ==1) { NextFrm=0 FrmExp=0 AckExp=0 stop T1 {CONNECT} } </pre>	<p>El ETCD aceptó la solicitud de conexión del ETD.</p>
<pre> (FRMR) stop T1 < DM & F > *COLISION* { DESC } </pre>	<p>Se genera una colisión entre el <SABM&P> enviado y el <FRMR> recibido.</p> <p>Como se trata de tramas U distintas, se debe enviar una respuesta <DM&F> y pasar al estado de desconectado.</p>
<pre> (INDEF) </pre>	<p>Cualquier trama no definida se ignora.</p>

APENDICE A

[SD]

Net Ready	*ERROR*	Este evento no puede ocurrir, debido a que la capa de Red acaba de iniciar la desconexión de la llamada.
Expire T1	*ERROR*	Este evento no puede ocurrir, debido a que la capa de Red acaba de iniciar la desconexión de la llamada.
Expire T1	<pre> if (++N2T1 < N2) { < DISC & P > ini T1 } else { *DISCONNECT* [DESCP] } </pre>	No se ha recibido la respuesta de la trama <DM> enviada. Se intenta enviar nuevamente N2 veces. Después de N2 intentos, de todos modos se desconecta en enlace.
Local Call	*ERROR*	Hay una establecimiento de desconexión en proceso.
Remote Call	*ERROR*	Hay una establecimiento de desconexión en proceso.
Free Call	*ERROR*	Hay una establecimiento de desconexión en proceso.
[I]		Se ignora la trama porque hay una desconexión en progreso.
[RR]		Se ignora la trama porque hay una desconexión en progreso.
[REJ]		Se ignora la trama porque hay una desconexión en progreso.
[SABM]	<pre> if (P_bit==1) { stop T1 < DM & F > *COLISION* [DESC] } </pre>	Se genera una colisión entre el <DISC&P> enviado y <SABM&P> recibido. Como se trata de tramas U distintas, se debe enviar una respuesta <DM&F> y pasar al estado de desconectado.
[DISC]	<pre> if (P_bit==1) { < UA & F > [SUB 1] } </pre>	Se genera una colisión entre el <DISC&P> enviado y el <DISC&P> recibido. Como la colisión es entre tramas iguales, se debe enviar la respuesta <UA&F> de la trama <DISC&P> recibida y pasar a un sub-estado para esperar a que llegue la respuesta <UA&F> de la trama <DISC&P> enviada o a que expire el timer T1 en caso de no llegar esta respuesta. Para hacer esto, es necesario pasar a un sub-estado que únicamente reconozca estos dos eventos e ignore los demás.

APENDICE A

(DM)	<pre> if(F_bit ==1) { stop T1 { DESC } } else { stop T1 < DM & F > *COLISION* { DESC } } </pre>	<p>Si F=1, la trama <DM&F> es la respuesta a la trama <DISC&P> enviada, indicando que el ETCD ya estaba desconectado.</p> <p>Si F=0, se genera una colisión, entre la trama <DISC&P> enviada y la trama <DM> recibida. Como se trata de tramas U distintas, se debe enviar una respuesta <DM&F> y pasar al estado de desconectado.</p>
(UA)	<pre> if(P_bit==1) { stop T1 { DESC } } </pre>	<p><UA&F> es la confirmación de desconexión del ETCD</p>
(FRMR)	<pre> stop T1 < DM & F > *COLISION* { DESC } </pre>	<p>Se genera una colisión entre el <DISC&P> enviado y el <FRMR> recibido. Como se trata de tramas U distintas, se debe enviar una respuesta <DM&F> y pasar al estado de desconectado.</p>
(INDEF)		<p>Cualquier trama no definida se ignora.</p>

APENDICE A

[CONNECT]

Net Ready	<pre> tx_ack=FrmExp tx_seq=NextFrm < I > inc NextFrm ++nbuffered ini T1 if (nbuffered < k) { CONNECT } else { WAIT_ACK } </pre>	<p>La capa de Red tiene datos por enviar. Si la ventana de transmisión ya se llenó, pasa al estado [WAIT_ACK], para esperar reconocimiento de las tramas enviadas, o para transmitirías en caso de no recibir el reconocimiento.</p>
Expires T1	<pre> tx_ack=FrmExp < RR > { CONNECT } </pre>	<p>Se envía un reconocimiento explícito de las últimas tramas recibidas, debido a que la capa de Red no tiene datos que enviar.</p>
Expires T1	<pre> X=NextFrm NextFrm=AckExp tx_ack=FrmExp < RR & P > ini T1 { WAIT_ACK } </pre>	<p>Como no se ha recibido reconocimiento de las tramas enviadas, se pasa al estado [WAIT_ACK] para esperar el reconocimiento, o comenzar la retransmisión de las tramas.</p>
Local Call	<pre>*ERROR*</pre>	<p>La conexión ya está establecida.</p>
Remote Call	<pre>*ERROR*</pre>	<p>La conexión ya está establecida.</p>
Free Call	<pre> < DISC & P > ini T1 - { SD } </pre>	<p>La capa de Red solicita que se desconecte la llamada.</p>

Cuando se recibe una trama de datos, se checa el número de secuencia de reconocimientos y se recorre la ventana de transmisión. Si la trama recibida es la que se esperaba en la secuencia, se pasan los datos a la capa de Red y se checa el bit P, para saber si se requiere mandar un reconocimiento inmediato. Si no se requiere se inicializa el timer T2 con el fin de reconocer explícitamente tramas recibidas, debido a que la capa de Red no tiene datos que enviar. Si la trama recibida no tiene la secuencia esperada, se envía una petición de retransmisión y se pasa al estado de rechazo [REJECT].

```

stop T1
while(between(AckExp,rx_ack,NextFrm) (
  nbuffered--
  inc AckExp
)
if(rx_seq==FrmExp) (
  inc FrmExp
  *DATA*
  if(P_bit==1) {
    tx_ack=FrmExp
    < RR & F >
  }
  else
    ini T2
    if(nbuffered >0)
      ini T1
)
else (
  tx_ack=FrmExp
  if(P_bit==1)
    < REJ & F >
  else
    < REJ >
  ini T1
  [ REJECT ]
)

```

APENDICE A

(NR)

```

Si F==1
if(F_bit==1) {
  < SABM & P >
  ini T1
  [ SC ]
}
else {
  while (between(AckExp, rx_ack, NextFrm) {
    nbuffered--
    inc AckExpected
  }
  if(P_bit==1) {
    tx_ack=Frmpexp
    < RR & F >
  }
}

```

se reinicia el enlace, debido a que ha ocurrido un error en el protocolo.
Si P==1, se envia un reconocimiento inmediato <RR&F>.

(NRJ)

```

if (F_bit==1) {
  < SABM & P >
  ini T1
  [ SC ]
}
else {
  while (between(AckExp, rx_ack, NextFrm) {
    nbuffered--
    inc AckExpected
  }
  NextFrm=rx_ack
  if(P_bit==1) {
    tx_ack=Frmpexp
    < RR & F >
  }
  while(nbuffered-->0) {
    tx_ack=Frmpexp
    tx_seq=NextFrm
    < I >
    inc NextFrm
  }
}

```

Si F==1, se reinicia el enlace, debido a que ha ocurrido un error en el protocolo. Si se trata de una trama de instrucción, se verifica el número de secuencia de reconocimiento, y se retransmiten las tramas que no hayan sido reconocidas.
Si P==1, se envia antes un reconocimiento inmediato <RR&F>.

(SABM)

```

if(P_bit==1) {
  < UA & F >
  NextFrm=0
  Frmpexp=0
  AckExp=0
}

```

Solicitud de reinicio del enlace por parte del ETCD.

APENDICE A

{DISC}	<pre> if (P_bit==1) { < UA & P > [DESC P] } </pre>	Solicitud de desconexión por parte del ETCD.
{DM}	<pre> < SABM & P > ini T1 [SC] </pre>	El ETCD le solicita al ETD que sea quien reinicie el enlace.
{UA}	<pre> < SABM & P > ini T1 [SC] </pre>	Se reinicia el enlace al recibir una respuesta no solicitada.
{FRMR}	<pre> < SABM & P > ini T1 [SC] </pre>	El ETCD solicita que se reinicie el enlace, debido a que recibió una trama no válida.
{INDEX}	<pre> < FRMR > ini T1 [FRMREJ] </pre>	Cuando se recibe una trama no válida, se envía una respuesta <FRMR>, para solicitar al ETCD que reinicie el enlace.

APENDICE A

[WAIT_ACK]

Not Ready	*BUSY*	Cuando la capa de Red solicita el envío de una trama de datos, estando con la ventana de transmisión llena, se le da un aviso de ocupado, para que lo intente un poco después.
Expira T2	*ERROR*	El timer T2 no puede expirar, debido a que si tenemos tramas por enviar.
Expira T1	<pre> if(++N2T1 < N2) { < RR & P > ini T1 } else { *DISCONNECT* [DESC] } </pre>	<p>No se ha recibido la respuesta de la trama <RR&P> enviada.</p> <p>Se intenta enviar nuevamente N2 veces. Después de N2 intentos, de todos modos se desconecta el enlace.</p>
Local Call	*ERROR*	La conexión ya está establecida.
Remote Call	*ERROR*	La conexión ya está establecida.
Free Call	<pre> < DISC & P > ini T1 [SD] </pre>	La capa de Red solicita que se desconecte la llamada.
[!]	<pre> if(P_bit ==1) { tx_ack=FrmExp < RR & F > } </pre>	Si P=1, se envía un reconocimiento inmediato al ETCD.

APENDICE A

```

{RR}      if(P_bit==1) {
           tx_ack=FrmExp
           < RR & F >
        }
           if(F_bit==1) {
           stop T1
           while(between(NextFrm,rx_ack,x){
             nbuffered--
             inc NextFrm
           }
           while(nbuffered >0) {
             tx_ack=FrmExp
             tx_seq=Nextfrm
             < I >
             inc NextFrm
             nbuffered--
           }
           if(nbuffered >0)
             start T1
           [ CONNECT ]
        }

```

Si P=1, se envía un reconocimiento inmediato al ETCD.
Si F=1, se trata del reconocimiento solicitado para liberar la ventana de transmisión o para retransmitir las tramas no reconocidas.

```

{REJ}     if(P_bit==1) {
           tx_ack=FrmExp
           < RR & F >
        }
           else {
           if(F_bit==1) {
           stop T1
           while(between(NextFrm,rx_ack,x){
             nbuffered--
             inc NextFrm
           }
           while(nbuffered >0) {
             tx_ack=FrmExp
             tx_seq=Nextfrm
             < I >
             inc NextFrm
             nbuffered--
           }
           if(nbuffered >0)
             start T1
           [ CONNECT ]
         }
       }

```

Si P=1, se envía un reconocimiento inmediato al ETCD.
Si F=1, se chequea el número de secuencia y se retransmiten las tramas a partir de ahí.

```

{RABN}    if(P_bit==1) {
           < UA & F >
           NextFrm=0
           FrmExp=0
           AckExp=0
           [ CONNECT ]
        }

```

Solicitud de reinicio por parte del ETCD.

APENDICE A

{DISC}	<pre> { (P_BI=1) (< UA & P > { DESC P }) </pre>	Solicitud de desconexión por parte del ETCD.
{DM}	<pre> < SABM & P > ini T1 { SC } </pre>	El ETCD le solicita al ETD que sea quien reinicie el enlace.
{UA}	<pre> < SABM & P > ini T1 { SC } </pre>	Se reinicia el enlace al recibir una respuesta no solicitada.
{FRMR}	<pre> < SABM & P > ini T1 { SC } </pre>	El ETCD solicita que se reinicie el enlace, debido a que recibió una trama no válida.
{INDEF}	<pre> < FRMR > ini T1 { FRMREJ } </pre>	Cuando se recibe una trama no válida, se envía una respuesta <FRMR> para solicitar al ETCD que reinicie el enlace.

APENDICE A

[FRMREJ]

Not Ready	* ERROR*	Se va a reiniciar el enlace, debido a que se recibió una trama no válida.
Expira T1	* ERROR*	No puede ocurrir este evento.
Expira T1	if (++N2T1 < N2) (< FRMR & P > ini T1) else (* DISCONNECT* [DESC])	No se ha recibido la respuesta de la trama <FRMR&P> enviada. Se intenta enviar nuevamente N2 veces. Después de N2 intentos, de todos modos se desconecta el enlace.
Local Call	* ERROR*	Existe una reinicialización en progreso.
Remote Call	* ERROR*	Existe una reinicialización en progreso.
Free Call	< DISC & P > ini T1 [SC]	La capa de Red solicita la desconexión de la llamada.
[I]	if (P_bit==1) < FRMR >	A una trama I con P=1, se le responde con una trama <FRMR&P>.
[NR]	if (P_bit==1) < FRMR >	A una trama S con P=1, se le responde con una trama <FRMR&P>.
[REJ]	if (P_bit==1) < FRMR >	A una trama S con P=1, se le responde con una trama <FRMR&P> < FRMR >.
[SABM]	if (P_bit==1) (< UA & F > stop T1 NextFrm=0 FrmExp=0 AckExp=0 * [CONNECT])	El ETCD solicita el reinicio de la conexión.
[DISC]	if (P_bit==1) (< UA & F > stop T1 [DESC])	Se desconecta el enlace, para esperar la trama <SABM&P> del ETCD.
[DM]	< SABM & P > ini T1 [SC]	El ETCD al recibir la trama <FRMR> envía una trama <DM> para pedirle al ETD que sea el quien reinicie la conexión.

APENDICE A

(UA)

Una respuesta no solicitada se ignora.

(FRMR)

< SABM & P >
ini T1
(SC)

El ETCD solicita que se reinicie el enlace, debido a que recibió una trama no válida.

(INDEF)

< FRMR >
ini T1
(FRMRJ)

Se envía una trama <FRMR> para solicitar el reinicio de la conexión.

FALLA DE ORIGEN

[REJECT]

Net Ready	*BUSY*	La Capa de Red debe esperar a que se termine la fase de rechazo.
Expire T1	*ERROR*	No puede ocurrir este evento.
Expire T1	<pre> if (++N2T1 < N2) { < REJ & P > ini T1 } else { *DISCONNECT* { DESC P } } </pre>	<p>No se ha recibido la respuesta de la trama <FRMRAP> enviada.</p> <p>Se intentó enviar nuevamente N2 vocos. Después de N2 intentos, de todos modos se desconecta el enlace.</p>
Local Call	*ERROR*	La conexión ya está establecida.
Remote Call	*ERROR*	La conexión ya está establecida.
Free Call	<pre> < DISC & P > ini T1 { SD } </pre>	La capa de Red solicita la desconexión de la llamada.

APENDICE A

(11)

Cuando se recibe una trama de datos, se chequea el número de secuencia de reconocimientos y se recorre la ventana de transmisión. Si la trama recibida es la que se esperaba en la secuencia, se pasan los datos a la capa de Red y se chequea el bit P, para saber si se requiere mandar un reconocimiento inmediato. Si no se requiere se inicializa el timer T2 con el fin de reconocer explícitamente tramas recibidas, debido a que la capa de Red no tiene datos que enviar y pasa al estado [CONNECT]. Si la trama recibida no tiene la secuencia esperada, se envía una petición de retransmisión y se continúa en el estado de rechazo [REJECT].

```

stop T1
while(between(AckExp, rx_ack, NextFrm) {
    nbuffered--
    inc AckExp
}
if(rx_seq==FrmExp) {
    inc FrmExp
    *DATA*
    if(P_bit==1) {
        tx_ack=FrmExp
        < RR & F >
    }
    else
        ini T2
        if(nbuffered >0)
            ini T1
            [ CONNECT ]
}
else {
    tx_ack=FrmExp
    if(P_bit==1)
        < REJ & F >
    else
        < REJ >
    ini T1
}

```

(RR)

```

if(P_bit==1) {
    tx_ack=FrmExp
    < REJ & F >
}

```

Se envía el número de trama esperada y se contesta la trama <RR&P>.

APÉNDICE A

(NEZ)

Si F=1, se reinicia el enlace, debido a que ha ocurrido un error en el protocolo.
 Si se trata de una trama de instrucción, se verifica el número de secuencia de reconocimiento, y se retransmiten las tramas que no hayan sido reconocidas.
 Si P=1, se envía antes un reconocimiento inmediato <RR&F>.

```

if(P_bit==1) {
  < SABM & P >
  ini T1
  [ SC ]
}
else {
  while(between(AckExp,rx_ack,NextFrm) (
    nbuffered--
    inc AckExpected
  )
  NextFrm=rx_ack
  if(P_bit==1) {
    tx_ack=FrmExp
    < RR & F >
  }
  while(nbuffered-->0) {
    tx_ack=FrmExp
    tx_seq=NextFrm
    < I >
    inc NextFrm
  }
}
    
```

(SABM)

```

if(P_bit==1) {
  < UA & F >
  stop T1
  NextFrm=0
  FrmExp=0
  AckExp=0
  [ CONNECT ]
}
    
```

El ETCD solicita el reinicio de la conexión.

(DISC)

```

if(P_bit==1) {
  < UA & F >
  stop T1
  [ DESC ]
}
    
```

El ETCD solicita la desconexión del enlace.

(DM)

```

< SABM & P >
ini T1
[ SC ]
    
```

El ETCD solicita el ETD que sea quien de reinicio a la conexión.

APENDICE A

(UA) < SABM & P >
ini T1
[SC]

Se reinicia el enlace al recibir una respuesta no solicitada.

(FRMR) < SABM & P >
ini T1
[SC]

El ETCD solicita que se reinicie el enlace, debido a que recibió una trama no válida.

(INDEF) < FRMR >
ini T1
[FRMRJ]

Se envía una trama <FRMR> para solicitar el reinicio de la conexión.

APENDICE A

[SUB 2]

Not Ready	*ERROR*	Se esta estableciendo la conexión.
Expires T3	*ERROR*	Se esta estableciendo la conexión.
Expires T1	{ CONNECT }	Se desconecta la llamada al expirar el timer T1.
Local Call	*ERROR*	Se esta estableciendo la conexión.
Remote Call	*ERROR*	Hubo una colisión.
Free Call	*ERROR*	Se esta estableciendo la conexión.
{ I }		Se ignora, debido a que ocurrió una colisión.
{ RR }		Se ignora, debido a que ocurrió una colisión.
{ RLJ }		Se ignora, debido a que ocurrió una colisión.
{ RABM }		Se ignora, debido a que ocurrió una colisión.
{ DISC }		Se ignora, debido a que ocurrió una colisión.
{ DM }		Se ignora, debido a que ocurrió una colisión.
{ UA }	if (F_bit ==1) { stop T1 { CONNECT }	Se conecta cuando se recibe la respuesta <UA&F>.
{ FRMR }		Se ignora, debido a que ocurrió una colisión.
{ INDEF }		Se ignora, debido a que ocurrió una colisión.

APENDICE B

DEDUCCION DE LA ECUACION PARA EL CALCULO DE LA ATENUACION EN EL ESPACIO LIBRE.

$$\alpha = 32.44 + 20 \log (d) + 20 \log (f) \quad [\text{dBi}]$$

Partiendo de el área efectiva de una antena se tiene:

$$A_{efe} = P_r / P_o \quad (1)$$

$$A_{efe} = P_t / P_o \quad (2)$$

Donde:

A_{efe} = Area efectiva de la antena.

P_r = Potencia de recepción.

P_t = Potencia de transmisión

P_o = Densidad de potencia

Sabiendo que la densidad de potencia es:

$$P_o = P_t / 4 \pi d^2 \quad (3)$$

Además.

$$A_{efe} = (A_{iso}) (G) \quad (4)$$

APENDICE B

por lo tanto

$$G = A_{efe} / A_{iso} \quad (5)$$

Donde:

G = Ganancia

A_{iso} = Area isotrpica de la antena

Despejando la densidad de potencia P_o de la ecuación 1 tenemos:

$$P_o = P_r / A_{efe} \quad (6)$$

Igualando las ecuaciones 3 y 6 y agrupando términos:

$$P_r / P_t = P_t / 4 \pi d^2 \quad (7)$$

Sustituyendo el área efectiva de la ecuación 4 en la ecuación 7 tenemos:

$$P_r / P_t = (A_{iso}) (G) / 4 \pi d^2 \quad (8)$$

La ecuación 8 nos define la relación de transmisión (P_r / P_t)

El inverso de la relación de transmisión es la relación de atenuación (α); $\alpha =$

P_t / P_r

$$P_t / P_r = \alpha = 4 \pi d^2 / (A_{iso}) (G) \quad (9)$$

APENDICE B

La relación de transmisión nos permite calcular en función de la ganancia de la antena receptora y de la propagación isotrópica a transmisión la cantidad de señal incidente, sin embargo no es usual debido a las características del medio ambiente ya que en su paso por éste la señal disminuye presentando una característica de desvanecimiento que en este caso sera una atenuación por dispersión.

Si consideramos el área efectiva de la ecuación 7 como el área total de recepción (A_r), deberemos involucrarle el parámetro de ganancia definido en la ecuación 5 y el producto de estas ecuaciones (5 y 7) nos permitirá conocer la relación de transmisión si la antena transmisora además fuera directiva y no isotrópica, ésto queda representado en la ecuación 10.

$$P_r/P_t = (A_{efe}/4 \pi d^2) (A_{efe}/A_{iso})$$
$$P_t/P_r = (A_r/4 \pi d^2) (A_t/A_{iso}) \quad (10)$$

Donde:

A_r = Area total de recepción

A_t = Area total de transmisión

Adicionalmente debemos de considerar la definición del área efectiva de la siguiente manera.

El cuadrado de la longitud de onda (λ) se multiplica por la ganancia en potencia en cierta dirección dividida entre 4π , esto queda definido en la ecuación 11

APENDICE B

$$A_{efciso} = \lambda^2 G/4\pi \quad (11)$$

Si normalizamos el campo máximo, la ganancia será mejor mientras más se acerque a un valor unitario éste es, el máximo valor de ganancia (antena isotropica) será 1.

Incluyendo el concepto anterior en la ecuación 11 tenemos:

$$A_{efciso} = \lambda^2/4\pi \quad (11')$$

Sustituyendo esta ecuación en la ecuación 10 tenemos:

$$P_r/P_t = [A_r/4 \pi d^2][A_t/(\lambda^2/4\pi)] \quad (12)$$

Simplificando

$$P_r/P_t = A_r A_t / d^2 \lambda^2 \quad (13)$$

Volviendo al concepto de la ecuación 9 tenemos:

$$P_r/P_t = d^2 \lambda^2 / A_r A_t$$

Aplicando la ecuación 4 a la relación anterior nos queda:

$$\alpha = d^2 \lambda^2 / (A_{isoGr})(A_{isoGt}) \quad (14)$$

Sustituyendo la ecuación 11' en la ecuación 14 y reduciendo términos nos queda:

APENDICE B

$$\alpha = d^2 \lambda^2 / [(\lambda^2 / 4\pi)^2 G_r G_t]$$

$$\alpha = d^2 \lambda^2 (4\pi)^2 / \lambda^4 G_r G_t$$

$$\alpha = d^2 (4\pi)^2 / \lambda^2 G_r G_t$$

$$\alpha = (4\pi d / \lambda)^2 / (1 / G_r G_t) \quad (15)$$

La ecuación 15 define la atenuación por dispersión.

Considerando la atenuación por dispersión como una deducción que parte del concepto de antena isotrópica no es factible dar un valor de ganancia diferente a 1 debido a que la ecuación 15 únicamente esta contemplando la cantidad de señal que se pierde en la trayectoria de un punto a otro. Entonces la ecuación nos queda:

$$\alpha = (4\pi d / \lambda)^2 \quad (16)$$

Para hacer cálculos de ganancias reales habrá que definir estas en función del diámetro y otras características adicionales.

Aplicando a la ecuación 16 el concepto de decibeles, obtenemos la ecuación que nos define la atenuación por dispersión de la señal en decibeles isotrópicos.

$$\alpha = 10 \log (4\pi d / \lambda)^2 \quad [\text{dBi}]$$

Aplicando propiedades de logaritmos:

APENDICE B

$$\alpha = 20 \log (4\pi d/\lambda)$$

$$\alpha = 20 \log 4\pi d - 20 \log \lambda$$

$$\alpha = 20 \log 4\pi + 20 \log d - 20 \log \lambda$$

Sustituyendo $\lambda = c/f$:

$$\alpha = 21.98 + 20 \log d - 20 \log C + 20 \log f$$

Considerando el valor de C en Km.

$$\alpha = 21.98 + 10.45 + 20 \log d + 20 \log f$$

$$\alpha = 32.44 + 20 \log d + 20 \log f \quad \text{dB}$$

Donde: d = Km

f = MHz

APENDICE C

INTELSAT

El sistema *Intelsat* (*Organización Internacional de Telecomunicaciones por Satélite*) es una cooperativa sin fines de lucro con sede en Washington, D.C. y fué creada en 1964 y actualmente interconecta a más de 170 países, territorios y dependencias de todo el mundo; utilizándose principalmente para comunicaciones internacionales, regionales y nacionales. La red *Intelsat* consiste de 19 satélites geoestacionarios, colocados sobre los océanos Atlántico, Indico y Pacífico como se puede ver en la figura 1.

Desde su creación a la fecha *Intelsat* ha desarrollado varias generaciones de satélites las cuáles se describen a continuación mencionando algunas de sus características.

Intelsat I (Pájaro Madrugador)

El *Intelsat I* fué lanzado el 6 de abril de 1965 desde Cabo Cañaberal, Florida (E.U.) a bordo de un cohete Delta, era el primer satélite de *Intelsat* y que al principio se le consideró como satélite experimental, sin embargo más adelante fué designado como satélite operativo y se le utilizó para cursar servicios regulares de comunicaciones a través del Atlántico Norte entre Norteamérica y Europa, se trataba de un satélite estabilizado por rotación dotado de una antena omnidireccional fija que transmitía una señal en un arco completo de 360°, debido a esto buena parte de la potencia del satélite se perdía en el espacio en vez de estar concentrada hacia la tierra, la señal que llegaba a la superficie de la tierra proporcionaba cobertura únicamente a la zona del Atlántico Norte, aún en estas

condiciones este satélite cursaba 240 llamadas telefónicas simultáneas o un programa transatlántico de televisión, este último por primera vez con carácter regular.

Era preciso suspender las llamadas telefónicas durante las transmisiones de televisión; su otra limitación consistía en que solamente un par de estaciones podía trabajar con el satélite en un determinado momento. A pesar de todo, el *Pájaro Madrugador* demostró la viabilidad de los satélites y del uso de la órbita geoestacionaria para las telecomunicaciones internacionales públicas.

Fabricado para una vida útil de 18 meses según diseño, el *Pájaro Madrugador* finalmente fué considerado incapaz de seguir prestando servicios en mayo de 1970, cinco años después de su lanzamiento.

Dimensiones: Diámetro 72.1 cm.
 Longitud 59 cm.
 Peso 68.2 Kg.

Intelsat II

En muchos aspectos los satélites de la serie *Intelsat II* contenían algunos adelantos de importancia, este satélite tenía la capacidad de procesar 240 conversaciones telefónicas o un programa de televisión y también eran estabilizados por rotación y disponían de una antena omnidireccional fija, pero, en vez de un haz inclinado los satélites de este tipo transmitían un diagrama que abarcaba toda la superficie terrestre visible desde su posición en órbita geoestacionaria. Además un transpondedor de nuevo diseño le daba al satélite una capacidad para trabajar con múltiples usuarios permitiendo que un gran número de estaciones trabajaran en forma simultánea y se llegó a suministrar cobertura a las zonas de los océanos Atlántico y Pacífico.

APENDICE C

Dimensiones: Diámetro 142.2 cm.
 Longitud 67.3 cm.
 Peso 162.3 Kg.

Intelsat III

Los satélites de esta serie permitieron un pronunciado aumento en la capacidad de los 240 circuitos con que contaban los anteriores, se pasó a 1500 circuitos, más televisión, los diseños del *Intelsat III* contenían por lo menos una innovación de importancia.

Una antena de contrarrotación mecánica, que consistía en que el motor de la antena hacía que ésta rotara exactamente a la misma velocidad del satélite pero en sentido contrario ya que así fué posible concentrar toda la potencia transmisora en dirección a la tierra en vez de radiar potencia al espacio y así se aumento su eficiencia.

Se lograron colocar satélites *Intelsat III* sobre las tres regiones oceánicas más importantes:

La del Atlántico, la del Pacifico y la del Indico, de esta forma en 1969 *Intelsat* lograba por primera vez la cobertura global.

Dimensiones: Diámetro 142.2 cm.
 Longitud 104.1 cm.
 Peso 294.1 Kg.

APENDICE C

Intelsat IV

Los *Intelsat IV* tuvieron un gran aumento en su capacidad, se obtuvo un promedio de 3750 circuitos telefónicos simultáneos más dos canales de televisión. Este incremento se pudo lograr mediante el uso de 12 transpondedores de comunicaciones a bordo de cada satélite unido a una nueva configuración de las antenas consistente en dos reflectores parabólicos de haz pincel y cuatro bocinas globales.

Las antenas de haz pincel podían ser orientadas desde tierra con el fin de apuntar haces de alta energía (o alta capacidad) hacia zonas pequeñas de la superficie terrestre.

Dimensiones: Diámetro 2.38 m.
 Altura del tambor del conglomerado solar 2.81 m.
 Altura total 5.26 m.
 Peso 1418 Kg en el momento del lanzamiento.

Intelsat IV-A

Estos satélites son derivados de los modelos *Intelsat IV* que dieron muy buenos resultados, sin embargo los satélites de esta serie contaban con un conglomerado de antenas complejo que aislaba por separación espacial los hemisferios oriental y occidental del disco terrestre y permitía a la red *Intelsat* "reutilizar" la banda de frecuencias de 6 y 4 GHz o sea usarlas dos veces, esto posibilitó que *Intelsat* estuviera en condiciones de responder al crecimiento del tráfico sin ampliar sus operaciones a nuevas bandas de frecuencia y produjo una capacidad de 6000 circuitos más 2 canales de televisión.

Dimensiones: Diámetro 2.38 m.
 Altura del tambor del conglomerado solar 2.81 m.

APENDICE C

Altura total 6.78 m.

Peso 1516.2 Kg.

Intelsat V

El satélite *Intelsat V* es diferente a los anteriores satélites de *Intelsat* en una serie de aspectos.

Por ser estabilizados por rotación los satélites de todas las series precedentes eran básicamente tambores cilindricos recubiertos de celdas solares que producían la energía eléctrica necesaria.

Los *Intelsat V* disponen de estabilización triaxial obtenida mediante el uso de volantes de inercia a bordo del satélite, su estructura principal es en forma de caja sobre la que va instalada una torre de antena sumamente complejas, a los dos costados de la caja se extienden frágiles "alas" de celdas solares. Las antenas permiten efectuar transmisiones mediante haces globales, hemisféricos de zona y pincel; los haces hemisféricos cuentan con separación espacial (al igual que en el *Intelsat IV-A*) pero los de zona trabajan en polarización cruzada lo que permite utilizar cuatro veces las bandas de frecuencias de 6 y 4 GHz.

Además el *Intelsat V* está equipado para trabajar con una nueva gama de frecuencias que se utiliza en los haces pincel en la banda de 14/11 GHz. Estos adelantos han hecho duplicar la capacidad de 6000 circuitos de los *Intelsat IV-A* de suerte que ahora se dispone de 12000 circuitos para conversaciones telefónicas simultáneas más 2 canales de televisión, capacidad que bastará para atender las necesidades de *Intelsat* a comienzos de la década de los años 80.

APENDICE C

Dimensiones: Longitud (con paneles solares desplegados) 15.9 m.
Altura (incluido el mastil de la antena) 6.4 m.
Peso 1870 kg.

Intelsat VI

En octubre de 1989 se lanza el primero de cinco satélites de esta serie. El programa *Intelsat VI* representa una nueva generación de telecomunicaciones comerciales por satélite diseñadas para atender las necesidades del futuro A través de los haces pincel de banda Ku (14/11 GHz) de alta potencia de estos satélites se cursará una amplia gama de servicios telefónicos, de video y datos tanto a las estaciones *Intelsat* normalizadas como directamente a estaciones terrenas muy pequeñas ubicadas en las instalaciones de los clientes, lo que permitirá a los usuarios configurar redes muy eficientes en función del costo. Los *Intelsat VI* suministran una capacidad insuperable para cursar voz, video y datos utilizando técnicas de modulación digital avanzadas.

La capacidad de cada satélite *Intelsat VI* tiene un promedio de 24000 circuitos telefónicos bidireccionales simultáneos, el doble de la capacidad de un *Intelsat V*, más tres canales de televisión. El aumento potencial de capacidad de un *Intelsat VI* es de hasta 120000 circuitos telefónicos bidireccionales simultáneos mediante el uso de equipo digital de multiplicación de circuitos.

La vida útil de éstos satélites es de hasta trece años, casi el doble de la serie *Intelsat V*.

Dimensiones: Diametro de 3.6 m.
Altura totalmente desplegado 11.7 m.

APENDICE C

Peso 4240 Kg.

El contratista principal del programa *Intelsat VI* es Hughes Aircraft Company. Un grupo de empresas internacionales en el campo electrónico y aeroespacial se unieron a Hughes para diseñar y construir esta generación de satélites. Dichas empresas son: British Aerospace, del Reino Unido; Spar Aerospace Ltd. y COMDEV, de Canada; Thompson CSF y Alcatel-Espace, de Francia; Selenia, de Italia; NEC Corporation, de Japón; y MBB y AEG, de Alemania. En este grupo de expertos se reúnen las tecnologías de las comunicaciones por satélite más avanzadas para desarrollar el satélite comercial de telecomunicaciones más potente jamás construido.

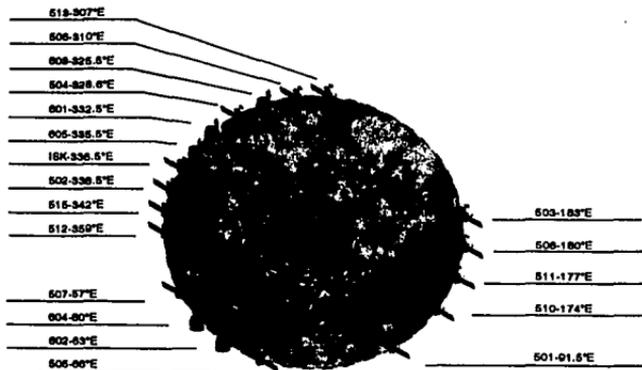


Figura 1 Posición de los satélites de Intelsat

GLOSARIO

GLOSARIO

Activación.- En el sistema se dice que se activa un enlace hacia afuera y un enlace de retorno cuando se asignan a un *TMCC* o un *RMCC* respectivamente.

El operador activa un enlace utilizando las pantallas de configuración cuando el comando de activación se acciona.

Activity Foutl.-(*Falla por actividad*) Es un mensaje reportado por el software *NCS*. Cuando el tiempo de espera en un *TMCC* o en un *RMCC* excede de un límite predefinido.

ADCCP.- Procedimiento de control de comunicación de datos avanzado.

Ancho de banda.- Es el rango de frecuencias que un canal de comunicación es capaz de conducir sin una atenuación excesiva, manteniendo un rango continuo de frecuencias sobre el cual la ganancia no difiera de su valor máximo más que en una cantidad especificada.

Banda de frecuencias que puede ser reproducida por un amplificador y que representa la diferencia entre dos frecuencias dadas.

Ángulos de apuntamiento.- Los tres ángulos de apuntamiento (*elevación, azimut y polarización*) para orientar la antena de una estación terrena con una línea de vista a un satélite geostacionario a fin de maximizar la calidad de la señal, estos ángulos están formados por la orientación de la antena o del *ORU*, relativos a algunos puntos fijos, conforme el plato se levanta (*elevación*) o gira (*azimut*) o conforme el *ORU* se rota sobre su eje (*polarización*).

APAD.-Dispositivo que realiza la unión de ensamblador y desensamblador de paquetes asíncronos.

Apogeo.- Punto de la órbita de un satélite de la tierra situado a la máxima distancia del centro de la tierra.

GLOSARIO

Asignación por demanda.- Es un portocolo de acceso para comunicaciones por enlaces compartidos. En el cual algunos intervalos de tiempo de transmisión son reservados temporalmente para algunos usuarios según su demanda. Para estabilizar enlaces de retorno durante períodos de gran tráfico entre distintos modos de asignación.

Atenuación.- En sistemas de comunicación por satélite generalmente es una pérdida en la fuerza de la señal. La atenuación de la señal puede deberse a varios factores como la interferencia ambiental, una obstrucción o un mal apuntamiento de la antena, degradación de los circuitos integrados.

Atenuación por lluvia.- Atenuación producida por la lluvia sobre la portadora de RF que puede causar una falla temporal en un enlace satelital. Las atenuaciones por lluvia son compensadas por la función del control de potencia de enlace de subida, la cual mantiene la potencia de los transpondedores constante a pesar de la interferencia ambiental y por los márgenes de atenuación por lluvia.

Azmut.- En las antenas de las estaciones terrenas, es el ángulo formado con el norte verdadero con la antena. Junto con la elevación y polarización es uno de los tres ángulos de apuntamiento de la antena.

Back off.- Es el proceso de reducir los niveles de potencia de entrada y salida del amplificador del satélite, lo cual permite operar en una región más lineal.

Banda Ku.- Es el espectro de frecuencia utilizado por la mayoría de los sistemas. Dentro de la banda Ku de aproximadamente 10 a 18 GHz, las estaciones transmiten de 14-14.5 GHz y reciben de 12.2-12.7 GHz.

Baud.- Unidad binaria de transmisión de información por segundo. Mide la velocidad de traspaso de información por segundo que un canal es capaz de conducir. En la práctica es igual a bits por segundo (bps) aun cuando técnicamente no son lo mismo. También se le llama baud.

GLOSARIO

Bel.- Unidad de escala logarítmica de potencias, la unidad es inconvenientemente grande, por lo cual siempre se utiliza la designación de su décima parte o decibel.

BER.-(*Bit Error Rate*) Es una medida del desempeño del enlace basado en el número de errores por número de bits transmitidos. Generalmente un BER mayor a 1/8 o 1/10 indica un accidente en la antena o una obstrucción de esta, una degradación del hardware, o una lluvia que desbanece la señal en la estación remota.

Bit.- Es la unidad más pequeña de información que puede ser procesada o transformada por un circuito. Es representado por la presencia o ausencia de un pulso electrónico (1 ó 0). Es la contracción de las palabras binary digit.

Buffer.- Es una parte de memoria que sirve para almacenamiento temporal para la entrada y salida de datos.

Burst de datos.- Cuando necesita transmitir información una estación remota transmite un bloque de datos (burst) al inicio de la primera ranura disponible de tiempo. Estas ranuras del enlace de retorno tienen el tamaño para acomodar al menos dos burst, un burst de datos y un burst de reconocimiento.

Burst de Reconocimiento.- Cuando se necesita transmitir información la estación remota transmite un bloque de datos al inicio de la primera ranura de tiempo disponible.

En la mayoría de los sistemas estas ranuras de enlace de regreso tienen un tamaño para acomodar al menos dos burst, un burst de datos y uno de reconocimiento. Este último es dedicado principalmente al reconocimiento de los (*outlink frames*) enlaces al exterior y de aproximadamente 254 bytes de longitud.

La longitud del burst de reconocimiento más la longitud del burst de datos es igual a la longitud de la ranura, la cual es expresada en bytes.

Cadena de tiempo.- Configuración *TMCC/RMCC* en la cual algunos *RMCC's* están físicamente ligados a algunos *TMCC's*. Esta configuración puede ser necesaria en donde el uso de diferentes transpondedores evita que algunos *RMCC's* entreguen sus correcciones de tiempo y frecuencia vía satélite.

GLOSARIO

Canal.- Una sola frecuencia de radio para la transmisión de datos por satélite.

Canal de transmisión.- Conjunto de medios necesarios para asegurar la transmisión de señales entre dos puntos.

Circuito virtual.- Es una conexión lógica de datos entre los dispositivos del usuario en el lugar de la maestra y aquellos en las estaciones remotas; El sistema soporta hasta 32 circuitos virtuales en cada estación remota.

Colisión.- En un sistema, se da cuando estaciones comparten el mismo enlace de retorno transmiten simultáneamente. Cuando una colisión ocurre ninguna transmisión se recibe intacta, y ambas son sujetas a un retraso aleatorio para retransmisión. Las colisiones se incrementan con la carga y conducen al retraso de los paquetes y a la saturación del canal.

Comutación de paquetes.- Técnica de enrutamiento de información desarrollada específicamente para las redes de transmisión de datos, en la cual los mensajes se dividen en unidades pequeñas llamadas paquetes, los cuales son manejados individualmente por las redes de transmisión. Esta técnica se basa en el envío de paquetes desensamblados, para posteriormente ensamblarse en el destino.

Conmutador de paquetes.- Equipo de la estación maestra que combina: (1) la capacidad de un conmutador central para los enlaces de comunicación, (2) funciones de control de red y (3) interface de software (PAD's) para el equipo de procesamiento de los datos del usuario.

Conversión de bajada.- Las frecuencias de la banda Ku del satélite de un sistema de recepción exterior, son convertidas a frecuencias de banda L (intermedia) por un proceso de los dispositivos que se encuentran dentro de la estación. En la estación maestra, esta conversión es realizada por un LNC montada en la antena, y en las estaciones remotas ésta es realizada por el ORU.

Conversión de protocolo.- Este se realiza en el sistema, es el proceso que realiza la interface entre el protocolo de comunicaciones de datos de usuario y el

GLOSARIO

protocolo VSAT. *PAD's* en la estación remota y en la maestra, convierten el protocolo nativo al protocolo *X.25* para transmisión sobre el canal satelital.

Conversión de subida.- Las señales de baja frecuencia de los moduladores de interiores son convertidas a señales de frecuencia de la banda *Ku* para transmisión por satélite. En la estación maestra una frecuencia intermedia es trasladada a la banda *Ku* por un convertidor de subida, en las estaciones remotas, se realiza por un convertidor de subida en el *ORU*.

Convertidor de subida.- Módulo electrónico montado en el chasis en la estación maestra y en el *ORU* en las estaciones remotas; realizan la conversión de las señales de FI de un modulador a la banda *Ku* para transmisión por satélite.

Correlación.- Grado de semejanza entre dos señales u ondas.

Covertura del satélite.- Area de la superficie terrestre iluminada por el haz del satélite, en el cual la fuerza de la señal del satélite varia dependiendo del la forma del rayo, y su perfil.

Quantización.- Proceso en el cual una gama continua de valores, se divide en un número de los intervalos adyacentes y cualquier valor que caiga dentro de un intervalo determinado se representa por un valor único predeterminado, dentro de ese intervalo.

DCE.- Equipo de terminación de circuito de datos.

Demodulador.-Dispositivo electrónico que recupera la información de una señal de radio transmisión de frecuencia intermedia, convirtiéndola a señales digitales. Este se encuentra en el lado receptor de un sistema de IF de las estaciones maestras y de las remotas. Estos estan controlados por un *RMCC* en la estación maestra y por el *TMCC* en la estación remota.

Desactivar.- En un sistema, un enlace de retorno se desactiva cuando este ha sido desasignado de un *TMCC* o *RMCC* activo.

GLOSARIO

Downloading.- La transferencia de código de software y datos de configuración desde el conmutador de paquetes de la estación maestra a los remotos *RCC* y *PAD'S*

DTE.- Equipo Terminal de Datos.

Duplexor.- Dispositivo o sistema de acoplamiento que permite utilizar una sola antena y línea de transmisión para emisión y recepción simultánea o alternada.

Eb/No.-(*Energy bit to Noise power density*) Es una base común para medir el desempeño de la señal a ruido de un sistema digital en el receptor. Dependiendo de la modulación y del sistema de procesamiento de la señal un particular Eb/No es necesario para obtener un BER deseado.

Eclipse de sol.- Pérdida de comunicación de la estación terrena que ocurre cuando la señal del satélite se pierde por la potencia y alineación de los rayos solares por breves períodos en varios días, generalmente esto ocurre en marzo y octubre.

Elevación.- En una antena de estación terrena, es el ángulo formado con el plano del horizonte local conforme el plato de la antena se mueve hacia arriba.

Enlace.- Se puede referir a un enlace X.25 (circuito virtual) o a un enlace satelital dependiendo del contexto.

Enlace Host.- Es la conexión entre el computador host y el conmutador de paquetes, los cuales son definidos en las bases de datos del X.25 y el *NCS* durante la configuración de la red.

Espectro de señal.- Representación gráfica de la distribución de la amplitud (y en ocasiones de la fase) de los componentes de una onda como función de la frecuencia.

Estación maestra.- Estación principal de una red VSAT que utiliza enlaces hacia afuera y enlaces de retorno para comunicarse con las estaciones remotas por

GLOSARIO

medio del satélite; recibe y transmite señales de radio apropiadas para transmitir por los canales de alta frecuencia del satélite, y convierte entre estas señales de RF y señales digitales apropiadas para el procesamiento. Consiste en el equipo de conmutación de paquetes, equipo de RF y FI, el sistema de control de red y una antena.

Estación remota.- Estación remota en un sistema de red. La cual se comunica vía satélite con la estación maestra; recibe y manda señales de radio frecuencia apropiadas para transmitir por medio del satélite y convierte estas señales de radiofrecuencia a señales digitales apropiadas para ser procesadas por un DTE; consiste en una estación terrena con una antena pequeña, equipo de RF externo (ORU) y una unidad de procesamiento (DPU).

Factor de corrección de tiempo (TCF).- Un factor aplicado a la recepción de tiempo de un mensaje para compensar la distancia diferencial de la estación remota desde el satélite.

Falla de un enlace.- Pérdida de comunicación efectiva de un enlace satelital, debida a una falla de hardware, una obstrucción o mal apuntamiento de la antena o desvanecimiento por lluvia.

FEC.- (*Forward Error Correction*): Es una técnica de codificación en los extremos de una transmisión para facilitar la corrección de bits erróneos en el receptor.

Frame.- (*Trama*) Es un bloque de información formateado de acuerdo a un protocolo generalmente X.25 para transmitir a través de un enlace satelital como una unidad y teniendo como destino todas las subestaciones de la red.

Frecuencias.- En el sistema dos tipos de frecuencias se distinguen. (1) La frecuencia central del convertidor de subida que generalmente corresponde a la frecuencia central del transpondedor del enlace de subida del satélite y es ajustado durante la instalación del sistema. (2) Frecuencias del canal, son frecuencias específicas usadas como portadoras individuales para transmitir datos en el enlace satelital.

GLOSARIO

Grado de Servicio.- Es un nivel definido por el usuario del pico de tráfico esperado en un enlace, el cual genera un enlace de alarma cuando se excede. Expresado como "*throughput*", el GOS generalmente corresponde al nivel de desempeño consistente con el retraso más grande aceptado.

HDLC.- Control de Enlace de Datos de Alto Nivel.

HI.- (*Interface Humana*) Es un módulo del software NCS que rutea pantallas de operación y peticiones de control de las tareas del NCS; también códigos de color y mensajes de alarma ruteados a al terminal del operador.

HPA.-(*Amplificador de Alta Potencia*). En la estación maestra el HPA amplifica la señal de la banda Ku del convertidor de subida para darle la potencia requerida. Se suministran un par de amplificadores para una redundancia de uno a uno. En las estaciones remotas, un amplificador de potencia de estado sólido en el ORU realiza la misma función.

IF.- (*Frecuencia Intermedia*) Equipo; Parte de la electrónica de interiores en la estación maestra y en la remota que incluye modulador y demodulador; convertidores entre señal de IF y señales digitales; acoplados con el *TMCC* (modulador) y el *RMCC* (demodulador) en la estación maestra y ubicados en tabletas separadas en el chasis del DPU en las estaciones remotas.

Inicio de la estructura.- Mensaje transmitido a intervalos regulares por la portadora de enlace hacia afuera para notificar a la estación remota en una subred cuando empieza el siguiente enlace de retorno.

Intermodulación.- Fenómeno que ocurre en un sistema no lineal cuando se aplican a la entrada dos o más señales de frecuencias diferentes y que tienen por efecto hacer aparecer a la salida, señales parásitas cuyas frecuencias son respectivamente iguales a la suma y a la diferencia de las frecuencias de las señales incidentes y de sus armónicas.

Kb/s.- (*Kilo bits por segundo*) Número de kilobits transmitidos por una portadora, dividido por el tiempo de transmisión en segundos. Es una fórmula común para medir la razón de información y el desempeño.

GLOSARIO

LAP.- Protocolo de acceso de enlace.

LAPB.- Protocolo de acceso de enlace balanceado.

LNC.- (Low Noise Converter): Módulo electrónico montado en la antena de la estación maestra o remota el cual suministra una conversión de la banda Ku a la frecuencia de la banda L.

Mensaje de estado.- Reporte del estado del hardware generado por las estaciones remotas RCC y transmitida a la estación maestra.

Modulador.- Dispositivo electrónico para convertir señales digitales a señales de radio; En el lado del transmisor del sistema de FI en la estación maestra y en las remotas; controlado por un TMCC en la estación maestra y un RMCC en la estación remota.

Mon/Ctl.- (Monitor y control) Funciones del software del sistema de control de la red que monitorea e indica el estado del hardware y permite al operador controlar el hardware de la red.

Multicanalización.- Es el proceso de acomodar varias conversaciones o señales de varios canales telefónicos en una señal de mayor frecuencia para su transmisión - recepción más eficiente.

Multiplexaje.- Proceso reversible destinado a reunir señales de varias fuentes distintas, dando una señal compuesta única para su transmisión por un canal común, este proceso equivale a dividir el canal común en distintos para transmitir señales independientes en el mismo sentido.

Multiplexor.- Equipo o dispositivo que toma un cierto número de canales de comunicación y combina las señales en un canal común de forma tal que las señales pueden extraerse de nuevo por un demultiplexor.

Permite transmitir o recibir secuencial o simultáneamente señales de dos o más usuarios, compartiendo una misma vía o canal de transmisión.

NCS.- (*Network Control System*): Sistema de hardware y software que controla la red. Corre en el conmutador de paquetes y tiene interfaces con el *RCC*, *TMCC* y *RMCC*. Consiste en varios módulos de software o tareas incluyendo las tareas de *NMC*, *DTMC*, *NETCON*, *HI*, y *DLLC*. El *NCS* controla el temporizado de la red, implementa el esquema de reservación adaptativo, manejo automático del equipo de switchover a del standby, monitorea el flujo de tráfico y el estado del hardware en la red, y mantiene las bases de datos. Por medio de la interface del operador, permite a los usuarios monitorear y controlar la red desde una terminal.

NCS Bus Handler.- (*Manejador de Bus NCS*) Módulo del software del *NCS* que rutea todos los mensajes del *NCS* del *TMCC/RMCC* a la tarea apropiada del *NCS*, y permite a las tareas del *NCS* mandar mensajes al *TMCC/RMCC* por medio de los manejadores de I/O.

NCSMON.- (*NCS monitor*) Módulo de software que crea y monitorea las tareas del *NCS*, rearranca las tareas de falla, genera las alarmas, y realiza la función de switchover del conmutador de paquetes.

NETCON.- (*Configuración de red*): Módulo de software de *NCS* que maneja las bases de datos residentes en disco y las globales; soporta las tareas de software de configuración.

NETDIS.- (*Displegado de red*): Módulo de software que manda mensajes periódicos de actualización para cualquier imagen que contiene datos dinámicos y realiza chequeos en la información que mete el operador.

NMC.- (*Monitoreo y control de la red*) Módulo de software que controla y monitorea el hardware de comunicaciones a través de la red.

NPSI.- (*Interface del conmutador de paquetes de la red*): En este sistema, las características de direccionamiento del *QPAD* permite al usuario especificar destinos que estan fuera de a red y por lo tanto en un dominio de direcciones X.121 diferente. Esta característica es necesaria para soportar *NPSI* host. Esta versión del sistema también soporta el uso de *PVC's* (*circuitos virtuales permanentes*) para comunicarse entre *DPU QPAD* en una estación remota y un host *NPSI* ubicado fuera de la red.

GLOSARIO

NS.- (Servicios de red): Un juego común de servicios para formatear los paquetes X.25 y ajustar con el circuito virtual conmutado X.25 para todos los PADs.

ORU.- (Unidad de radio frecuencia externa): Es una unidad electrónica de exteriores en la terminal remota, montada en el punto focal de la antena; incluye un amplificador de potencia de estado sólido (SSPA), el convertidor de subida, y el convertidor de bajo ruido; convierte entre las señales de banda Ku (para la transmisión por satélite y las señales de banda L para procesamiento en el DPU.

Outlink.- (Enlace hacia afuera) Señal de radio frecuencia asignada para transmitir señales por medio del satélite desde una estación maestra a una o más remotas; los paquetes del usuario y la información de control de la red es multiplexada en el enlace a varios kbps y radiada a todas las estaciones en la subred.

PAD.- (Ensamblador y desensamblador de paquetes) Empaquetador de software y firmware que interfiere entre el protocolo de comunicaciones del cliente y la red VSAT a fin de que la red sea transparente para el usuario; para cada protocolo debe haber un PAD en la estación maestra para interfazear el procesador host con la red y uno en la estación remota para servir de interfaz entre el equipo del usuario y la red. El PAD's corre en el conmutador de paquetes en la estación maestra y en el DPU en la estación remota.

Paquete.- Es un bloque de datos formado de acuerdo al protocolo X.25 y transmitidos a través de la red como una unidad.

Perigeo.- Punto de la órbita de un satélite de la tierra situado a la mínima distancia de la tierra.

PIRE.- (Potencia Isotrópica Radiada Efectiva) Es la potencia radiada de una estación terrena terminal; Es el producto de la potencia de salida del HPA y de la ganancia de la antena.

GLOSARIO

PKT/SL.- Paquetes por slot o por ranuras, es el número de paquetes transmitidos dividido en el número de oportunidades para transmitir; es una fórmula común para medir el desempeño de un enlace de retorno.

Polarización.- En una antena de la estación terrena es el ángulo formado por el alimentador y el ORU cuando estos rotan sobre su eje. La polarización vertical es medida a partir de las 12 en punto sentido horario y la polarización horizontal es rotando más o menos 90 grados de la vertical.

Polarización Horizontal.- Se refiere a la polarización de las ondas de modo que las líneas de fuerza eléctrica son horizontales, lo que equivale a decir que el plano de polarización eléctrica es horizontal, y el de polarización magnética es vertical.

Polarización Vertical.- Se refiere a la polarización de las ondas de modo que las líneas de fuerza eléctrica de polarización son verticales, y las de polarización magnética son horizontales.

Portadora.- Onda de radio de alta frecuencia que porta (carga o lleva) la señal modulada a través de los enlaces satelitales. En los enlaces de sistemas VSAT hay portadoras para enlaces ascendentes y descendentes.

Portadora.- Onda de radio generada por un transmisor cuando no existe señal de modulación.

Protocolo.- Conjunto de reglas que se utilizan en el intercambio de información entre sistemas o dispositivos.

Es un procedimiento de sincronización de tal forma que el receptor pueda reconocer una sucesión especial de caracteres que delinean los mensajes.

También es el conjunto de normas que gobiernan la operación de las unidades funcionales de un sistema de comunicación, sin el cual no podría lograrse la comunicación.

Protocolo Aloha.- El protocolo Aloha ranurado es una estrategia para acceder un enlace de comunicación compartido. En el cual los intervalos de tiempo de transmisión son disponibles a múltiples usuarios de acuerdo a varios esquemas.

GLOSARIO

Dependiendo del esquema utilizado, el acceso a estas ranuras de tiempo puede ser aleatorio o por reservación. El acceso puede ser temporal, permanente o semi permanente.

Protocolo X.25.- Conjunto de reglas desarrollado por el Comité Consultivo Internacional de Telefonía y Telegrafía de la Unión Internacional de Telecomunicaciones. Para la comunicación entre dos equipos de cómputo a través de redes públicas de datos.

Puertos RCC.- Los cuatro puertos soportados por el RCC de la estación remota.

PVC.-(Circuitos virtuales permanentes): Es un circuito virtual permanente en el cual existe una asociación fija entre los dispositivos de fuente y de destino. Esta asociación es determinada durante la configuración de la red. En una red SNA, los PVC's son tratados como enlaces SDLC de líneas rentadas dedicadas. El sistema soporta el uso de los PVC's para comunicación entre una QPAD en el lugar remoto y el NPSI localizado fuera de la red.

QPAD.- Este PAD conecta un DPU del usuario con el host por medio del SDLCXS PAD o el NCP NPSI en un procesador de extremo a extremo IBM.

Radiador Isotrópico.- Antena hipotética que tiene la facultad de radiar señal igualmente en todas direcciones.

Ranuras de contención.-Son los intervalos de tiempo de transmisión en un enlace de retorno que no estan reservados a ninguna estación remota.

Ranuras reservadas.- Intervalos de tiempo de transmisión reservados para una estación remota en particular para optimizar el flujo de tráfico; es asignado por el software de DTMC. La reservación de ranuras puede ser asignado a las estaciones remotas dinámicamente; esto puede ser permanente durante la configuración del sistema o semipermanente para facilitar transferencias de batchs.

Razón de ranuras.- Número de oportunidades para la transmisión por segundo para una comunidad de estaciones remotas. Es igual a la razón de información, dividido entre la longitud de la ranura.

RCC.- (Control de comunicación remoto): Módulo de control en el DPU que (1) que controla el flujo de datos de entrada y salida hacia sus funciones apropiadas; (2) utiliza mensajes de SOF de la estación maestra para sincronizar el temporizado de la red de transmisión (3) monitorea componentes de hardware de las instalaciones remotas y manda información de estado a el NCS. (4) Realiza funciones de control remoto a petición del NCS y (5) mantiene un mapa de ranuras reservadas bajo la dirección del DTMC software.

RF.- (Equipo de radio frecuencia): Parte de la electrónica de exteriores cercana a la antena en la estación remota y en la estación maestra. Convierte la frecuencia del satélite a la frecuencia intermedia; incluye amplificador, convertidores de subida y convertidores de bajo ruido.

R.F.- (Radio Frecuencia) - Frecuencia a la cual se radia la energía electromagnética. En los sistemas satelitales se utiliza para radiar las señales hacia el satélite, o bien del satélite hacia la estación terrena. Estas frecuencias son superiores a las acústicas e inferiores a las de la luz y el calor.

RMCC (Control de comunicaciones maestro de recepción): Módulo de control que con el TMCC realiza la interface de la red satelital con el conmutador de paquetes; El RMCC (1) clasifica la información de los enlaces de retorno del demodulador, mandando mallas x.25 hacia el conmutador de paquetes y al NCS; (2) monitorea la razón de colisión y acumula estadísticas del desempeño de los enlaces de retorno; (3) monitorea y controla el demodulador.

SABM.- Paso al Modo Asíncrono Balanceado.

Retraso.- Este término es utilizado para referirse a el retraso de los paquetes que son mandados por la estación maestra o por las remotas.

Retraso de paquetes.- Tiempo necesario para que un paquete pueda ser transmitido sin error en una red.

GLOSARIO

Retraso del conmutador de paquetes.- Retraso experimentado por un paquete mientras está dentro del conmutador de paquetes; generalmente incluido dentro del retraso total del retraso de los paquetes para los cálculos de los retrasos en los enlaces.

Retraso de transacción.- Tiempo transcurrido entre la recepción de un bloque de petición en una estación remota y la transmisión del primer bit de respuesta de el mismo PAD a el DTE o controlador de arreglos; Esta figura generalmente es calculada como un promedio que incluye retardos por colisiones y el efecto de reservaciones dinámicas.

Returnlink.- (Enlace de retorno): Frecuencia asignada para transmitir señales de radio por medio de el satélite desde una comunidad de estaciones remotas a la estación maestra. Los enlaces de retorno son canales de multiple acceso que pueden operar en un protocolo de contención ó TDMA.

R.O.E.- (Relación de Onda Estacionaria) - Relación (amplitud) de ondas estacionarias, en un punto (nodo) de mínima relación de las amplitudes máximas y mínimas de la corriente de la tensión o del campo, medidas respectivamente en un vientre (antinodo) y un nodo adyacentes, en un régimen que comprenda una onda estacionaria en una línea o guía de onda.

Satélite Geostacionario.- Es el tipo de satélites de órbita circular utilizados en el sistema. Este orbita a tierra en línea con el plano ecuatorial, con el mismo período y en la misma dirección que la tierra gira sobre su eje. También es llamado satélite sincrónico o satélite geosíncrónico, permanece estacionario con relación a las coordenadas relativas de la tierra.

Saturación del canal.- Condición en la cual las colisiones en un enlace descendente han causado mucha congestión de tráfico y retraso de los paquetes, lo que ocasiona que el canal tienda a fallar.

SDLC.- Control de Enlace de Datos de Sincronía.

Slot.- (Ranura): Uno en una serie de intervalos regulares durante los cuales no más de una estación remota puede transmitir exitosamente en la misma

GLOSARIO

frecuencia. En un sistema el acceso al canal de enlace de regreso es dividido en ranuras y una estación puede transmitir al inicio de una ranura disponible. El tiempo de una ranura es ajustado en la configuración del sistema y generalmente se aproxima al tamaño de los paquetes del usuario.

STDM.- Multiplexaje Estadístico por División de Tiempo.

Subred.- Estación remota que comparte el mismo enlace hacia afuera; puede consistir en varias comunidades, las cuales son estaciones remotas que comparten el mismo *returnlink*.

SVC.- Circuito Virtual Conmutado

Switchover .-(Conmutador): Equipo que tiene la habilidad para cambiar entre el equipo de respaldo y el equipo en línea.

TDMA.- (Acceso múltiple por división de tiempo): Protocolo que gobierna el acceso al canal de enlace de retorno en el cual alguna de las ranuras en la malla pueden ser reservadas, permanente o temporalmente para lugares particulares.

TMCC.- (Controlador de comunicaciones maestro de transmisión): Módulo de control que junto con el RMCC realiza la interface del conmutador de paquetes con la red satelital. El TMCC (1) acepta malla X.25 del conmutador de paquetes y combina estos con los mensajes de supervisión del NCS para rutear a todas las subestaciones de la red. (2) genera mensajes para todos los RCC's y RMCC's asociados a fin de sincronizar el temporizado de la red; (3) monitorea y controla el modulador; y (4) guarda estadísticas del tráfico y del desempeño del enlace.

Umbral de falla de enlace.- Nivel de desempeño definido por el usuario que produce el retraso más grande en un enlace.

X.25.- Protocolo para formatear mensajes para el intercambio de paquetes por un circuito virtual; recomendado por el CCITT

GLOSARIO

Tiempo compartido.- Técnica de utilización de un sistema para varias tareas, de modo que cada tarea es ejecutada en segmentos de tiempo alternados con las demás tareas.

Transpondedor.- Es aquella parte del satélite que tiene como función principal la de amplificar la señal que recibe de la estación terrena, cambia la frecuencia y la retransmite nuevamente a una estación terrena con una cobertura determinada.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

Alvares del Castillo Legarreta Rodolfo. *Las redes VSAT*
1993 año IV no 32 RED (la revista de redes de computadoras).

Ayres Jr. Frank. *Trigonometría plana y esférica*
Mc Graw Hill

Cakraborty D. *VSAT Communications Networks An overview.*
Mayo de 1998 vol 26 No.5 IEEE Communications Magazine.

Calderón Macías Daniel. *Redes privadas para transmisión de datos y voz vía satélite en México.* Octubre 1990. Tesis UNAM 1990.

Chitre, Dattakumar & McCoskey, John. *VSAT Networks: Architectures Protocols and management.*
Julio 1988 vol 26 No 7, IEEE. Communication Magazine.

D. Kraus Jhon. *Antenas*
Mc Graw Hill

Duorak C. Jhon & Anis Nick. *Telecomunicaciones para PC, modems, software, correo electrónico e interconexión.* Mc Graw Hill.

Edwards C. Jordan y Keith G. Balmin.
Ondas Electromagnéticas y sistemas Radiantes

EIA/TIA Standard Interface Between Data Terminal Equipment and Data Circuit Terminating Equipment Employing Serial Binary Data Interchange
Electronics Industries Association, Engineering Department, 1991.

Garber Kenneth. *VSAT technology for today and the future, part 2.*
Financial analysis to quantify benefits. Octubre 1987. Communications News.

BIBLIOGRAFIA

G. Maral, M. Bousquet. *Satellite Communication System/Systems, Techniques and Technology.* Ed. Jhon Wile.

González Salnz, Nestor. *Comunicaciones y redes de procesamiento de datos.* Mc Graw Hill.

Freeman Roger. *Telecommunication, System Engineering.* Wiley U.S.A. 1989

Frederick Williams. *The new telecommunications infrastructure for the information age.* States of America 1991.

Je Allnutt. *Satellite to grown radio propagation.* Great Britain 1989.

Law Carl Edgar. *International VSAT starts to open.* Single Market Mobile & Satellite Review Vol 1. E.U.A. 1992.

McBride, Alan & Cook, Christopher. *VSAT Maintenance and installation.* September 1988, IEEE Communications Magazine.

Neri Vela Rodolfo. *Satélites de Comunicaciones* Mc Graw Hill Noviembre 1989.

Ortega Reyes Raúl. *III Curso Internacional de capacitación en ingeniería de transmisión digital.* Red VSAT Telecomm. México 1991

Pérez Báez José Luis. *Principios de los sistemas de comunicaciones vía satélite* ENEP Aragón.

Recomendación X.21 del CCITT- Interfaz entre el Equipo Terminal de Datos (DTE) y el Equipo de Terminación del Circuito de Datos (DCE), para Funcionamiento Sincrono en Redes Públicas de Datos. Libro Azul, Fascículo VIII.3, Melbourne 1988.

BIBLIOGRAFIA

Recomendación X.25 del CCITT- Interfaz entre el Equipo Terminal de Datos (DTE) y el Equipo de Terminación del Circuito de Datos (DCE), para Equipos Terminales que Funcionan en Modo de Paquetes en Redes Públicas de Datos. Libro Azul, Fascículo VIII.3, Melbourne 1988.

Recomendación V.35 del CCITT-Transmisión de Datos a 48Kbps, Melbourne,1988.

Recomendación V.24-Lista de Definiciones para los Circuitos de Enlace entre el equipo terminal de datos (DTE) y el Equipo de Terminación del Circuito de Datos, Melbourne 1988.

Scientific Atlanta. SkylinX.25, Operator's Manual Volume I, Theory of Operation, Melbourne, Florida U.S.A. 1992.

Scientific Atlanta. SkylinX.25, Operator's Manual Volume II, Monitoring & Controlling the network, Melbourne, Florida U.S.A. 1992.

Scientific Atlanta. SkylinX.25, Operator's Manual Volume III, Configuring & Downloading the Network, Melbourne, Florida U.S.A. 1992.

Scientific Atlanta. SkylinX.25, Alarm Messages
Melbourne, Florida U.S.A. 1991.

Scientific Atlanta. SkylinX.25, Ku-Band VSAT Technical manual,
Melbourne, Florida U.S.A. 1991.

Scientific Atlanta. SkylinX.25,Installation manual Ku-Band VSAT,
Melbourne, Florida U.S.A. 1991.

Scientific Atlanta. SkylinX.25, VSAT System Desing,
Melbourne, Florida U.S.A. 1991.

Scientific Atlanta. SkylinX.25, HUB Operations Training Course,
Melbourne, Florida U.S.A. 1991.

BIBLIOGRAFIA

Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
Cuadro de Atribución Nacional de Frecuencias

Sinnema Williams. *Electronic Transmission Tecnology/Lines, Waves, and Antennas*
Prentice Hall

Torres Gutierrez Derith Elizabeth. *Interconexión de redes de área heterogénea a través de satélite.* Tesis UNAM F.I. 1992.

W.H. Hayt. *Teoría Electromagnética.*