

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERIA

ESTUDIO DE TCP SOBRE ENLACES SATELITALES Y DEL ESTÁNDAR DVB-S, ORIENTADO A APLICACIONES DE TRANSMISIÓN DE DATOS

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

WILLIAM JAVIER BRAVO LÓPEZ

DIRECTOR: ING. FERNANDO FLORES

Quito, Noviembre 2005

DECLARACIÓN

Yo William Javier Bravo López declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



William J Bravo

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por William Javier Bravo López,
bajo mi supervisión



Ing. Fernando Flores

DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer al personal de las empresas Teleholding y Globatel por darme las facilidades para realizar la parte práctica de este trabajo, especialmente al Ing. Marcelo Unda por el apoyo brindado.

Gracias también a cada uno de los profesores que impartieron sus conocimientos y vivencias en las aulas de clase, pues han sido de ayuda para mi formación integral; en particular al Ing. Fernando Flores por su dirección en este proyecto.

Pero ante todo doy gracias a Dios por haberme dado la vida y con ello la oportunidad de conocer a cada una de las personas que de una u otra manera me han apoyado para completar mis estudios universitarios.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres y hermanos que me han brindado su apoyo incondicional para que hoy pueda alcanzar esta meta.

CONTENIDO

Página

Capítulo I Sistemas Satelitales Geoestacionarios

1

1.1	Introducción	1
1.2	Estaciones Terrenas	3
1.2.1	Sistema de Antena	4
1.2.1.1	Antena	4
1.2.1.1.1	Orientación	6
1.2.1.1.2	Parámetros Principales	8
1.2.1.1.3	Estándares para antenas	10
1.2.1.2	Sistema de Alimentación	12
1.2.1.2.1	Los radiadores primarios	12
1.2.1.2.2	El Díplexor	13
1.2.1.2.3	Polarización	14
1.2.1.2.4	Los acopladores de modo seguimiento	17
1.2.2	Transmisores y Receptores	18
1.2.2.1	Transmisores	18
1.2.2.1.1	Los convertidores elevadores	18
1.2.2.1.2	Los amplificadores de potencia	18
1.2.2.2	Receptores	21
1.2.3	Configuración de estaciones	22
1.2.3.1	Múltiple acceso	24
1.2.3.1.1	Acceso múltiple por división de tiempo TDMA	25
1.2.3.1.2	Acceso múltiple por división de frecuencia FDMA	25
1.2.3.1.3	Acceso múltiple por división de espacio SDMA	25
1.2.3.1.4	Acceso múltiple por división de código CDMA	26
1.2.3.1.5	Acceso múltiple con asignación previa o permanente PAMA	26
1.2.3.1.6	Acceso múltiple con asignación por demanda DAMA	26
1.2.3.1.7	Acceso múltiple aleatorio RMA	27
1.2.3.2	Topologías de red	27
1.3	Procesamiento de Señal	28
1.3.1	Adaptación	28
1.3.2	Conversión analógico-digital	29
1.3.3	Multiplexaje	29
1.3.4	Modulación	30
1.3.4.1	Modulación por desplazamiento de fase (PSK)	31
1.3.4.2	Modulación de amplitud en cuadratura QAM	33
1.3.5	Codificación del canal	34
1.3.5.1	Automatic Repeat Request ARQ	34
1.3.5.2	Forward Error Correction FEC	35
1.3.6	Compresión Digital	36
1.3.7	Cifrado o encriptación	36
1.4	Diseño de estaciones terrenas	37
1.4.1	Presupuesto del enlace	38
1.4.1.1	Relación portadora a ruido	39
1.4.1.2	Ecuación del enlace	40
1.4.1.3	Potencia radiada isotrópica equivalente PIRE	40
1.4.1.4	Ganancia de la antena	40
1.4.1.5	Pérdidas de transmisión	41
1.4.1.5.1	Pérdidas de espacio libre	41
1.4.1.5.2	Pérdidas atmosféricas	43
1.4.1.5.3	Efectos de la lluvia	43
1.4.1.5.4	Pérdidas por seguimiento	44
1.4.1.6	Pattern Advantage	45

1.4.1.7	Temperatura de ruido del sistema	45
1.4.1.7.1	Temperatura de ruido de la antena	47
1.4.1.8	Figura de mérito (G/T)	48
1.4.1.9	Relación Portadora a ruido	49
1.4.1.10	El transpondedor satelital	50
1.4.1.11	Componentes de ruido en un enlace satelital	52
1.4.1.11.1	Ruido térmico en el enlace ascendente	52
1.4.1.11.2	Productos de intermodulación en los HPA de las estaciones terrenas	52
1.4.1.11.3	Interferencia co-canal	53
1.4.1.11.4	Intermodulación en el transpondedor	53
1.4.1.11.5	Ruido térmico en el enlace descendente	54
1.4.1.12	Relación total portadora a temperatura de ruido del sistema (C/T_T)	54
Capítulo 2 Análisis del Estándar DVB-S		56
2.1	Introducción	56
2.2	Estudio del Estandar DVB-S (ETS 300 421)	57
2.2.1	Sistema de Transmisión	58
2.2.1.1	Adaptación y aleatorización para dispersión de energía	59
2.2.1.2	Codificación exterior (RS), intercalado y formación de tramas	61
2.2.1.2.1	Introducción a los Códigos Reed-Solomon	61
2.2.1.3	Codificación interior (convolucional)	65
2.2.1.3.1	Introducción a la Codificación convolucional.	65
2.2.1.3.2	Códigos Convolucionales con borrado (Punctured Convolutional Codes)	69
2.2.1.4	Modelado de las señales de banda base y modulación	75
2.2.2	Flexibilidad del sistema y análisis del desempeño	77
2.2.2.1	Velocidad binaria versus ancho de banda del transpondedor	77
2.2.2.2	E_b/N_0 vs BER	79
Capítulo 3 Ancho de banda TCP sobre el satélite		84
3.1	Introducción	84
3.2	Introducción a TCP	85
3.2.1	Entrega Ordenada	86
3.2.2	Estrategia de Retransmisión	86
3.2.3	Detección de duplicados	87
3.2.4	Control de flujo	89
3.2.5	Establecimiento de la conexión	90
3.2.6	Cierre de la conexión	92
3.2.7	Recuperación ante fallos	93
3.2.8	Servicios TCP	94
3.2.9	Formato de la cabecera TCP	98
3.2.10	Opciones en los criterios de implementación de TCP	99
3.2.10.1	Políticas de envío	99
3.2.10.2	Políticas de entrega	100
3.2.10.3	Políticas de aceptación	100
3.2.10.4	Políticas de retransmisión	100
3.2.10.5	Políticas de confirmación	100
3.3	Mejora de TCP sobre canales satelitales	101
3.3.1	Mecanismos no-TCP	101
3.3.1.1	Descubrimiento de la Unidad Máxima de Transmisión en el ruta (Path MTU Discovery)	101
3.3.1.2	Corrección de errores en el receptor (Forward Error Correction)	102
3.3.2	Mecanismos TCP estándar	103

3.3.2.1 Control de Congestión	103
3.3.2.1.1 Arranque Lento y Evasión de Congestión	103
3.3.2.1.2 Retransmisión Rápida y Recuperación Rápida	106
3.3.2.2 Ventanas TCP grandes	107
3.3.2.3 Estrategias de reconocimiento	108
3.3.2.4 Reconocimiento selectivo	109
3.3.3 Mecanismos de Mitigación	109
 Capítulo 4 Aplicaciones orientadas a transmisión de datos	 111
4.1 Introducción	111
4.2 Aplicaciones tradicionales usando DVB-S	112
4.2.1 Aplicaciones de difusión de televisión	112
4.2.2 Aplicaciones de contribución	112
4.3 Transmisión de datos usando DVB-S	113
4.3.1 Multiprotocol Encapsulation (MPE)	116
4.3.2 Ultra lightweight Encapsulation(ULE)	116
4.3.3 Opciones de configuración	118
4.3.3.1 Canal de ida (forward)	118
4.3.3.2 Canal de retorno	118
4.4 Aplicaciones TCP sobre canales satelitales	119
 Capítulo 5 Configuración e Instalación de un Terminal Para Acceso Satelital	 121
5.1 Introducción	121
5.2 Requerimientos de la estación terrena y componentes utilizados	122
5.3 Instalación y configuración	125
5.3.1 Instalación de la unidad interior	125
5.3.2 Instalación de la unidad exterior	126
5.3.2.1 Instalación del RFT	126
5.3.2.2 La antena y su orientación.	128
5.3.3 Características y funcionalidades del IRG30	130
5.3.4 Configuración del Gateway Remoto IRG30	131
5.4 Mediciones	136
 Capítulo 6 Conclusiones y Recomendaciones	 140
 ANEXOS	
Anexo 1 Características de la Antena	
Anexo 2 LNB Norsat	
Anexo 3 Características del terminal remoto IRG30	
Anexo 4 Características de los Cables	
Anexo 5 OMT	
Anexo 6 Cálculos para apuntar la antena.	
Anexo 7 Cálculo de G/T del sistema implementado	

INDICE DE TABLAS

- Tabla 1.1 Síntesis de los estándares de INTELSAT para estaciones terrenas
Tabla 1.2 Características Estándar de estaciones terrenas, para la reutilización de frecuencias
Tabla 1.3 Características típicas de SSPA
Tabla 1.4 Bases de Acceso Múltiple
Tabla 1.5 Ejemplo de atenuación atmosférica
Tabla 1.6 Características de desempeño de estaciones terrenas (Banda- C, eficiencia de la antena 70%)
Tabla 1.7 Características de desempeño de estaciones terrenas (Banda – Ku, eficiencia de la antena 60%)
Tabla 2.1 Tablas de Aleatorización y des-aleatorización
Tabla 2.2 Definición del código convolucional con borrado
Tabla 2.3 Ejemplo de codificación convolucional
Tabla 2.4 Ejemplos de velocidad binaria versus ancho de banda del transpondedor
Tabla 2.5 Desempeño del sistema en el lazo IF
Tabla.2.6 Eficiencia de la transmisión sincrónica.
Tabla 3.1 Temporizadores del protocolo de transporte
Tabla 3.2 Primitivas de solicitud de servicio TCP
Tabla 3.3 Primitivas de respuesta del servicio TCP
Tabla 3.4 Parámetros de servicio TCP
Tabla 3.5 Resumen de mecanismos de mitigación
Tabla 5.1 Especificaciones del LNB
Tabla 5.2 Características de los cables
Tabla 5.3 Características del BUC
Tabla 5.4 Datos técnicos del satélite NSS-806
Tabla 5.5 Detalles de la plataforma DVB.
Tabla 5.6 Datos del enlace de retorno.
Tabla 5.7 Parámetros del Hyperterminal.
Tabla 5.8 Datos de videoconferencia.

INDICE DE FIGURAS

- Fig. 1.1 Sistema de comunicación por satélite
Fig. 1.2 Antena parabólica con alimentador central
Fig. 1.3 Sistemas comunes de alimentadores en antenas
Fig. 1.4 Otros sistemas de alimentadores
Fig. 1.5 Ángulos de acimut (Az) y elevación (θES) de la antena de una estación terrena
Fig. 1.6 Patrón de radiación de una antena parabólica y las características recomendadas de los lóbulos laterales
Fig. 1.7 Ejemplos de radiadores primarios.
Fig. 1.8 Diplexer
Fig. 1.9 Polarización circular
Fig. 1.10 Polarización lineal, elíptica y circular.
Fig. 1.11 Rango Dinámico de un amplificador
Fig. 1.12 Diagrama de bloques de una estación terrena de alta capacidad
Fig. 1.13 Diagrama de configuración funcional típico de una estación VSAT para voz y datos
Fig. 1.14 Acceso múltiple en el dominio del tiempo y de la frecuencia
Fig. 1. 15 (a) Topología de red tipo malla (b) topología de red tipo estrella
Fig. 1.16 “Jerarquías recomendadas por la UIT para el multiplaje por división de tiempo de canales telefónicos. Cada una de ellas se emplea principalmente en Europa (E), Japón (J), y Estados Unidos de América y Canadá (N). Los dos primeros tienen otro posible paso de multiplaje que no se muestra”
bifásica, mostrando dos cambios de fase de π radianes y el período T_b de la velocidad binaria.

Fig. 1.18 Representación vectorial de dos esquemas de modulación PSK (a) BPSK y (b) QPSK

Fig. 1.19 Representación vectorial de 16-QAM

Fig. 1.20 Enlace satelital típico

Fig. 1.21 Parámetros que afectan la calidad de servicio

Fig. 1.22 Ejemplo de Pattern Advantage

Fig. 1.23 Tres elementos básicos de una cadena de recepción

Fig. 1.24 Temperatura de ruido de una antena como función del ángulo de elevación.

Fig. 1.25 Variación de C/No como función de la potencia de la portadora

Fig. 2.1 Diagrama funcional del sistema

Fig. 2.2 (a) Formato del paquete de transporte (b) MPEG-2 Transport Stream (TS)

Fig. 2.3 Diagrama esquemático del aleatorizador y des-aleatorizador

Fig. 2.4 Información más paridad en un codificador Reed-Solomon

Fig. 2.5 Estructura de trama

Fig. 2.6 Diagrama conceptual del intercalado convolucional y des-intercalado

Fig. 2.7 Codificador convolucional

Fig. 2.8 Diagrama de estados

Fig. 2.9 Codificador con velocidad $\frac{1}{2}$.

Fig. 2.10 Ejemplo de codificación con borrado

Fig. 2.11 Ejemplo de inserción de bits

Fig. 2.12 Codificador convolucional, $K=7$

Fig. 2.13 Ejemplo de codificación convolucional

Fig. 2.14 Ejemplo de codificación convolucional con borrado (velocidad 5/6) (usada en el estándar DVB-S)

Fig. 2.15 Constelación QPSK

Fig. 2.16 Característica teórica del filtro "square root raised cosine"

Fig. 2.17 Degradación de Eb/No debido a las limitaciones de ancho de banda del transpondedor

Fig. 2.18 Desempeño de los códigos convolucionales

Fig. 2.19 Desempeño de el Código Reed-Solomon concatenado con Códigos convolucionales

Fig. 3.1 Ejemplo de detección incorrecta de duplicados.

Fig. 3.2 Perspectivas del control de flujo en el envío y en la recepción

Fig. 3.3 Ejemplos de diálogo en tres pasos

Fig. 3.4 Diagrama de estados de la entidad TCP

Fig. 3.5 Cabecera de TCP

Fig. 3.6 Ilustración del arranque lento y la supresión de congestión

Fig. 4.1 Difusión de TV

Fig. 4.2 Sistema de contribución.

Fig. 4.3 Configuración típica para proveer Internet (Direct to Home DTH) usando DVB

Fig. 4.4 Formato del paquete MPE.

Fig. 4.5 Formato del paquete ULE

Fig. 4.6 Modelo de referencia genérico para sistemas interactivos.

Fig. 4.7 Canal de retorno satelital

Fig. 5.1 Diagrama general de la estación a implementar

Fig. 5.2 Equipo IRG30 Instalado

Fig. 5.3 Conexión del Gateway Remoto IRG30

Fig. 5.4 RFT armada y montada

Fig. 5.5 Cobertura para América del NSS-806

Fig. 5.6 Antena apuntada

Fig. 5.7 Flujo del Menú Principal en Modo Instalación

Fig. 5.8 Flujo del Menú Principal en Modo Normal

Fig. 5.9 Gráficos del MRTG para dos aplicaciones

Fig. 5.10 Gráficos de tráfico

RESUMEN

Este trabajo tiene por objetivo general realizar un estudio de TCP (Transmisión Control Protocol) sobre enlaces satelitales junto con algunos de los mecanismos usados para mejorar su desempeño en este tipo de enlaces; además de realizar un estudio del estándar DVB-S (Digital Video Broadcasting by Satélite).

Este último estándar juntamente con un tipo particular de encapsulación como es MPE (Multiprotocol Encapsulation) permiten el envío de paquetes IP, y con ello el transporte de otros protocolos de capa superior como lo son TCP y UDP, facilitando el desarrollo de varias aplicaciones explotables comercialmente.

Para cumplir con lo planteado anteriormente se ha dividido el presente trabajo en los siguientes capítulos:

Capítulo 1. Sistemas Satelitales Geoestacionarios

En este capítulo se presenta una introducción a las comunicaciones satelitales, presentando conceptos y componentes básicos útiles para implementar soluciones de comunicaciones a través del satélite.

Capítulo 2. Análisis del estándar DVB-S

Este capítulo analiza el sistema de transmisión base de la tecnología DVB-S, la estructura de trama, la codificación de canal, la modulación para servicios satelitales, juntamente con otros conceptos que facilitan la comprensión de este estándar.

Capítulo 3. Ancho de banda TCP sobre el satélite

Se estudia el comportamiento de TCP sobre enlaces satelitales y algunos mecanismos utilizados para mejorar TCP sobre estos enlaces.

Capítulo 4. Aplicaciones orientadas a transmisión de datos

Se presentan algunas de las aplicaciones permitidas por el estándar DVB-S, especialmente aquellas que facilitan la transmisión de datos sobre IP y con ello TCP.

Capítulo 5. Configuración e Instalación de un terminal para acceso satelital

Se indican los procedimientos y consideraciones necesarias para poner en marcha un terminal de acceso satelital que brinde acceso al Internet, juntamente con ciertas mediciones que ayudan a comprender las funcionalidades y limitaciones del sistema.

Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones

PRESENTACIÓN

Las necesidades de comunicación y transmisión de información han ido creciendo a nivel mundial, exigiendo el desarrollo de nuevos sistemas de comunicación más eficientes y accesibles cada vez para más personas e instituciones que buscan nuevas oportunidades de desarrollarse y darse a conocer en un mundo muy competitivo.

Una de las muchas alternativas existentes en la actualidad que facilitan las comunicaciones es la utilización de enlaces satelitales, los cuales tienen la ventaja fundamental de ser factibles de implementar en relativamente cualquier lugar del globo terrestre incluso en aquellos lugares donde existe escasa infraestructura terrena de comunicaciones.

Este trabajo describe una de las alternativas en comunicaciones satelitales existentes en la actualidad como lo es el uso del estándar DVB-S a través del cual se hace posible la transmisión de voz, datos y video. Centrándose en la transmisión de datos y principalmente en el uso del protocolo TCP sobre canales satelitales.

La solución presentada en este trabajo es sencilla de implementar y además de bajo costo haciéndola accesible y además con la potencialidad de que se podría compartir el acceso a Internet con terceros a través de diferentes alternativas de última milla.

Capítulo 1

Sistemas Satelitales Geoestacionarios

1.1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas satelitales geoestacionarios se caracterizan por utilizar satélites geoestacionarios o geosíncronos, los mismos que giran en un patrón circular, describiendo un período de 24 horas; por consiguiente se mantienen casi en la misma posición respecto a un punto ubicado sobre la superficie terrestre; teniendo ciertas ventajas respecto a otros satélites que utilizan otras órbitas no geoestacionarias, entre estas ventajas podemos señalar:

- Las estaciones terrenas no necesitan equipo de rastreo, ya que el satélite permanece casi estacionario respecto de un punto en tierra.
- Los satélites geoestacionarios pueden cubrir un área mucho más grande de la Tierra.

Pero también existen desventajas, entre las cuales están:

- Introducen tiempos de propagación más largos.
- Los satélites requieren mayores potencias de transmisión mientras que los receptores terrestres requieren receptores más sensibles ^[1].

Los sistemas satelitales geoestacionarios son muy utilizados para las comunicaciones tanto para aplicaciones de difusión (broadcast) como para aplicaciones de telecomunicaciones

permitiendo brindar muchos servicios a la humanidad, de allí la necesidad de su estudio y continuo mejoramiento.

En toda comunicación por satélite están involucradas al menos tres estaciones, dos en la tierra y una estación repetidora en el satélite. En la figura 1.1 se muestra un sistema de comunicaciones por satélite con sus partes básicas.

Al estudiar los sistemas de comunicación por satélite se debe considerar dos partes fundamentales: el segmento espacial y el segmento terreno.

El segmento espacial está constituido por el satélite y sus respectivos centros de control.

El segmento terreno lo constituyen las diferentes estaciones terrenas que se comunican con el satélite y que a la vez constituyen la interfaz con las redes terrenas.

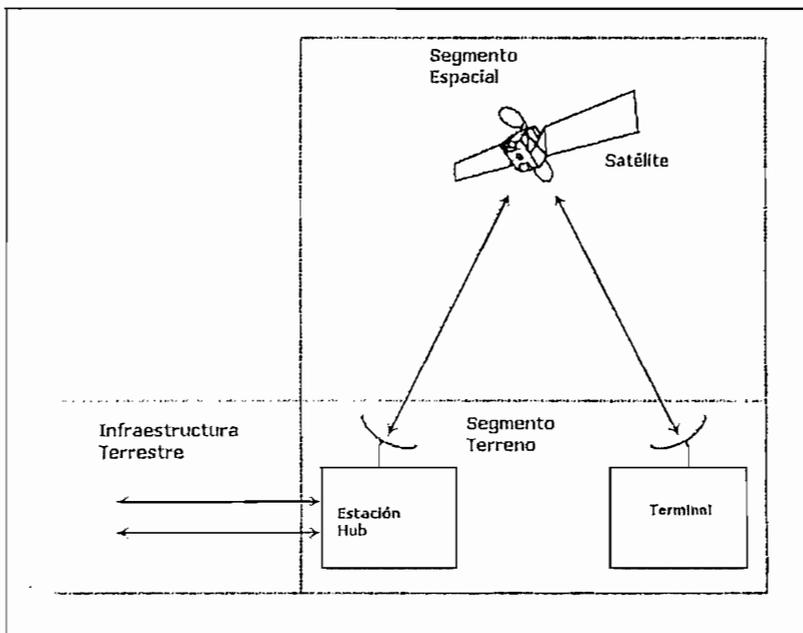


Figura 1.1 Sistema de comunicación por satélite [2]

1.2 ESTACIONES TERRENAS

Una estación terrena es un equipo de comunicaciones que posee una antena o un conjunto de equipos con antenas; estas estaciones por un lado se comunican con el satélite y por el otro entregan o reciben señal en banda base o frecuencia intermedia.

Algunos tipos de estaciones terrenas solo pueden transmitir o recibir, y pueden ser fijas sobre la superficie terrestre, móviles terrestres, marítimas y aeronáuticas.

Las características de las estaciones terrenas tales como tamaño y complejidad son muy variadas, por ejemplo las primeras estaciones denominadas tipo A por INTELSAT poseían un reflector de 33 m de diámetro, en tanto que en las VSAT (Very Small Apertura Terminal) generalmente usan antenas de 1.8 a 2.4 m en la banda Ku ^[3], o las antenas modernas de recepción de televisión pueden tener diámetros tan pequeños como 0.5 m.

Las partes fundamentales de las estaciones terrenas de alta capacidad son las siguientes ^[3]:

El sistema de antena.

Los transmisores y receptores.

Los moduladores y demoduladores.

Los procesadores de banda base.

Las interfaces con redes terrenas.

El sistema de energía y la infraestructura general.

El sistema de supervisión, control y comunicación del servicio.

El sistema de antena junto con los transmisores y receptores forman el llamado *terminal de radiofrecuencia*.

Mientras que las partes de las estaciones terrenas tipo VSAT son las siguientes:

El sistema de antena

La unidad exterior

La unidad interior

1.2.1 SISTEMA DE ANTENA

El sistema de antena lo constituyen básicamente el reflector (antena), el alimentador primario, un arreglo de duplex para la conexión de transmisores y receptores a la misma antena, controles y mecanismos de seguimiento en caso de tenerlos.

1.2.1.1 Antena

Las antenas utilizadas en comunicaciones satelitales son de varios tipos; la más básica de las antenas usa un reflector parabólico con el alimentador ubicado en el foco de la parábola, como se aprecia en la figura 1.2

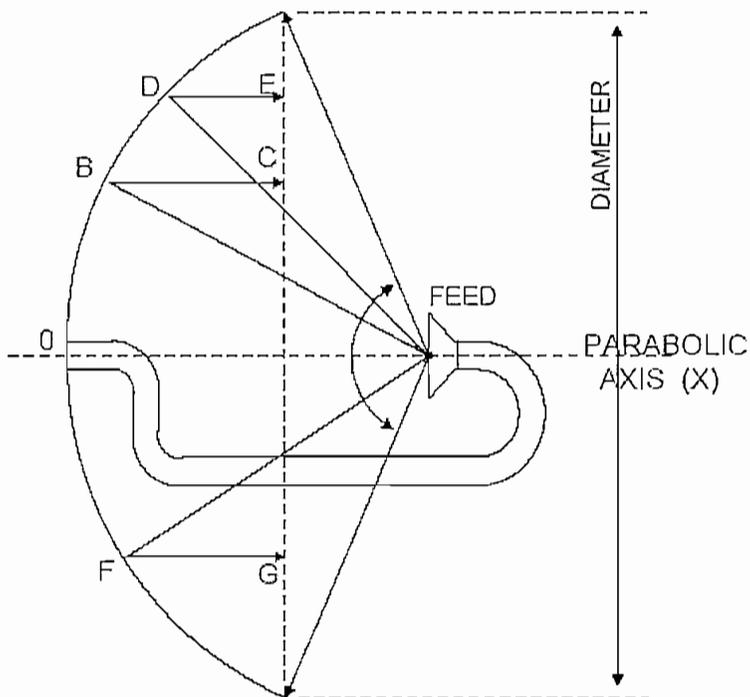


Fig 1.2 Antena parabólica con alimentador central ^[4]

Existen algunos tipos de configuraciones de antenas, entre ellas podemos mencionar:

- Antenas con alimentador central, como la de la figura anterior.
- Antenas con alimentación Offset, tales como offset Cassegrain y Gregorian, que son conocidas como antenas no-simétricas.

En las figuras 1.3 y 1.4 se muestran diferentes tipos de antenas

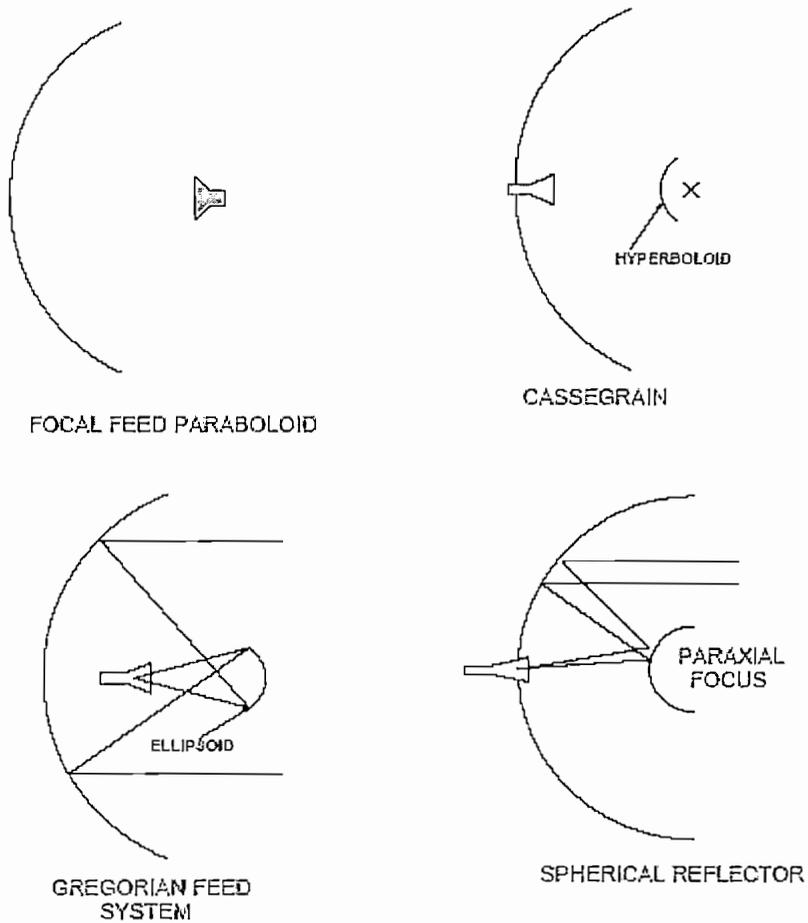


Fig 1. 3 Sistemas comunes de alimentadores en antenas ^[4]

Para montar una antena existen algunos métodos de montaje, los cuales son:

- Montaje X-Y
- Montaje AZ/EL (azimut y elevación).
- Montaje polar.

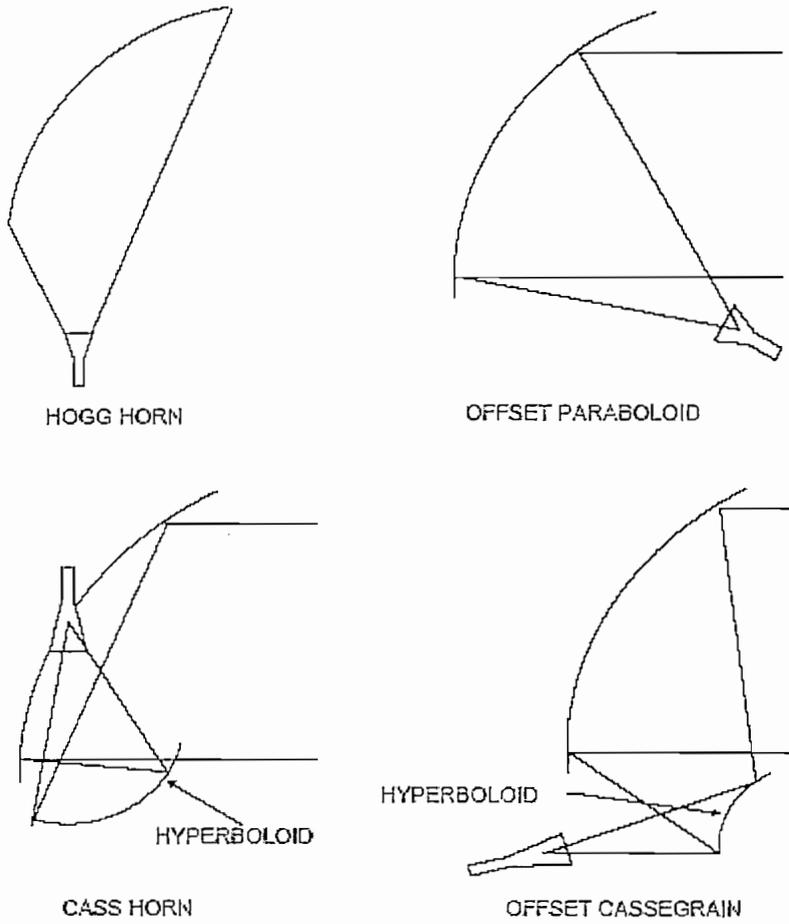


Fig 1.4 Otros sistemas de alimentadores [4]

1.2.1.1.1 Orientación

Uno de los métodos más usados para el apuntamiento de una antena es el de ángulo de elevación y de acimut, el cual se basa en las coordenadas geográficas de la estación terrena y la ubicación del satélite. La forma de medir acimut (Az) y elevación (θ_{ES}) se muestra en la siguiente figura.

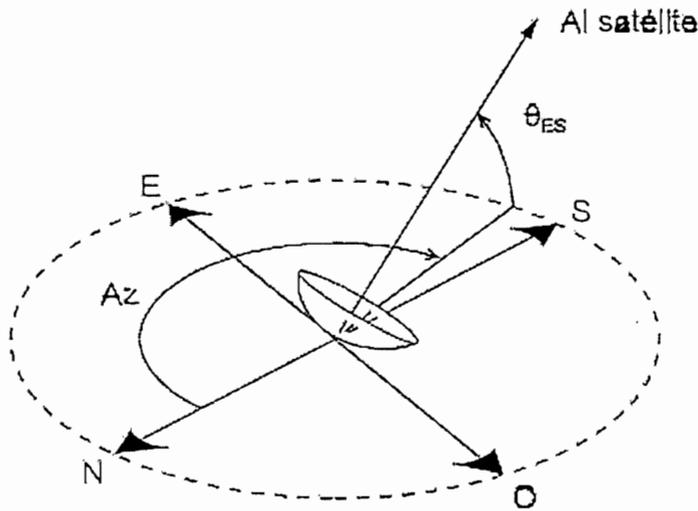


Fig1. 5 Ángulos de acimut (Az) y elevación (θES) de la antena de una estación terrena [3]

Las fórmulas para el cálculo de los ángulos de elevación y acimut son las siguientes:

$$\theta_{ES} = \text{tg}^{-1} \left(\frac{\cos B - 0.15111}{\text{sen} B} \right) \text{ grados} \quad (1.1)$$

$$B = \cos^{-1} \{ \cos La * \cos(Lo - Ls) \} \text{ grados} \quad (1.2)$$

Siendo:

La = Latitud de la estación terrena

Lo = Longitud de la estación terrena

Ls = Longitud del satélite

Para calcular el acimut se usa:

Para estaciones terrenas situadas en el hemisferio Norte se usa:

$$A = 180^\circ + \text{tg}^{-1} \left(\frac{\text{tg}(Lo - Ls)}{\text{sen} La} \right) \text{ grados} \quad (1.3)$$

Para estaciones terrenas ubicadas en el hemisferio Sur se usa:

$$A = 360^\circ + \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{\operatorname{tg}(L_o - L_s)}{\operatorname{sen} L_a} \right) \text{ grados} \quad (1.4)$$

En las fórmulas anteriores hay que reemplazar los ángulos con las siguientes precauciones:

Ángulo de latitud Norte	ángulo positivo
Ángulo de latitud Sur	ángulo negativo
Ángulo de longitud Este	ángulo positivo
Ángulo de longitud Oeste	ángulo negativo ^[5]

1.2.1.1.2 Parámetros principales

Al considerar las antenas parabólicas se debe considerar algunos parámetros como son: la ganancia, la eficiencia, la directividad y la temperatura de ruido. Es de señalar que la ganancia de antena es la característica más importante en transmisión, mientras que en recepción lo es la relación G/T (siendo T la temperatura de ruido) ^[3].

Ganancia

La ganancia de una antena parabólica es:

$$G = \eta \left(\frac{\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (1.5)$$

Donde:

η = Eficiencia de la antena $\eta < 1$

d = diámetro de la antena

λ = longitud de onda

La eficiencia de la antena se ve afectada por las imperfecciones de la superficie de la antena y sus pérdidas.

Ó expresada en decibelios

$$G_{dBi} = 10 \log \eta + 20 \log \pi + 20 \log d - 20 \log \lambda \quad (1.6)$$

Ó

$$G_{dBi} = 10 \log \eta + 20 \log f + 20 \log d + 20.4 \text{ dB} \quad (1.7)$$

Donde:

η = Eficiencia de la antena. Valores entre 0.55 y 0.75 ^[4]

d = diámetro de la antena en metros

f = frecuencia de operación en GHz

20.4 dB = Constante resultado de $10 \log(1 * 10^9 * \pi / c)$

c = velocidad de la luz

Directividad

La directividad guarda relación directa con el *ancho del haz* el cual se mide en los puntos de media potencia, tal como se ilustra en la figura 1.6.

Para calcular el ancho del haz podemos usar la fórmula:

$$HPBW = \frac{\lambda}{d \sqrt{\eta}} * 57.29 \quad \text{grados} \quad (1.8)$$

Donde:

HPBW = Ancho del haz (Half power beamwidth)

η = eficiencia de la antena

d = diámetro de la antena en metros

λ = longitud de onda en metros, c/f

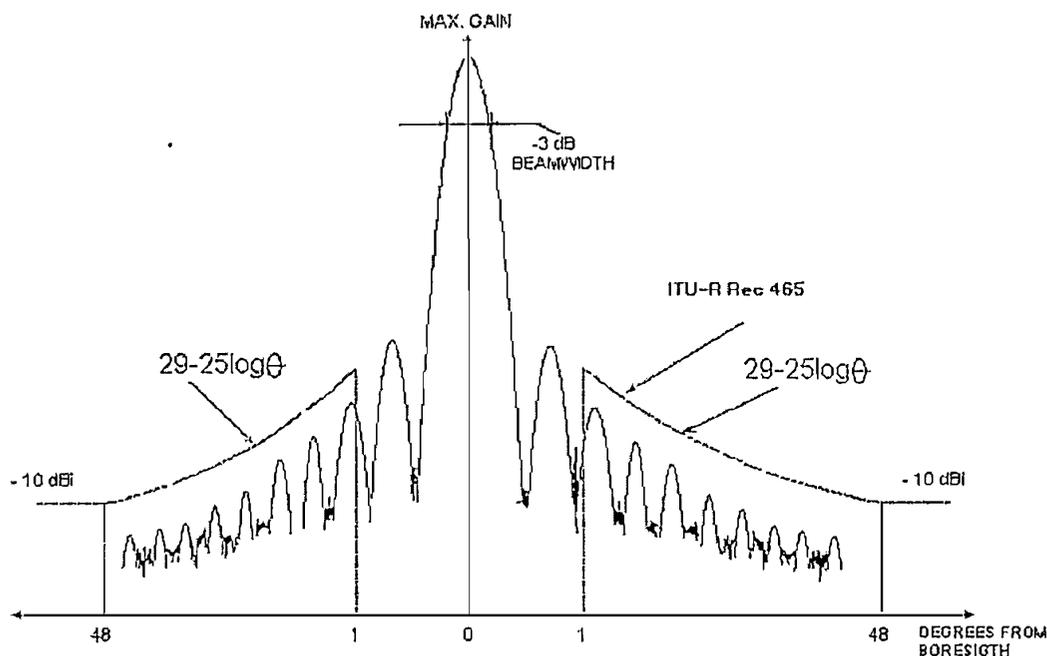


Fig. 1.6 Patrón de radiación de una antena parabólica y las características recomendadas de los lóbulos laterales [4]

Temperatura de ruido equivalente

La temperatura de ruido equivalente se usa para expresar el ruido aportado por un dispositivo o un receptor cuando se evalúa su rendimiento. La temperatura de ruido equivalente (T_e) representa la potencia de ruido presente a la entrada de un dispositivo más el ruido agregado internamente por ese dispositivo.

1.2.1.1.3 Estándares para antenas.

Desde 1965, varios estándares para antenas han sido aprobados para su funcionamiento en sistemas INTELSAT. Estos estándares son clasificados por los siguientes parámetros

- Diámetro del plato reflector.
- Frecuencia de operación
- Figura de mérito (Ganancia/Temperatura de ruido del sistema)
- Modo de operación

En la tabla 1.1 Se muestra una síntesis de los parámetros básicos de los diferentes estándares de antenas.

TIPO DE ESTÁNDAR	BANDA DE FRECUENCIA (GHz)	G/T (dB/K)	DIÁMETRO (m)	TIPO DE SERVICIO	DOCUMENTACIÓN DE INTELSAT
A	6/4	35.0	15-20	Todos	IESS 207
B	6/4	31.7	10-13	Todos	IESS 207
C	14/11; 14/12	37.0	11-15	IDR/IBS	IESS 208
E1	14/11; 14/12	25.0	2.4-3.5	IBS	IESS 208
E2	14/11; 14/12	29.0	3.7-4.5	IDR	
E3	14/11; 14/12	34.0	6.1	IBS, IDR	
F1	6/4	22.7	4.5-6.0	IBS	IESS 207
F2	6/4	27.0	7.0-8.0	IBS, IDR	
F3	6/4	29.0	9.0-10	IBS, IDR	
H2	6/4	15.1	1.5 a 1.8	DAMA	IESS 207
H3	6/4	18.3	2.4 A 2.7	DAMA	
H4	6/4	22.1	3.5 A 4.2	DAMA	
K2	14/11; 14/12	19.8	1.2	VSAT IBS	IESS 208
K3	14/11; 14/12	23.3	1.8	VSAT IBS	
G	6/4C ó 14/11; 14/12	-	Todos los tamaños	Servicios Arrendados*	IESS 601

IDR = Intermediate Data Rate

IBS = Servicios empresariales

DAMA = Acceso Múltiple con Asignación por Demanda

* Los servicios arrendados pueden ser internacional y/o domésticos. No hay definición de G/T, diámetro y servicio para estas aplicaciones.

Tabla 1.1 Síntesis de los estándares de INTELSAT para estaciones terrenas. [4]

1.2.1.2 Sistema de alimentación

Los alimentadores de las estaciones terrenas permiten las siguientes funciones ^[4]:

- a) Modelar el haz de modo de proveer una iluminación uniforme del reflector principal.
- b) Separar las señales de transmisión y recepción con mínimas pérdidas e interferencia.
- c) Convertir de polarización circular a lineal y viceversa para las señales de downlink y uplink en banda-C, cuando polarización circular es empleada.
- d) Producir señales de “error” que representan el grado y dirección que el haz principal está desalineado. Esto no es requerido por antenas que usan sistemas de seguimiento por pasos o antenas muy pequeñas que no necesiten seguimiento.

Los elementos que intervienen en la alimentación de energía a los reflectores son:

- Los radiadores primarios.
- Diplexer (Orthomode Coupler)
- Los transductores de modo ortogonal (OMT Orthomode transducer).
- Los polarizadores.
- Los acopladores de modo de seguimiento (TMC Tracking Mode Coupler).

1.2.1.2.1 Los radiadores primarios

Estos dispositivos realizan el acoplamiento electromagnético con el medio de propagación, de manera que la energía pueda propagarse eficientemente en una dirección. Existen varias formas de bocinas como pueden ser: piramidales, cónicas, de secciones planas E o H.

“Ni las bocinas piramidales, ni las cónicas, tienen una buena simetría axial del ancho del haz, y son deficientes en la reducción de los lóbulos laterales y en el acoplamiento a la polarización cruzada” ^[3].

Existen además otros tipos de alimentadores conocidos como *alimentadores escalares* como son la bocina cónica con ondulaciones y la rectangular escalonada, los cuales operan en modo híbrido en lugar de los modos TE (transversal eléctrico) o TM (transversal magnético). Estos radiadores se ilustran en la Figura 1.7

1.2.1.2.2 El Diplexer (*Orthomode Coupler*)

El diplexer, puede transmitir y recibir señales de manera que puedan coexistir en una misma guía de onda, con una mínima interacción entre las dos. [4]

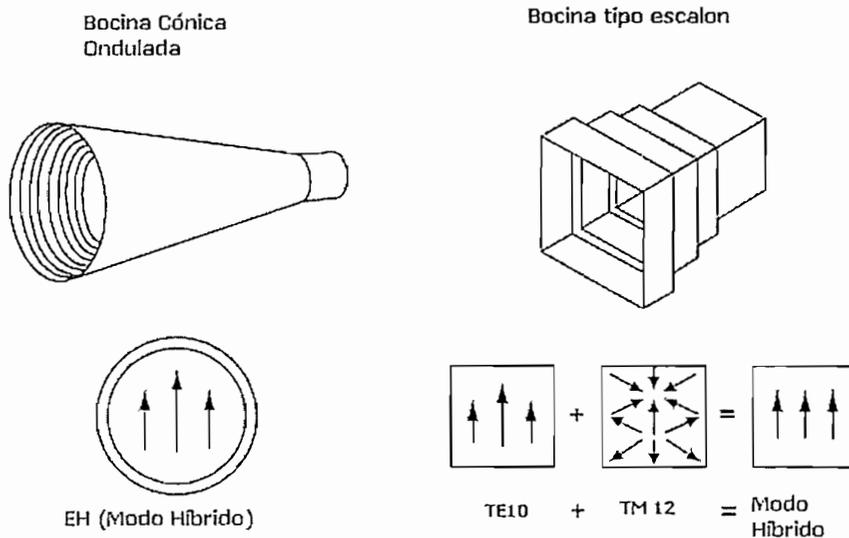


Fig. 1.7 Ejemplos de radiadores primarios. [3]

El diplexer dispone de un plato metálico (septum) el mismo que direcciona la señal recibida hacia el brazo ortogonal. Además para asegurar que la señal transmitida que arriba por el extremo escalonado no interfiera con la señal recibida se usa un filtro pasa bajos ubicado en el puerto de recepción del diplexer. En la figura 1.8 se muestra un diplexer.

Transductor de modo ortogonal (OMT Orthomode Transducer).- Son los encargados de separar las señales polarizadas ortogonalmente.

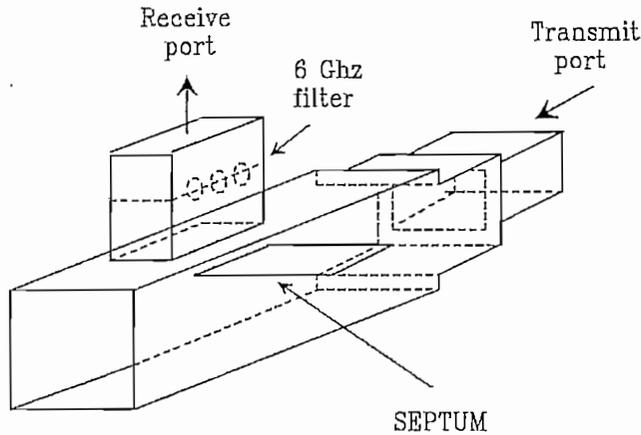


Fig. 1.8 Diplexer [4]

1.2.1.2.3 Polarización

Toda onda electromagnética está polarizada. La polarización hace referencia a la orientación del vector campo eléctrico y es comúnmente referido con respecto a la posición del campo eléctrico como función del tiempo y medido respecto a una posición fija en el espacio. Esta definición es conocida como de “plano fijo”; pero también se puede referir a la posición del campo eléctrico como una función de la posición espacial en un instante fijo, definición conocida como de “tiempo fijo”. La definición de espacio fijo es la más usada. [4].

La definición de “plano fijo” considera una onda viajera respecto a un observador como se muestra en la figura 1.9. La figura ilustra las polarizaciones:

RIGHT-HAND, en la que la punta del vector rota en la dirección de las manecillas del reloj, y LEFT- HAND, la punta del vector rota en el sentido contrario de las manecillas del reloj.

El Polarizador.- Este dispositivo convierte la polarización lineal de la señal a transmitirse (que llega desde el diplexer) en polarización circular, y convierte la señal con polarización circular que llega desde el satélite en polarización lineal, la cual será ortogonal a la señal a transmitirse [4].

Un tipo interesante de polarización es la **polarización elíptica**, la cual ayudará a clarificar ciertos conceptos. En la polarización elíptica, el vector eléctrico gira, pero su magnitud no es constante teniendo una dirección en la que es máxima (E_{max}) y otra en la que es mínima (E_{min}).

El radio axial (axial ratio), r , es la relación del eje mayor al eje menor.

$$r = E_{MAX} / E_{MIN} \quad (1.9)$$

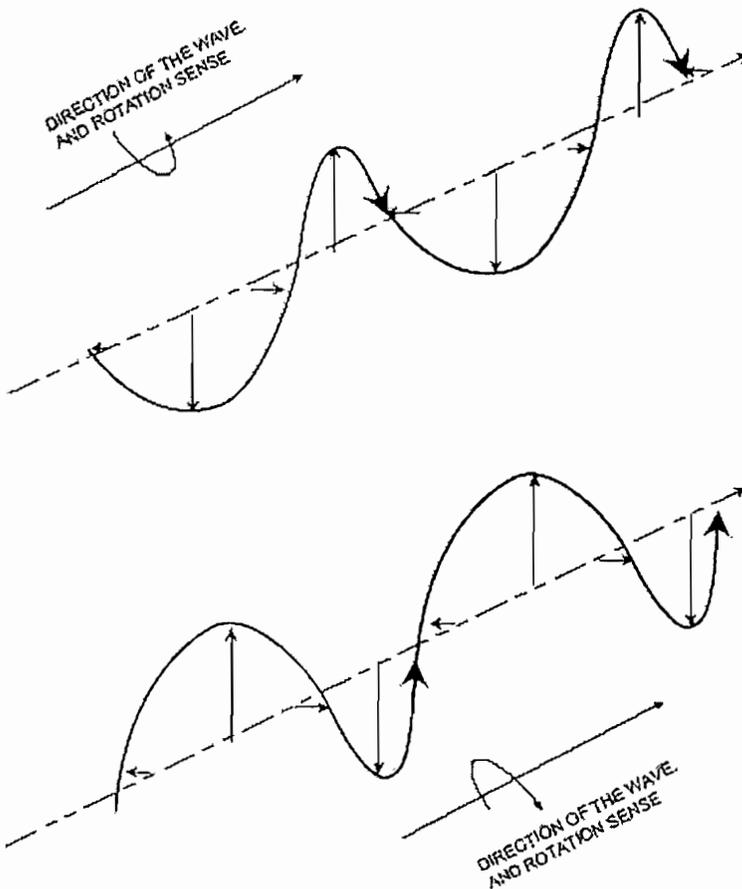


Fig. 1.9 Polarización circular ^[4]

El radio axial en decibelios es:

$$R = 10 \log_{10} r \quad (\text{dB}) \quad (1.10)$$

Se dice que si el radio axial tiene valor “uno” entonces se trata de una polarización circular, y si tiene un valor cercano a infinito, entonces es una polarización lineal.

“En la práctica, cuando el radio axial (R) es menor que unos 3 dB, se considera que la onda tiene polarización circular, y cuando el radio axial (R) es mayor que 20 dB, se considera que la onda tiene polarización lineal” [4].

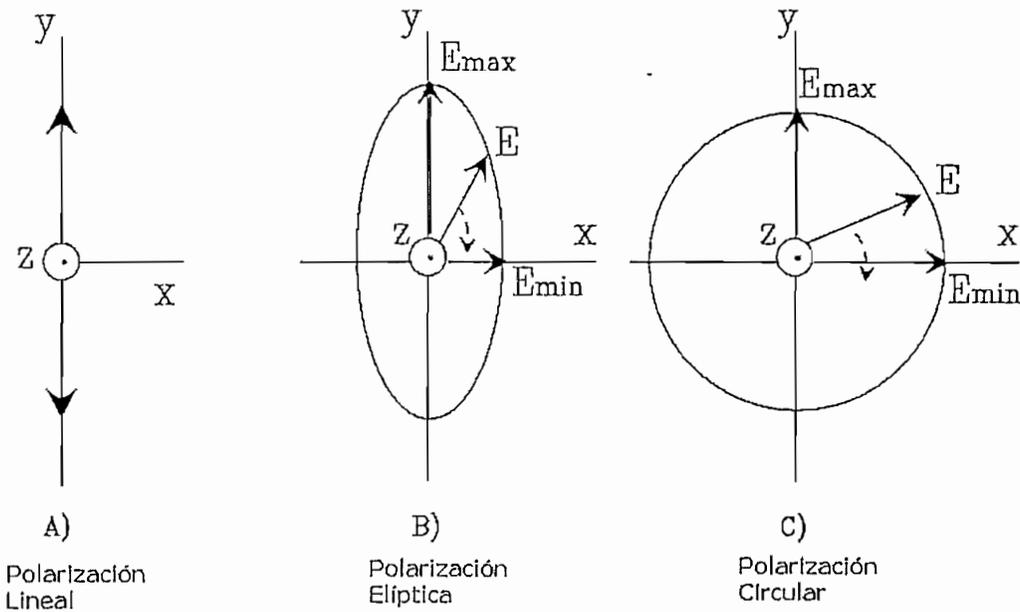


Fig. 1.10 Polarización lineal, elíptica y circular. [3]

La polarización ortogonal es una herramienta utilizada para permitir la reutilización de frecuencias; un aislamiento de polarización en cielo despejado de 27 a 30 dB debe ser mantenido típicamente para asegurar que la interferencia mutua sea despreciable [4].

La discriminación de polarización cruzada entre polarizaciones ortogonales provee el aislamiento necesario para permitir la reutilización de frecuencias y puede ser calculada por [4]:

$$xp = \frac{(r1 + r2)^2 + (1 - r1^2)(1 - r2^2)\cos^2(\theta1 - \theta2)}{(r1 - r2)^2 + (1 - r1^2)(1 - r2^2)\cos^2(\theta1 - \theta2)} \quad (1.11)$$

Donde:

r_1, r_2 = radio axial para las dos polarizaciones

θ_1, θ_2 = ángulo de inclinación de el eje mayor de la elipse relativo a la horizontal

INTELSAT ha establecido algunos valores requeridos de radio axial y discriminación de polarización para las diferentes estaciones terrenas estándares; tal como se muestra en la tabla 1.2

Banda de Frecuencia	Tipo de Polarización	Estándar de Antena	Reutilización De frecuencia	Radio Axial (r en dB)	Discriminación De polarización (dB)
C	Circular	A, B	Sí	1.06	30.7
		F1, F2, F3	Sí	1.09	27.3
		Solo recepción	No	1.40	15.5
		Otro < 4.5 m	Sí	1.30	17.7
	Lineal	A, B, F3	Sí	31.60	30.0
		F1, F2, H	Sí	22.40	27.0
Ku	Lineal	C, E	Sí	31.60	30.0

Tabla 1.2 Características Estándar de estaciones terrenas, para la reutilización de frecuencias [4].

1.2.1.2.4 Los acopladores de modo seguimiento

Envían una señal de error indicando que tan desviado está el haz principal, de modo de proceder a la realineación.

1.2.2 TRANSMISORES Y RECEPTORES

1.2.2.1 Transmisores

En las estaciones terrenas la sección encargada de la transmisión está compuesta básicamente por los convertidores elevadores (upconverters) y por los amplificadores de potencia.

1.2.2.1.1 Los convertidores elevadores

Son los encargados de convertir la señal de información de frecuencia intermedia a una frecuencia superior de modo que se ajuste a alguna de las bandas de frecuencia estandarizadas en enlaces satelitales, garantizando además estabilidad en esa frecuencia.

1.2.2.1.2 Los amplificadores de potencia

Son los encargados de dar la potencia necesaria a la señal de modo que puede llegar hasta el otro extremo del enlace satelital con un nivel de potencia adecuado para su posterior tratamiento.

Existen básicamente tres tipos de amplificadores de potencia:

- Los de estado sólido (SSPA)
- Los tubos de onda progresiva (TOP ó TWTA de sus siglas en inglés).
- Los de tubos Klistron.

Amplificadores de estado sólido

Los amplificadores de estado sólido son los más convenientes y económicos, son muy utilizados en estaciones VSAT ya que tienen mejor linealidad y menor factor de ruido, aunque menos eficientes, además el tiempo medio entre fallas de un transmisor receptor completo a base de SSPA puede ser de 100 000 horas ^[3].

Los amplificadores de estado sólido han ido ganando terreno especialmente en aplicaciones en las que potencias bajas o medias son requeridas, tales como VSATs, y gracias a adelantos se han conseguido potencias de hasta 800 W en banda-C y 400 W en banda-Ku [4].

Actualmente los SSPA pueden reemplazar a los TWTs en estaciones terrenas y en las nuevas generaciones de satélites [4].

Los SSPA poseen las siguientes ventajas sobre los TWTAs:

- Mejor desempeño referente a distorsión por intermodulación.
- Mayor confiabilidad.
- Menores costos de mantenimiento.
- Mayor tiempo de operación.
- Mayor seguridad personal ya que no se necesitan voltajes altos.
- Menor consumo de potencia [4].

La tabla 1.3 muestra las características típicas de algunos SSPA [4].

Banda de Frecuencia	Potencia de salida De saturación nominal		Ganancia dB	Requerimientos de Potencia AC Vatios
	dBm	Vatios		
Banda-C	41	12	53	120
	44	25	53	200
	47	50	62	375
	50	100	62	700
	52	150	62	1100
	53	200	62	1300
	56	400	75	2700

	40	10	50	175
Banda- Ku	46	40	56	500
	49	80	56	950
	50	100	56	950

Tabla 1.3 Características típicas de SSPA [4]

Para minimizar las *intermodulaciones de tercer orden*, las cuales se ubican muy cerca de la frecuencia de la señal deseada y son muy difíciles de eliminar, es conveniente operar los amplificadores en una potencia menor a la “potencia tasada” (rated power) [4].

La “potencia tasada” para el caso de los SSPA es el punto de compresión de 1 dB ó P1 dB. Los SSPA son anunciados por sus fabricantes por la potencia de saturación de salida, la cual es alrededor de 0.7 dB mayor que P1 dB [4].

La figura 1.11 muestra el rango dinámico para operación lineal de un amplificador de potencia. El rango dinámico para operación lineal es el nivel de la señal de salida a la cual la ganancia del amplificador se reduce en un dB [4].

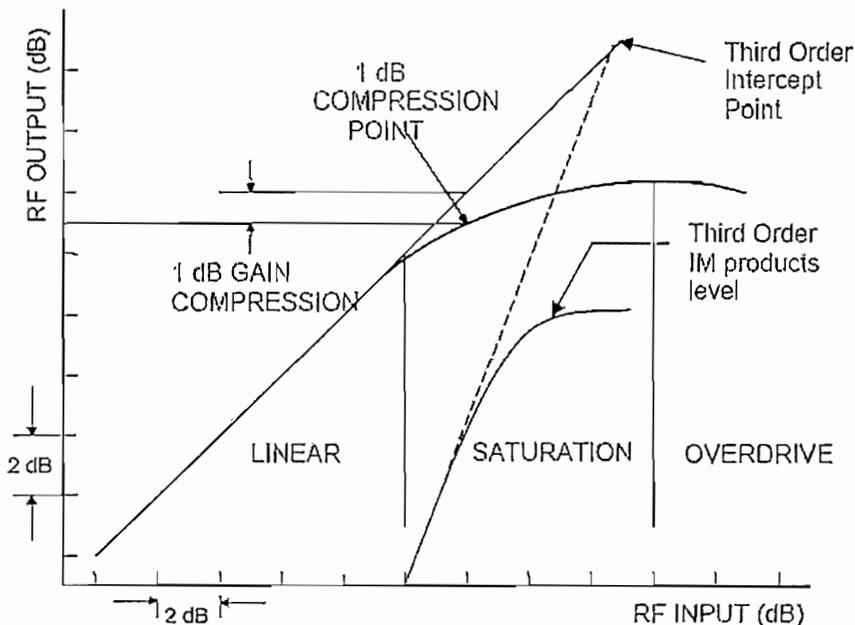


Fig. 1.11 Rango Dinámico de un amplificador [4]

Amplificadores TOP

Los TOP son una variante de los Klistron, poseen potencias de hasta 3kW y anchos de banda de hasta 500 MHz. Estos amplificadores usan diferentes sistemas de enfriamiento de acuerdo a la potencia; así los de más baja potencia emplean enfriamiento por conducción, los de potencias medias ventilación forzada y los de más alta potencia emplean enfriamiento por agua. Los amplificadores TOP poseen ganancias típicas de de 30 a 50 dB en las bandas C, Ku y Ka. [3].

Amplificadores Klistron

Estos amplificadores poseen potencias entre 700 W hasta 3 kW o más, y son usados en aplicaciones cuyo ancho de banda no sea superior al de un transpondedor satelital. Usan ventilación forzada de aire para potencias de hasta 3 kW. Poseen ganancias típicas de 35 a 50 dB en bandas C y Ku. Además una de las ventajas de estos amplificadores respecto de los TOP es su precio mucho más barato [3].

1.2.2.2 Receptores

En las estaciones terrenas, la parte encargada de la recepción está constituida básicamente por: los amplificadores de bajo ruido (LNA), los convertidores reductores y los demoduladores; estos componentes para el caso de estaciones terrenas grandes vienen por separado, cosa que no ocurre en las estaciones VSAT en donde un solo dispositivo hace las veces de convertidor reductor y de amplificador de bajo ruido.

Uno de los parámetros de mayor importancia en la recepción es la relación de ganancia de la antena a la temperatura de ruido del subsistema, referido a la antena G/T. Otro de los parámetros de importancia en la recepción constituye la p.i.r.e del satélite [3].

Entre las características principales de los amplificadores de bajo ruido se pueden mencionar: el ancho de banda, la ganancia, la gama de temperatura, la temperatura de ruido equivalente.

En la actualidad se utilizan mucho los amplificadores FET, los cuales pueden operar en un gran ancho de banda con un bajo nivel de ruido. Estos amplificadores son conocidos como “amplificadores de GaAsFET” [4].

Son muy utilizados los LNB (Low Noise Block Downconverter) en ciertas aplicaciones como recepción de televisión analógica o digital, estos LNB integran un amplificador de bajo ruido y un convertidor reductor en un solo paquete; además abarcan toda la banda, banda que es convertida en su totalidad a banda intermedia y sale por cable coaxial, eliminando la necesidad de guías de onda [3].

1.2.3 CONFIGURACIÓN DE ESTACIONES

La configuración de las estaciones terrenas varía de acuerdo a las aplicaciones que en dicha estación van a funcionar, la cantidad de tráfico inicial y final de acuerdo a la planificación realizada, costo de los equipos, técnica de acceso, topología de red, entre otros factores [3].

Estaciones grandes o telepuertos, estas estaciones manejan gran cantidad de tráfico y muchos servicios tanto de voz, datos y video. La configuración de este tipo de estaciones se muestra en la figura 1.12.

Estaciones pasarela para sistemas de cobertura mundial de órbita media o baja, estas estaciones son muy complejas ya que requieren múltiples antenas debido a que deben seguir simultáneamente a varios satélites. [3]

Estaciones de solo transmisión o de solo recepción, este tipo de estaciones solo requieren de los dispositivos que constituyen la cadena para la función de interés.

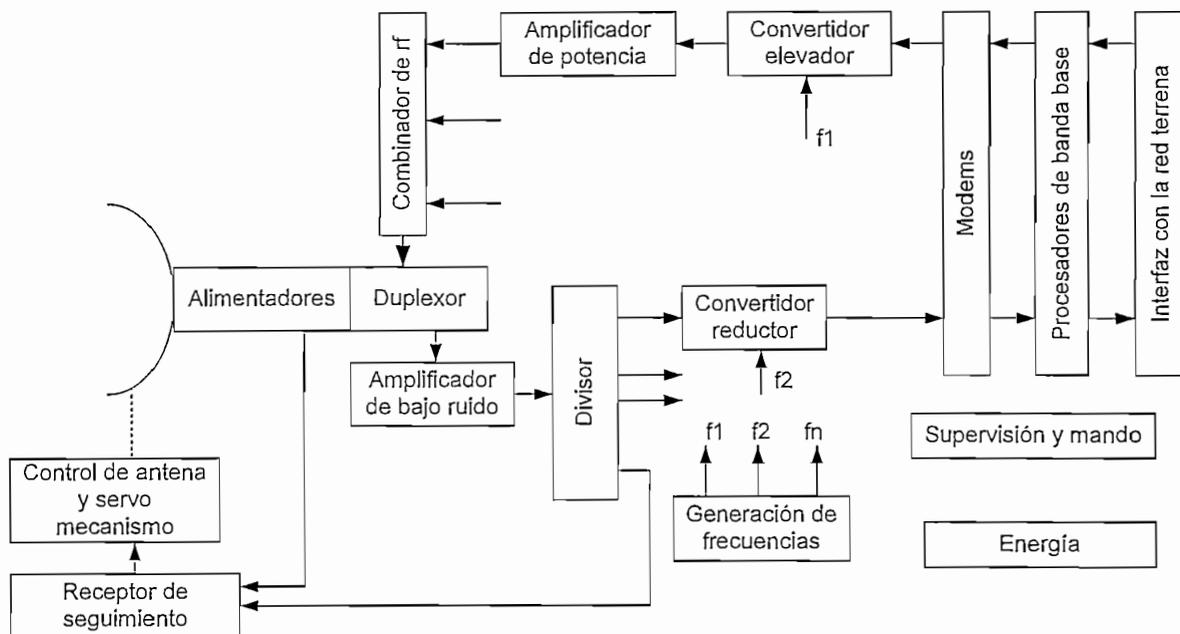
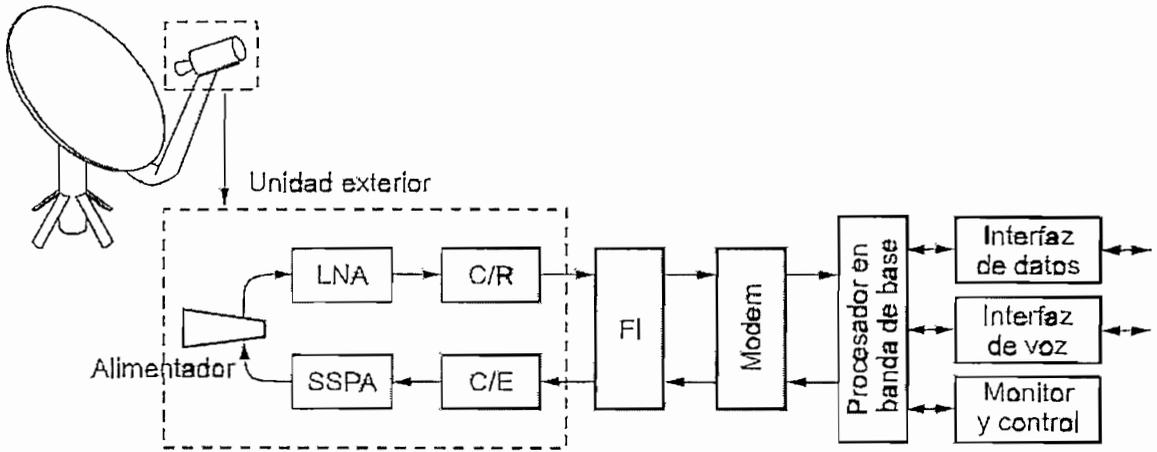


Fig 1.12 Diagrama de bloques de una estación terrena de alta capacidad [3]

Estaciones VSAT estas estaciones pueden funcionar para varias aplicaciones, se caracterizan por los tamaños de reflectores pequeños, usan normalmente los amplificadores de estado sólido, consumen poca energía, lo que implica un bajo costo por estación.

Estas estaciones están constituidas básicamente por dos partes: la unidad exterior y la unidad interior.

La unidad exterior la constituye toda la terminal de radiofrecuencia (RFT) y la unidad interior se encarga del procesamiento de frecuencia intermedia y de banda base.



LNA = Amplificador de bajo ruido, SSPA = amplificador de potencia de estado sólido, C/R = convertidor reductor, C/E = convertidor elevador.

Fig 1.13 Diagrama de configuración funcional típico de una estación VSAT para voz y datos [3]

1.2.3.1 Múltiple acceso

Debido a que los recursos en el satélite son escasos es necesario compartirlos para permitir que mayor cantidad de usuarios puedan acceder a la red. El acceso múltiple puede ser implementado en cualquiera de los tres dominios de la radio frecuencia: tiempo, frecuencia o espacio ó a su vez en dominio de la señal, en el cual cada señal posee un código que la hace única [2].

Dominio	Descripción	Nombre
Tiempo	Las estaciones transmiten a diferentes tiempo.	TDMA
Frecuencia	Cada estación posee una frecuencia diferente para la transmisión	FDMA
Espacio	Se utiliza polarizaciones diferentes, como Son RHCP o LHCP	SDMA
Código	Usa un código que hace a la señal única.	CDMA

Tabla 1.4 Bases de Acceso Múltiple

1.2.3.1.1 Acceso Múltiple por división de tiempo TDMA

Bajo este concepto lo que se hace es realizar un acceso secuencial a los recursos, es decir las estaciones comparten una frecuencia pero transmiten en diferentes tiempos asignados de manera fija o aleatoria.

1.2.3.1.2 Acceso Múltiple por división de frecuencia FDMA

En este caso las estaciones pueden transmitir simultáneamente pero transmiten en diferentes frecuencias. La figura 1.14 muestra los accesos múltiples tanto en el dominio de la frecuencia como en el tiempo.

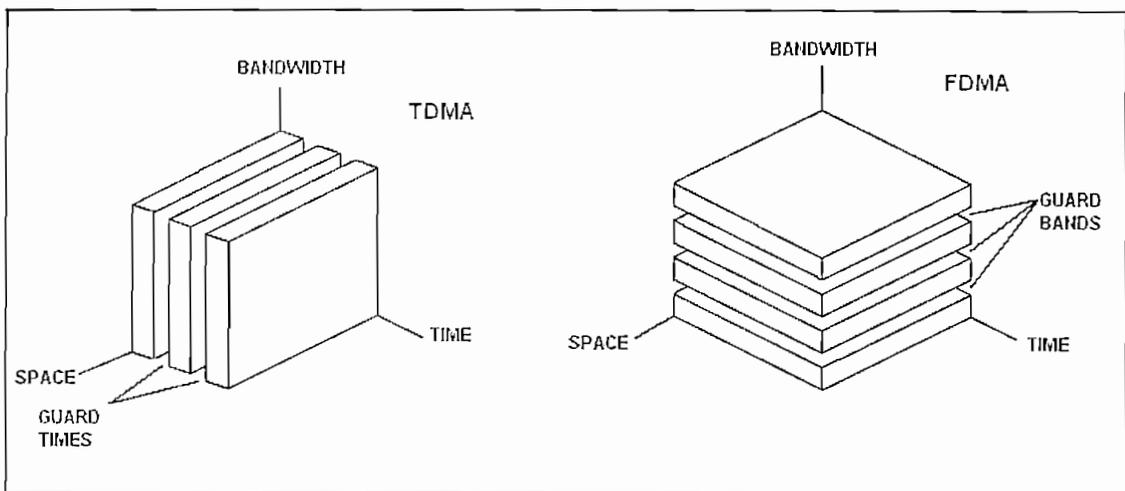


Fig. 1.14 Acceso múltiple en el dominio del tiempo y de la frecuencia [2]

1.2.3.1.3 Acceso múltiple por división en el espacio SDMA

En esta técnica se emplea la reutilización de frecuencia, gracias a la directividad de las antenas de los transpondedores que permiten transmitir y recibir de regiones geográficas separadas, o a su vez se puede hacer uso de dos transpondedores que separan señales polarizadas ortogonalmente [3]. Algunos autores consideran que no sería de mucha utilidad considerar esta forma de operación como acceso múltiple.

1.2.3.1.4 Acceso Múltiple por división de Código CDMA

En este modo de acceso todas las estaciones transmiten simultáneamente usando toda la banda de frecuencia, el acceso al transpondedor no es coordinado es decir todas las estaciones son independientes y las señales son muy resistentes a la interferencia. Pero CDMA tiene ciertos inconvenientes para su aplicación comercial que son: requiere mayor potencia que otros métodos de acceso y los receptores son complejos ^[2].

Existe una variante del CDMA que es el **salto de frecuencia** en el que el total del ancho de banda se divide en porciones más pequeñas. Las estaciones transmiten un determinado tiempo en una frecuencia y luego saltan a otra frecuencia durante otro tiempo. El patrón para el salto de frecuencia se determina por un código binario. ^[1]

Se puede hacer una clasificación coexistente a la anterior, por la forma en la que se les asigna en el tiempo a las estaciones la capacidad de un transpondedor ^[3], así se tiene:

- PAMA
- DAMA
- RMA o RA

1.2.3.1.5 Acceso múltiple con asignación previa o permanente PAMA

A cada estación se le asigna permanente una frecuencia para el caso de FDMA o una ranura de tiempo en TDMA.

1.2.3.1.6 Acceso Múltiple con Asignación por Demanda DAMA

Este método de acceso necesita de una estación central que se encarga de la administración de los recursos, los terminales mandan peticiones a la estación de control la cual responde asignándoles una ranura de tiempo o determinada frecuencia. El ancho de banda es usado eficientemente pero el procesamiento introduce retardos.

1.2.3.1.7 Acceso Múltiple Aleatorio (RMA o RA en inglés)

Las estaciones que desea transmitir escogen aleatoriamente un intervalo de tiempo para transmitir en una portadora, lo cual puede ocasionar colisiones.

1.2.3.2 Topologías de red

La manera en que una estación terrena se comunica con otra depende de la topología de la red, existen básicamente dos topologías de red usados en la transmisión de datos: topología tipo malla y tipo estrella.

En la topología tipo malla cualquier par de estaciones pueden comunicarse entre si sin necesidad de una tercera, mientras que en la topología tipo estrella es necesario una estación central que se encarga de intercomunicar a todas las estaciones.

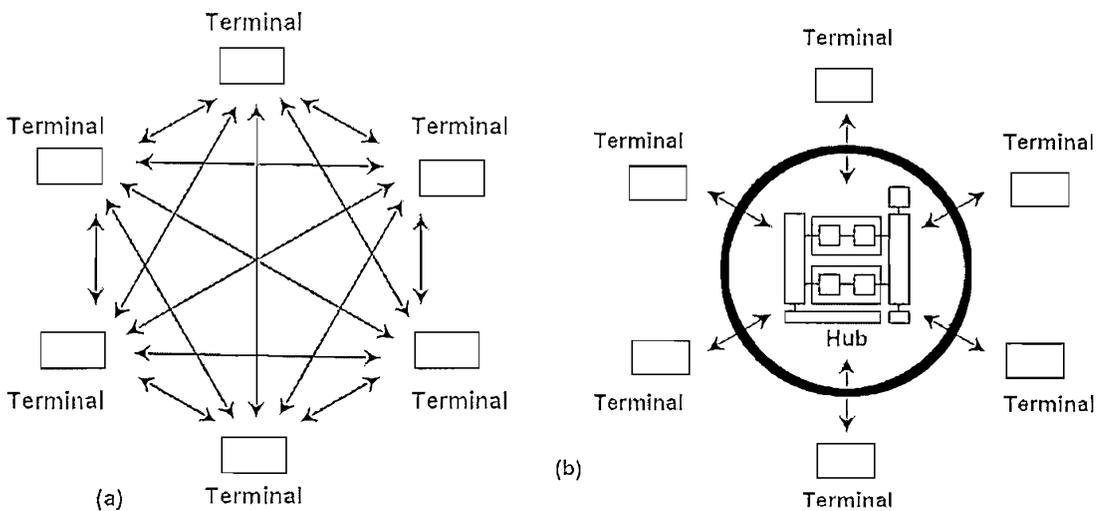


Fig. 1. 15 (a) Topología de red tipo malla (b) topología de red tipo estrella [2]

1.3 PROCESAMIENTO DE SEÑAL

Las fuentes de información son muy variadas, y pueden ser analógicas o digitales; los satélites pueden trabajar tanto con señales analógicas como con señales digitales, en su mayoría son utilizadas las señales digitales ya que se pueden someter a varias transformaciones que hacen más eficiente su transmisión y permiten un menor deterioro de la señal [3].

La información que se desea transmitir por satélite debe pasar por un proceso de transformación de manera que se haga uso eficiente de los recursos disponibles. Entre las transformaciones más comunes se las señales de banda base se encuentran las siguientes [3].

- Adaptación
- Conversión analógica-digital.
- Codificación de canal
- Cifrado
- Compresión digital
- Multiplaje

La cadena de transformación de las señales depende de la naturaleza de las señales, es decir si son señales analógicas o digitales; en lo posterior este trabajo hará énfasis en el tratamiento de señales digitales debido a su gran uso en los sistemas satelitales.

1.3.1 ADAPTACIÓN

El proceso de adaptación de la señal se hace usualmente a través del uso de filtros de modo de dejar pasar únicamente aquellas componentes de frecuencia de interés para el sistema, con esto se evita el uso de un ancho de banda innecesario. “Los equipos de las estaciones terrenas que operan con señales digitales generalmente cuentan con filtros con anchura de banda 20% mayor que la mínima indispensable” [3].

Para filtrar las señales digitales generalmente se usa filtros cuya curva de atenuación de la amplitud en función de la frecuencia se modela con una función coseno elevado con lo que se disminuye los efectos de la *interferencia entre símbolos* [3].

Otras formas de adaptación pueden ser: la preacentuación o preénfasis, o también la compensación silábica canal por canal.

1.3.2 CONVERSIÓN ANALÓGICO-DIGITAL

Por este proceso, como su nombre lo indica, se transforman las señales analógicas en digitales a través de algunos métodos como son:

- Modulación de impulsos codificados (MIC ó PCM en inglés)
- Modulación delta
- Modulación por impulsos codificados diferencial adaptativa.

El uso de uno u otro método variará de acuerdo a la aplicación que de interés.

La ventaja de las señales digitales sobre las analógicas consiste en que, al manejar valores fijos de amplitud, pueden regenerarse con fidelidad luego de haber sido degradados con niveles moderados de ruido [3].

1.3.3 MULTIPLAJE

Consiste en combinar varias señales de diferentes fuentes en una sola para luego transmitirla, lo cual se usa en la transmisión de *múltiples canales por portadora* MCPC.

Una de las técnicas de multiplexaje utilizadas ampliamente es la multiplexación por división de tiempo, para esta técnica existen jerarquías que se ajustan a recomendaciones internacionales, es así que existe la jerarquía europea o CEPT en la cual se habla de E1, E2 o E3 en los diferentes ordenes de esta jerarquía; el normativo americano o NAS en cambio da las designaciones DS1, DS2, DS3 y DS4 para sus diferentes órdenes o niveles.

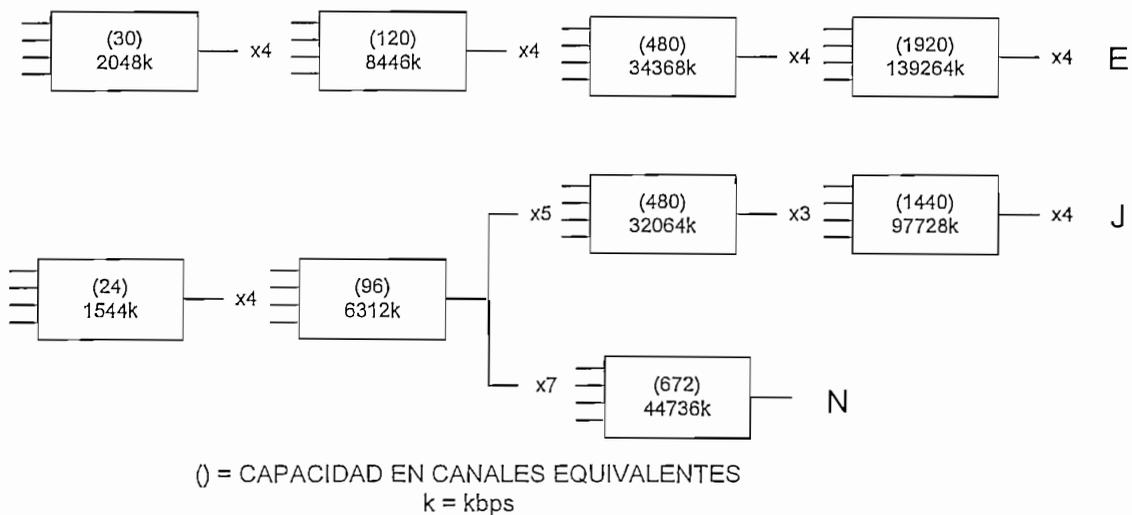


Fig. 1.16 “Jerarquías recomendadas por la UIT para el multiplexaje por división de tiempo de canales telefónicos. Cada una de ellas se emplea principalmente en Europa (E), Japón (J), y Estados Unidos de América y Canadá (N). Los dos primeros tienen otro posible paso de multiplexaje que no se muestra” [3]

Al realizar la multiplexación en tiempo, es fundamental considerar una buena sincronización, de modo que en el receptor se puedan separar las diferentes señales; también es de considerar el apareamiento del *jitter*, el cual es el desplazamiento oscilante de la posición en el tiempo de los bits, existiendo límites dentro de los cuales se lo puede aceptar, además de circuitos especiales para reducirlo.

1.3.4 MODULACIÓN

La modulación consiste en variar la amplitud, la frecuencia, fase o una combinación de estos parámetros en una onda portadora, de acuerdo a la señal de información.

Existen varios tipos de modulaciones entre los que podemos señalar:

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

Los dos primeros tipos de modulaciones no son muy utilizados en sistemas satelitales, por ejemplo las señales moduladas en amplitud son muy susceptibles a la intermodulación, al ruido y a la interferencia, requiriendo mayor potencia en sistemas satelitales; mientras que la modulación en frecuencia que era utilizada para televisión está siendo reemplazada por la adopción de la digitalización en conjunto con métodos de compresión [3].

Mientras que la modulación por desplazamiento de fase (MDPH) es usada ampliamente en sistemas satelitales es por ello que se dedicará mayor atención a este tipo de modulación.

1.3.4.1 Modulación por desplazamiento de fase (MDPH ó PSK en inglés)

Este tipo de modulación es muy usado en comunicaciones satelitales ya que permite utilizar un menor ancho de banda.

En este tipo de modulación lo que se hace es ir variando la fase de la portadora de acuerdo con la señal digital de entrada, existen varias modalidades de esta modulación, por ejemplo BPSK (bifásica), QPSK (cuadrafásica) o M-PSK.

En la figura se muestra un ejemplo de modulación bifásica en la cual se varía 180° en la fase de la portadora para discriminar entre un 0 y un 1 binario. Para el caso de QPSK las

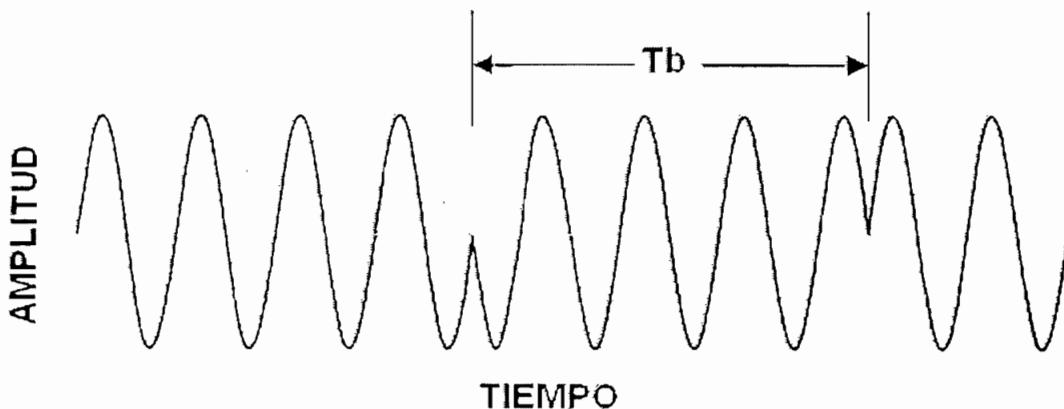


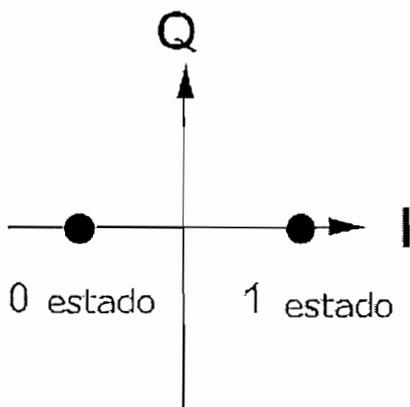
Fig. 1.17 Forma de onda ideal de una portadora modulada por desplazamiento de fase bifásica, mostrando dos cambios de fase de π radianes y el período T_b de la velocidad binaria. [3]

Un modo común de representar la modulación por desplazamiento de fase es a través de la representación vectorial, en dicha representación se hace visible el desplazamiento relativo de cada una de las fases. En dichas representaciones se hacen visibles las componentes coseno y la seno ó I (en fase) y Q (en cuadratura), componentes que multiplicadas por una constante y sumadas entre si dan las diferentes fases de la señal portadora. Tal como se ilustra en la figura que sigue.

Para transmitir las señales es necesario filtrarlas de modo que ocupen el mínimo ancho de banda requerido, pero debido a las características de los filtros usados en sistemas satelitales se debe considerar un ancho de banda 20% mayor ^[3], es decir:

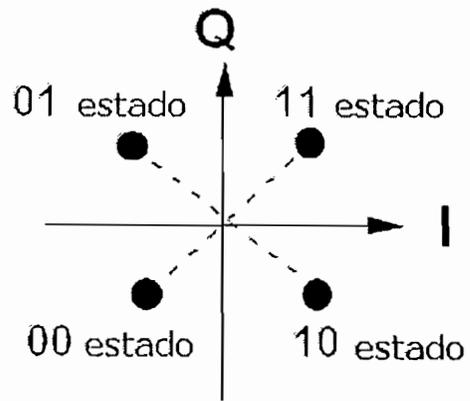
$$B = 1.2R_s = 1.2 \frac{R_b}{nb} \tag{1.12}$$

- Donde B es la anchura de banda del filtro de radiofrecuencia en Hz,
- R_s es la tasa de símbolos/s y
- nb es el número de bits/símbolo
- R_b velocidad binaria bits/s



Fases separadas por 180°

(a)



Fases de la portadora:
 $\pi/4, 3\pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4$

(b)

Fig 1. 18 Representación vectorial de dos esquemas de modulación PSK (a) BPSK y (b) QPSK

Por ejemplo para una determinada velocidad binaria R_b bits/s el ancho banda necesario para BPSK sería $1.2 \cdot R_b$ (Hz) ya que R_b es igual a R_s en este esquema de modulación, mientras que usando QPSK el ancho de banda requerido sería $0.6 \cdot R_b$ (Hz).

En la ecuación 1.12 no se considera la relación de codificación del canal para corrección de errores, para considerarlo se tendría que dividir la velocidad binaria para la relación de codificación.

1.3.4.2 Modulación de amplitud en cuadratura (QAM quadrature amplitude modulation)

Este tipo de modulación es en cierto modo similar al anterior, pero se pueden diferenciar los estados de modulación no únicamente por la fase sino también por la amplitud. En el diagrama de constelación PSK tiene menor separación entre los puntos y mayor probabilidad de error ^[6]. En este tipo de modulación se pueden tener varios esquemas como por ejemplo: 8-QAM, 16-QAM.

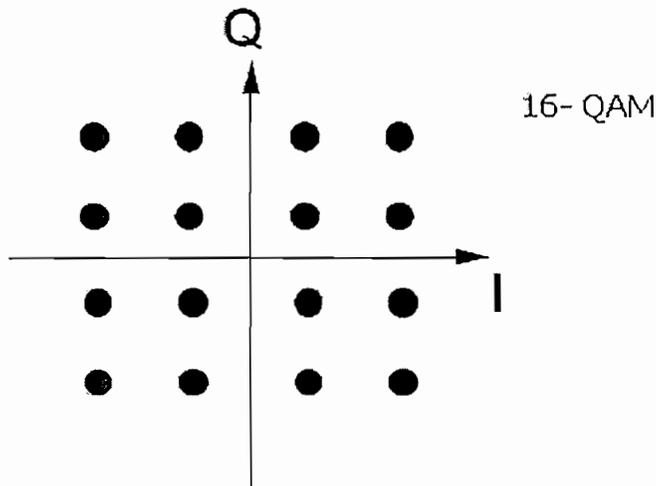


Fig. 1.19 Representación vectorial de 16-QAM

1.3.5 CODIFICACIÓN DEL CANAL

En comunicaciones satelitales como en cualquier comunicación es necesario reducir a valores mínimos aceptables la probabilidad de bits erróneos en la recepción, para ello se puede recurrir a aumentar la potencia recibida de la portadora para aumentar la relación señal a ruido, ya sea aumentando la potencia de transmisión o aumentando la ganancia de las antenas, lo cual implica un aumento en los costos de los equipos o aumento en consumo de energía.

Otro método alternativo al descrito anteriormente consiste en utilizar métodos de detección y corrección de errores, lo cual implica una mayor complejidad en el procesamiento de señal además de aumentar bits de control que permitan en el receptor realizar la detección y corrección de errores, a costa de un aumento en el ancho de banda.

Existen básicamente dos clases de control de errores:

- Petición automática de repetición en caso de detección de errores o ARQ (Automatic Repeat reQuest).
- Corrección de errores en el destino o FEC (Forward Error Correction).

1.3.5.1 Automatic Repeat reQuest (ARQ)

Para el caso de ARQ es necesario que exista un canal de retorno en la comunicación, a través del cual se realizan las peticiones de repetición, además de una memoria que almacene la información que no ha recibido confirmación de recepción, de manera que se puede retransmitirla de ser necesario. Se pueden emplear varios métodos para detección de errores como son: verificación de paridad, violación de código y la verificación cíclica de la redundancia.

El caso de ARQ es útil únicamente para comunicaciones en sistemas geoestacionarios a bajas velocidades binarias ^[3], ya que de usar mayores velocidades y debido al gran retardo serían necesarias memorias muy grandes.

1.3.5.2 Forward Error Correction (FEC)

La codificación FEC permite corregir una limitada cantidad de errores en el destino sin necesidad de retransmisión y ampliamente usados en comunicaciones satelitales.

Existen fundamentalmente dos variantes de estos códigos, las cuales son:

- Los códigos de bloque y
- Los códigos de desarrollo continuo o convolucionales.

Para los códigos FEC en general se tiene la *relación de código* (r), la cual es la relación entre el número k de bits de información de una palabra de mensaje o paquete y el número n total de bits transmitidos.

$$r = \frac{k}{n} < 1 \quad (1.13)$$

Por el hecho de aumentar bits a los de información, se tiene un aumento en el ancho de banda. Es así que si la velocidad binaria de información R_b , pasa por un proceso de codificación en el que se le aumentan bits resulta en una velocidad binaria después de la codificación $R_c = R_b/r$. teniendo en cuenta estas consideraciones, la Ecuación 1.12 quedaría:

$$B = 1.2 \frac{R_b}{nb * r} = 1.2 \frac{R_c}{nb} \quad (1.14)$$

En los códigos de bloque, la información se divide en grupos de k bits que pasan a ser palabras código de n bits, por lo que estos códigos se caracterizan por los parámetros (n,k) . Mientras que para los códigos de desarrollo continuo o convolucionales el flujo de información también se divide en bloques, pero estos bloques son más cortos y la codificación del bloque actual depende del contenido de los anteriores. Es así que los códigos convolucionales quedan caracterizados por los parámetros (n, k, m) en donde m es el número de bloques anteriores de los cuales depende la codificación de la palabra actual.

Por ejemplo un código (2, 1, 3) por cada bit de entrada el codificador produce 2 bits, cuya combinación no solo depende de este sino de los tres bloques anteriores [3].

El objetivo al usar los códigos FEC es obtener un valor adecuado de P_e (probabilidad de error) acorde a la aplicación de interés, para lo cual se requiere un valor específico de E_b/N_0 (relación de energía de bit a potencia de ruido normalizada) sin aumentar significativamente los costos de las estaciones terrenas evitando aumentar potencia o ganancia de las antenas por ejemplo. “Para obtener un determinado valor de P_e se requiere un valor específico de E_b/N_0 si no se aplica codificación de canal, y otro valor si se aplica. La diferencia entre los dos valores es la ganancia de decodificación” [3].

Los códigos de bloques son buenos para detección de errores, pero generalmente proporcionan bajas ganancias de codificación cuando se los usa para corrección errores, mientras que los códigos convolucionales tienen altas ganancias de codificación pero son malos para detección de errores. Por las características de estos códigos se usan también códigos híbridos o en cascada comenzando por un código de bloques para pasar posteriormente a un codificador convolucional.

1.3.6 COMPRESIÓN DIGITAL

En lo que a digitalización se refiere es de gran interés el uso de técnicas de compresión de modo de reducir el ancho de banda necesario para una señal, con lo que se puede ocupar eficientemente el ancho de banda limitado de los satélites. Estas técnicas de compresión son de gran interés en aplicaciones como videoconferencia o difusión de televisión satelital. Para esta última aplicación se tiene el apoyo del normativo MPEG.

1.3.7 CIFRADO O ENCRIPCIÓN

Debido a la natural ventaja de los satélites para aplicaciones de difusión, es necesario considerar la seguridad, pues estaciones terrenas que se encuentren dentro de la zona de cobertura de un satélite podrían con los decodificadores adecuados recibir señales que no están autorizados a recibir.

Es por ello que se hace uso de algoritmos de transformación a las señales originales antes de pasarlas a las etapas de codificación de canal, de manera de encriptar la información asegurando hasta cierto nivel la privacidad.

1.4 DISEÑO DE ESTACIONES TERRENAS

Al realizar el diseño de estaciones terrenas que van a formar parte de un sistema satelital es necesario considerar dos etapas ^[4]:

- El presupuesto del enlace o diseño del enlace.
- El diseño del sistema de transmisión

En el diseño del enlace se establecen los recursos necesarios para un servicio cualesquiera, de modo de conseguir el desempeño deseado. Mientras que en el diseño del sistema de transmisión se consideran las características de los equipos como: reflectores, BUC o LNB considerando además precios adecuados.

Al final lo que interesa al realizar el diseño de un enlace desde el punto de vista técnico es que: en la estación receptora se tenga un valor adecuado del parámetro C/N (nivel de potencia recibido de la señal de información sobre el nivel de potencia de ruido introducido en el trayecto) o a su vez del parámetro E_b/N_0 para señales digitales (energía de bit de información transmitido entre la densidad de ruido), este último parámetro fija un valor de probabilidad de bits errados (PBE).

Ya que no es posible tener el valor óptimo de E_b/N_0 el 100% del tiempo se hace necesario mencionar la *disponibilidad*, valor que representa “la suma anual media que se considera suficiente disponer potencialmente de intervalos de tiempo acumulados de comunicaciones satisfactorias en una red específica, respecto del total”

De lo mencionado anteriormente se desprende que los objetivos de desempeño en los enlaces satelitales son:

- El BER (bit error rate) para condiciones normales.
- La disponibilidad del enlace.

1.4.1 PRESUPUESTO DEL ENLACE

En la figura 1.20 se muestra un enlace satelital típico (estación terrena – satélite - estación terrena).

En adelante se procederá a describir los parámetros que se deben considerar al realizar un presupuesto de enlace.

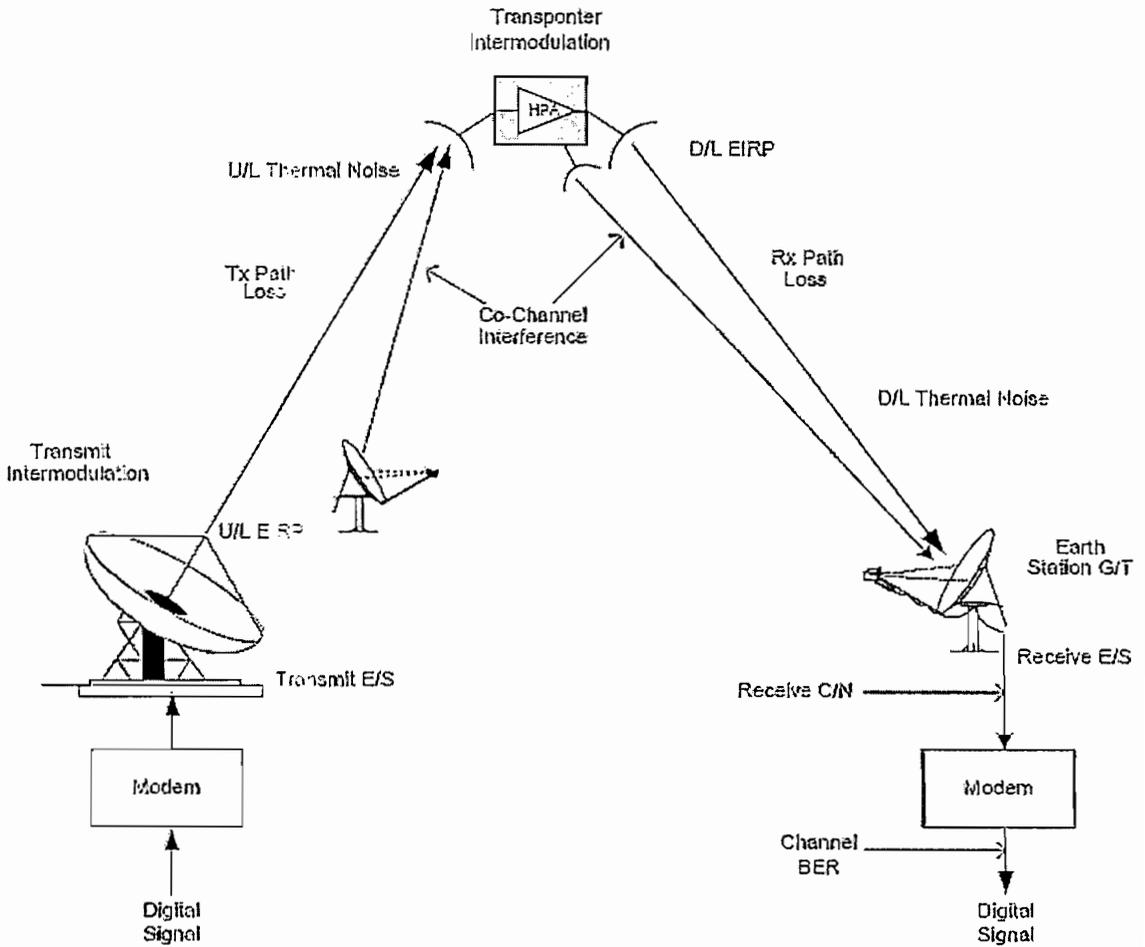


Fig. 1.20 Enlace satelital típico [4]

1.4.1.1 Relación Portadora a Ruido (C/N)

“La relación básica señal a ruido establece el desempeño de la transmisión de la porción de radio frecuencia del sistema y está definido por el nivel de potencia de la portadora recibida comparado con el ruido a la entrada del receptor. ” [4]

Por ejemplo, para el caso del enlace descendente (D/L downlink), es decir satélite - estación receptora, se tiene:

$$C/N = C - 10 \log(kTB) \quad (1.15)$$

Donde:

C = potencia recibida en dBW.

k = Constante de Boltzman $1.38 \cdot 10^{-23}$ (joules por grado Kelvin)

B = Ancho de banda del ruido (ó Ancho de banda ocupado) en Hz

T = temperatura absoluta del sistema de recepción en °K.

El valor que tenga C/N afecta directamente a la tasa de bits errados (BER) que se tenga en el punto de recepción, lo cual afecta directamente a la calidad de servicio.

El siguiente cuadro esquematiza los parámetros que influyen en el nivel de potencia recibida tanto de la portadora (C de carrier en inglés) como del ruido (N noise en inglés).

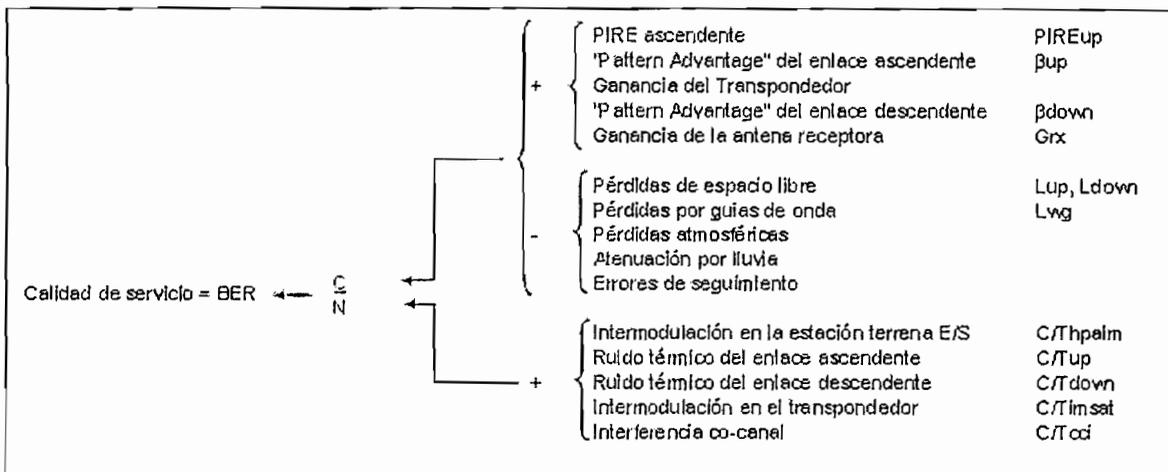


Fig 1.21 Parámetros que afectan la calidad de servicio [4]

Posteriormente se tratará con mayor profundidad esta relación portadora a ruido.

1.4.1.2 Ecuación del enlace

La ecuación del enlace en su forma general está dada por:

$$\frac{C}{N} = PIRE - L + G - 10 \log(kTB) \quad (1.16)$$

Donde:

PIRE = Potencia radiada isotrópicamente equivalente (dBW)

L = Pérdidas de transmisión (dB).

G = Ganancia de la antena receptora (dB).

En la ecuación anterior el último término es la potencia de ruido del sistema receptor.

1.4.1.3 Potencia Radiada Isotrópica Equivalente (PIRE ó EIRP en inglés)

Debido a la ganancia de las antenas parabólicas se tiene una potencia radiada isotrópicamente equivalente por una antena que es igual a la suma de potencia alimentada a la antena con la ganancia de la antena en (dBi) tal como se muestra en la ecuación 1.17

$$PIRE_{dBW} = 10 \log P_T_{dBW} + G_T_{dBi} \quad (1.17)$$

Donde:

P_T = Potencia de entrada a la antena en Watts.

G_T = Ganancia de la antena transmisora en dBi

1.4.1.4 Ganancia de la antena

Tal como se describió en 1.2.1.1.2 se tiene que la ganancia de una antena parabólica está dada por:

$$G_{dBi} = 10 \log \eta + 20 \log f + 20 \log d + 20.4 \text{ dB} \quad (1.18)$$

Donde:

η = Eficiencia de la antena. Valores entre 0.55 y 0.75 [4]

d = diámetro de la antena en metros

f = frecuencia de operación en GHz

20.4 dB = Constante resultado de $10 \log(1 * 10^9 * \pi / c)$

1.4.1.5 Pérdidas de transmisión

Las pérdidas de transmisión son de cuatro tipos, tal como se muestran en la siguiente ecuación [4]:

$$L = L_o + L_{atm} + L_{rain} + L_{track} \quad (1.19)$$

Donde:

L_o = Pérdidas de espacio libre

L_{atm} = Pérdidas atmosféricas.

L_{rain} = Atenuación debida a efectos de la lluvia.

L_{track} = pérdidas debidas a errores de seguimiento.

1.4.1.5.1 Pérdidas de espacio libre.

Para el caso de un radiador isotrópico (radia en todas las direcciones) que emite una potencia P_t que fluye a través de una esfera de área $A=4\pi d^2$ (siendo d la distancia entre el radiador y el punto de recepción), se tiene una densidad de flujo de potencia $P_t/4\pi d^2$ o potencia por unidad de área, la cual disminuye con el cuadrado de la distancia.

En el lado del receptor la potencia que se capta es una fracción de la potencia total radiada; que se corresponde con la fracción de la superficie de la esfera descrita por d que es interceptada por la antena receptora.

$$P_r = P_t \frac{A_e}{4\pi d^2} \quad (1.20)$$

Donde:

P_r = Potencia recibida.

$A_e = A_i * \eta$ = área efectiva o apertura efectiva

A_i = Área de intercepción equipase.

η = Factor de eficiencia.

Como las antenas poseen ganancias: G_t para la antena transmisora y G_r para la antena receptora; y además el Área efectiva de la antena A_e puede expresarse en función de la ganancia, el nivel de potencia en recepción sería:

$$P_r = C = \frac{G_t * P_t}{4\pi d^2} * A_e = \frac{pire}{4\pi d^2} * \left(\frac{G_r * \lambda^2}{4\pi} \right) \quad (1.21)$$

De la ecuación anterior, se conoce como *pérdidas de espacio libre* (L_o) a la expresión:

$$L_o = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (1.22)$$

O expresada en decibelios:

$$L_o = 20\log(D) + 20\log(f) + 92.5 \text{ dB} \quad (1.23)$$

Donde:

D = distancia en km entre el transmisor y el receptor (slant range).

f = Frecuencia en GHz

$92.5 \text{ dB} = 20\log[(4\pi * 10^9 * 10^3)/c]$

C = velocidad de la luz = $3 * 10^8 \text{ m/s}$

Para calcular la distancia entre el transmisor y el receptor (estación terrena – satélite) se puede usar la siguiente ecuación [3]:

$$D = 35787 (1.42 - 0.42 \cos\phi * \cos\Lambda)^{1/2} \quad (1.24)$$

Donde:

φ = Latitud de la estación terrena.

Λ = diferencia entre la longitud del satélite y de la estación terrena.

1.4.1.5.2 Pérdidas atmosféricas

Las pérdidas atmosféricas se pueden deber a absorción de ciertos gases como el oxígeno y el vapor de agua. Otros factores que pueden influir en las pérdidas atmosféricas son: la frecuencia, el ángulo de elevación, la altura sobre el nivel del mar y la humedad absoluta. Para frecuencias menores de 10 GHz el efecto de la absorción atmosférica puede ser omitido ^[4] pudiendo alcanzar valores menores de 0.5 dB hasta 15 GHz ^[3]. La tabla siguiente muestra algunos valores de pérdidas atmosféricas para un ángulo de elevación de 10 grados.

Pérdidas atmosféricas (dB)	Frecuencia (f) en GHz
0.25	$2 < f < 5$
0.33	$5 < f < 10$
0.53	$10 < f < 13$
0.73	$f > 13$

Tabla 1.5 Ejemplo de atenuación atmosférica ^[4]

1.4.1.5.3 Efectos de la lluvia

La atenuación por lluvia se incrementa con la frecuencia, por consiguiente es peor para la banda Ku que para la banda C ^[4]. La predicción de la atenuación por lluvia es un proceso estadístico. Es de resaltar que una adecuada predicción de la atenuación por lluvia es requerida para determinar la disponibilidad del enlace y establecer los márgenes apropiados de seguridad para el enlace.

La lluvia, además de causar los efectos de atenuación, ocasiona otros tales como: aumento en la temperatura de ruido de las antenas receptoras y hace girar en cierta medida la polarización de las ondas, ocasionando interferencia en la polarización cruzada por transpolarización ^[3].

1.4.1.5.4 Pérdidas por seguimiento

Lo situación ideal en un enlace es que la antenas de transmisión en tierra esté alineada para máxima ganancia, pero la experiencia ha mostrado que existe un pequeño grado de desalineación causando disminución en la ganancia en unas décimas de dB [4]. Estas pérdidas deben ser consideradas tanto para el enlace ascendente (U/L) como para el enlace descendente (D/L).

La tablas 1.6 y 1.7 muestran valores típicos de pérdidas por seguimiento. Además INTELSAT recomienda que para antenas de mayor tamaño siempre se usen sistemas de seguimiento.

Tabla 1. 6 Características de desempeño de estaciones terrenas (Banda- C, eficiencia de la antena 70%) [4].

Díámetro de la Antena (m)	Ganancia de Transmisión 6 GHz (dB)	Ganancia de Recepción 4 GHz (dB)	Pérdidas En enlace Ascendente (dB)	Pérdidas En enlace Descendente (dB)	Pérdidas Seguimiento (Tracking)
1.2	35.6	32.1	0	0	Fijo (fixed)
1.8	39.2	35.6	0	0	Fijo
2.4	41.7	38.1	0.4	0.2	Fijo
3.6	45.6	42.1	0.7	0.4	Fijo
7	51	47.4	0.9	0.9	Manual*
11	54.9	51.4	0.5	0.5	Seguimiento por pasos.

* Seguimiento manual requiere ajuste manual de los ángulos de apuntamiento.

Es de señalar que es necesario evitar oscilaciones en las antenas de las estaciones terrenas que pueden ser ocasionadas por el viento para impedir variaciones de potencia en la recepción.

Tabla 1.7 Características de desempeño de estaciones terrenas (Banda – Ku, eficiencia de la antena 60%) ^[4]

Dímetro de la Antena (m)	Ganancia de Transmisión (dB)	Ganancia de Recepción (dB)	Pérdidas En enlace Ascendente (dB)	Pérdidas En enlace Descendente (dB)	Pérdidas Seguimiento (Tracking)
1.2	42.6	40.5	0.4	0.2	Fijo
1.8	46.1	44	0.7	0.5	Fijo
2.4	48.7	46.6	1.1	0.8	Fijo
3.7	52.5	50.3	1.2	0.9	Manual*
5.6	56.1	53.9	0.8	0.7	Manual*
7	58	55.8	0.5	0.5	Seguimiento por pasos.
8	59.2	57	0.5	0.5	Seguimiento por pasos.

* Seguimiento manual requiere ajuste semanal de los ángulos de apuntamiento.

1.4.1.6 Pattern Advantage

El molde de la antena del satélite tiene un borde del haz (Figura 1.22), respecto del cual los valores de PIRE, G/T y densidad de flujo están referenciados; estos factores de corrección se denomina *factores-beta*; un factor beta está definido como la diferencia entre el valor de ganancia en el borde del haz (beam edge) y la ganancia en la estación terrena.

1.4.1.7 Temperatura de Ruido del Sistema

Cuando una onda recorre una determinada trayectoria se puede introducir ruido o pérdidas en los elementos que están involucrados en ese enlace, los cuales modifican la temperatura de ruido aparente que refleja todo el conjunto en un punto como *temperatura de ruido del sistema*. ^[3]

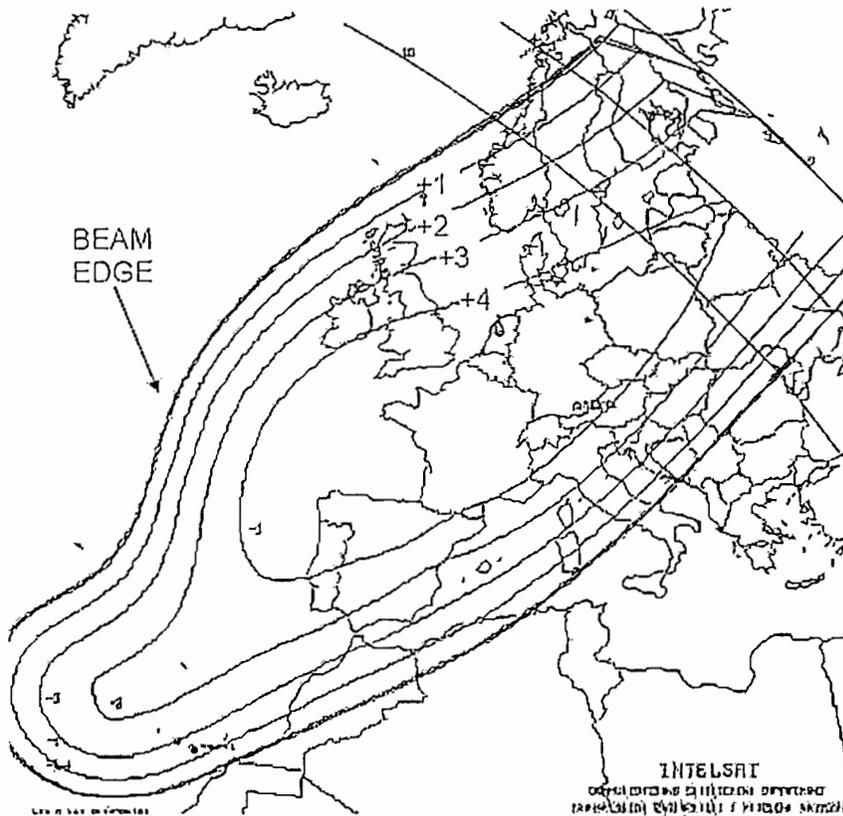


Fig.1.22 Ejemplo de Pattern Advantage. [4]

La temperatura de ruido de una estación terrena se debe básicamente a la temperatura de ruido del receptor, a la temperatura de ruido de la antena, incluyendo el sistema de alimentación con las guías de onda además del ruido recogido por la antena desde el espacio. [4]

Es así que se tiene que la temperatura equivalente del sistema se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$T_{sistema} = \frac{T_{ant}}{L} + \left(1 - \frac{1}{L}\right)T_o + T_e \quad (1.25)$$

Donde:

T_{ant} = temperatura de ruido de la antena (dato proporcionado por el fabricante)

L = Pérdidas de alimentación en valor numérico.

T_0 = Temperatura estándar de 290°K (temperatura física de referencia de la tierra)

T_e = Temperatura de ruido equivalente del receptor (Ej. Temperatura del LNB)

La ecuación anterior está referida a la entrada del amplificador, pero también se la puede referir a la antena, para lo cual se la tendría que multiplicar por l , como se aprecia en la siguiente figura.

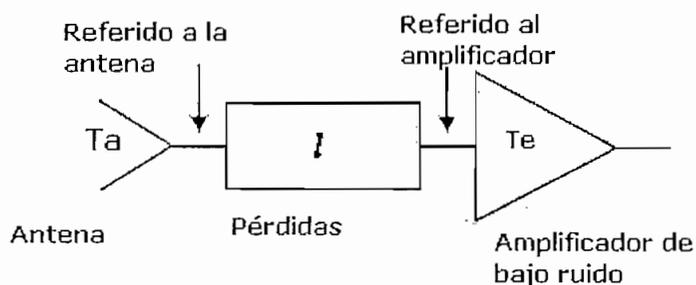


Fig.1.23 Tres elementos básicos de una cadena de recepción ^[3]

Es de notar que la ecuación 1.25 es aplicable tanto para estaciones terrenas como para aquellos receptores que se encuentran en los satélites, con ciertas diferencias debido a las características propias de cada tipo de receptor.

1.4.1.7.1 Temperatura de ruido de la antena

La temperatura de ruido de la antena es una función compleja que depende del patrón de radiación de la antena, la temperatura equivalente de ruido de la atmósfera, la temperatura de ruido del sol, el ángulo de elevación de la antena, entre otros. Para conocer el valor de cada antena es recomendable recurrir a los datos proporcionados por el fabricante.

En la figura 1.24 se muestra la variación de la temperatura de ruido de una antena como función del ángulo de elevación.

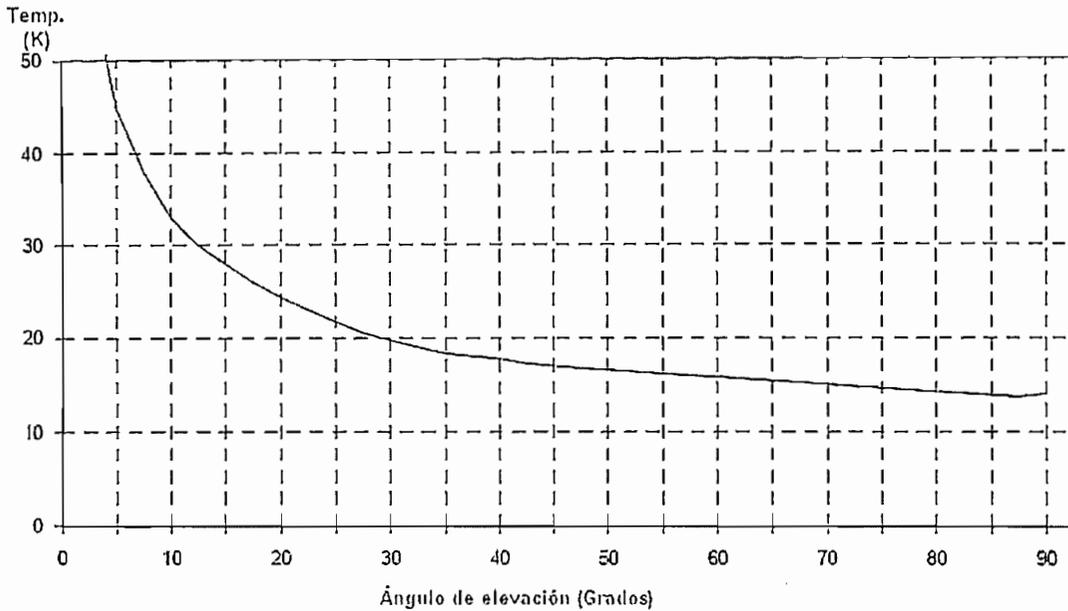


Fig. 1.24 Temperatura de ruido de una antena como función del ángulo de elevación. [4]

Las antenas receptoras pueden captar ruido por sus lóbulos principal, laterales y posterior [3]; si un cuerpo es capaz de absorber energía es capaz también de generar ruido.

El Sol y la Luna afectan también en la temperatura de ruido de una antena durante el tiempo que inciden directamente en el lóbulo principal y o en los mayores secundarios. “La temperatura de ruido que produce el Sol cuando incide en el eje principal de una antena cuyo ancho de haz sea 0.5° o menor es extraordinariamente alta e impide toda comunicación” [3]. Esta condición no debe incluirse en el cálculo normal del enlace, pero si es necesario conocer cuando puede ocurrir y que tiempo máximo puede durar. Este fenómeno se da dos veces al año, siendo el número de días afectados en cada período aproximadamente 5 veces la anchura del haz en grados y el período de interferencia puede ser de algunos minutos.

1.4.1.8 Figura de Mérito (G/T)

La relación G/T determina el **factor de calidad de la estación receptora** ya que contiene los parámetros más importantes de ella, y es un parámetro que afecta directamente en la relación final C/N del enlace.

G/T se mide en dB relativo a 1 K. Además se debe considerar el mismo punto de referencia tanto para la ganancia como para temperatura de ruido. La relación G/T es un parámetro de gran importancia en el momento de clasificar una estación dentro de un estándar tal como lo muestra la tabla 1.1

$$G/T = G_{rx} - 10 \log(T_{sistema}) \quad (1.26)$$

Donde:

G_{rx} = Ganancia de recepción en dB

$T_{sistema}$ = Es la temperatura de ruido del sistema en °K.

“Como la ganancia de la antena es dependiente de la frecuencia, la relación G/T debe estar normaliza a una frecuencia conocida (normalmente 4 o 11 GHz) substrayendo de la ecuación 1.26 el factor $20 \log(f/f_0)$ donde f es la frecuencia en GHz y f_0 de valor 4 o 11” [4].

1.4.1.9 Relación Portadora a Ruido

La relación portadora a ruido es un valor determinante en los enlaces satelitales ya que su valor afecta directamente a la calidad del servicio que se espera para determinada aplicación.

De la ecuación general del enlace se obtiene:

$$\frac{C}{N} = PIRE - L + G - 10 \log k - 10 \log T - 10 \log B \quad (1.27)$$

Donde $G - 10 \log T$ representa la figura de mérito, entonces

$$\frac{C}{N} = EIRP - L + G/T - 10 \log k - 10 \log B \quad (1.28)$$

Donde:

L = Pérdidas de transmisión

G/T = Figura de mérito del receptor

k = Constante del Boltzmann.

B = Ancho de banda ocupado por la portadora.

Normalmente se suele usar la relación C/No que es la *relación de señal a densidad de ruido*, el cual da un valor normalizado a 1 Hz.

$$\frac{C}{No} = PIRE - L + G/T - 10 \log k \quad (1.29)$$

Otra relación de importancia es C/T la cual se puede despejar de la ecuación

$$\frac{C}{N} = C/T - 10 \log kB \quad (1.30)$$

Quedando

$$C/T = PIRE - L + G/T \quad (1.31)$$

La relación C/No permite realizar una comparación directa con la razón energía de bit recibida a densidad de ruido.

$$Eb/No = C/No - 10 \log (\text{velocidad binaria}) \quad (1.32)$$

1.4.1.10 El transpondedor satelital

Los datos principales de un transpondedor satelital son los siguientes:

- La densidad de flujo de saturación (dBW/m²).
- La relación G/T de recepción (dB/°K).
- La PIRE de saturación (dBW).

La *densidad de flujo de saturación* de un transpondedor es el valor de densidad de flujo de potencia a la entrada de un transpondedor que ocasiona la saturación de PIRE del satélite [3].

La combinación de los parámetros en el enlace ascendente y en el enlace descendente determina el valor de C/N en la antena receptora. Para obtener un valor adecuado en recepción es necesario considerar además las características no lineales de los amplificadores que operan en los satélites.

Los transpondedores que emplean amplificadores de estado sólido poseen características de mayor linealidad que aquellos que utilizan tubos de onda progresiva [3].

Cuando un amplificador tiene que manejar varias portadoras se genera un espectro de ondas espurias por el efecto llamado de intermodulación, efecto que aumenta al usar el amplificador en la zona no lineal [3].

Debido a esta característica de no linealidad de los amplificadores es necesario utilizarlos en un nivel inferior a la saturación, para ello se hecha mano de la *retención de potencia* (back off en inglés), existiendo retención de potencia tanto para la entrada (IBO) como para la salida (OBO).

“Se define como retención de potencia de entrada al margen entre la densidad de flujo de potencia de saturación y la densidad de flujo de operación para una portadora dada”. [4]

Mientras que la retención de potencia a la salida queda definida como:

$$\text{OBO} = \text{IBO} - X \quad (1.33)$$

“X” es el radio de ganancia de compresión entre el IBO y OBO. Este valor se diferencia según la señal portadora y para los satélites de INTELSAT puede ser obtenido del documento IEES 410 en los apéndices B al E.

Debido a estas retenciones de potencia los transpondedores no operan en un PIRE de saturación sino en un valor inferior como se aprecia en la ecuación

$$\text{PIRE operación} = \text{PIRE saturación} - \text{OBO} \quad (1.34)$$

1.4.1.11 Componentes de ruido en un enlace satelital

1.4.1.11.1 Ruido Térmico en el enlace ascendente

El ruido térmico en el enlace ascendente es causado por el ruido inherente en el sistema de recepción del satélite. En este punto se hace necesario considerar los errores de apuntamiento y los causados por la atenuación por lluvia. Valores típicos de 0.5 a 1 dB son dejados por errores de apuntamiento ^[4].

Para banda C es frecuente ignorar la atenuación por lluvia excepto en aquellos lugares donde las lluvias intensas son frecuentes, mientras que para la banda Ku se suele dejar márgenes de 2.0 a 4.0 dB. ^[4]

El ruido térmico se calcula usando la fórmula

$$C/T_{up} = \text{PIRE}_{up} - L_{up} + G/T_{sat} + \beta_{up} - m_{up} \quad (1.35)$$

Donde:

PIRE_{up} = PIRE radiada por la estación terrena

L_{up} = Pérdidas del trayecto ascendente.

β_{up} = "Pattern Advantage" para el enlace ascendente.

m_{up} = margen por errores de seguimiento y por lluvia.

1.4.1.11.2 Productos de intermodulación en los HPA de las estaciones terrenas

Cuando una estación terrena envía hacia el satélite múltiples portadoras puede generar productos de intermodulación en toda la banda de frecuencia del satélite. Incluso si se

envía desde una sola portadora existe el riesgo de que se generen productos de intermodulación por la presencia de estaciones terrenas que operen con múltiples portadoras en el mismo haz ascendente del satélite ^[4].

$$C/T_{\text{HPA IM}} = \text{PIRE} - A + X - 192.6 \text{ dBW/}^\circ\text{K} \quad (1.36)$$

Donde:

A = límite HPA IM a un ángulo de elevación de 10°.

X = Factor de corrección debido al ángulo de elevación y la localización de la estación terrena.

Para mayor información respecto a la utilización de la fórmula anterior referirse a IESS-402 Tabla 1.

1.4.1.11.3 Interferencia Co-canal

Esta interferencia se debe a la reutilización de frecuencias, es decir por estaciones terrenas que usan el mismo satélite transmitiendo a la misma frecuencia pero en diferentes haces de subida y de bajada o a su vez usan la polarización ortogonal. Este valor está dado por la relación portadora a interferencia (C/I) en decibelios ^[4]

$$C/T_{\text{cci}} = C/I + 10\log(\text{OccBw}) - 10\log k \quad (1.37)$$

Donde:

OccBw = Ancho de banda ocupado por la portadora.

1.4.1.11.4 Intermodulación en el transpondedor

“La intermodulación en el transpondedor está especificada como el límite de densidad de PIRE transmitida por el transpondedor en un ancho de banda de 4 kHz en el filo del haz” ^[4]

$$C/T_{\text{sat im}} = \text{PIRE down} - \text{SAT im} + \beta_{\text{down}} - 192.6 \text{ (dBW/}^\circ\text{K)} \quad (1.38)$$

Donde:

PIRE down = PIRE descendente.

SAT im = límite especificado de intermodulación en 4 kHz.

β down = “pattern advantage” para el enlace descendente

Los límites para los satélites de INTELSAT están dados en el documento IESS 410 Tablas 2a y 2b.

1.4.1.11.5 Ruido térmico en el enlace descendente

El ruido térmico del enlace descendente es causado por el sistema receptor en la estación terrena. Similar al enlace ascendente es necesario dejar un margen para atenuación por lluvia y errores de seguimiento. [4]

$$C/T \text{ down} = \text{PIRE down} - L \text{ down} + G/T_{E/S} - m_{up} \quad (1.39)$$

Donde:

PIRE down = PIRE descendente.

L down = pérdidas por el trayecto en el descenso.

$G/T_{E/S}$ = Figura de mérito de la estación terrena.

m_{up} = margen descendente por errores de seguimiento y de lluvia.

1.4.1.12 Relación Total Portadora a temperatura de ruido del sistema (C/T_T)

El valor de C/T_T para todo el enlace se lo obtiene de usar la fórmula:

$$\frac{1}{C/T_T} = \frac{1}{C/T_{up}} + \frac{1}{C/T_{down}} + \frac{1}{C/T_{im\ e/s}} + \frac{1}{C/T_{sat\ im}} + \frac{1}{C/T_{ccl}} \quad (1.40)$$

Al usar la fórmula anterior se debe tener la precaución de usar los valores numéricos de C/T y no en decibelios.

La ecuación anterior se puede aplicar también para las relaciones C/N_0 , C/N o E_b/N_0 ya que solo difieren por factores constantes iguales para cada término.

La interrelación entre cada uno de los términos de la ecuación anterior es de gran importancia para conseguir trabajar en un punto óptimo de operación, pues por ejemplo tener un valor mayor de C/N_0 en el enlace ascendente no necesariamente implica un mejor valor de $C/N_{0\text{TOTAL}}$, tal como se muestra en la figura 1. 25.

El valor final de C/N debe ser igual o mayor que el mínimo requerido, la diferencia entre estos dos es el margen de seguridad para proteger el enlace.

Un diseño óptimo permitirá obtener el valor de C/N adecuado con la mínima inversión. Pero es necesario considerar márgenes para el posterior crecimiento de la red, para evitar mayores gastos en el futuro pues sería necesario reemplazar equipos, lo que implicaría mayores gastos.

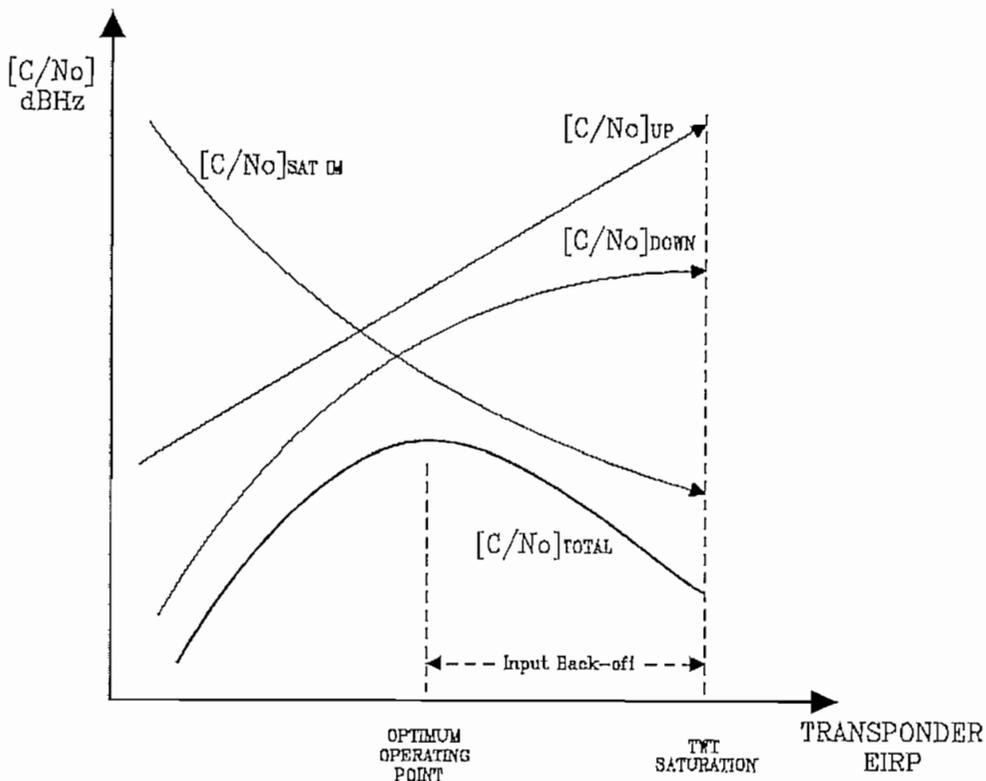


Fig. 1.25 Variación de C/N_0 como función de la potencia de la portadora ^[4]

Capítulo 2

Análisis del estándar DVB-S

2.1 INTRODUCCIÓN

El proyecto europeo DVB (Digital Video Broadcasting) ha generado una gran cantidad de especificaciones para la difusión de televisión digital, de hecho el término “Digital Video Broadcasting” ha sido de cierta manera limitante ya que las especificaciones del DVB pueden usarse para una amplia gama de datos y sonidos acompañados a su vez por otro tipo de información y no únicamente para televisión. Aun algunas de las especificaciones tienen por finalidad el establecimiento de canales bidireccionales de comunicación, por ejemplo para hacer posible servicios interactivos [7]. La cobertura del proyecto DVB ha rebasado los límites de Europa, es así que se está utilizando a nivel mundial gracias a la diversidad de aplicaciones que son posibles a través de sus recomendaciones.

Resultado de los estudios realizados por el proyecto DVB, la primera especificación que se produjo fue la correspondiente a la entrega de señales DVB vía satélite (ETS 300 421) conocida como DVB-S, en este estándar se describen varias herramientas para la codificación de canal además de la técnica de modulación.

Realizar un análisis del estándar DVB-S es el objetivo principal de este capítulo.

2.2 ESTUDIO DEL ESTÁNDAR DVB –S (ETS 300 421)

Este estándar de telecomunicaciones europeo (ETS) describe el sistema de codificación de canal y modulación para servicios digitales por satélite para la difusión de televisión junto con televisión de alta definición (TV/HDTV) en las bandas FSS (Fixed Satellite Service) y BSS (Broadcast Satellite Service).

Al ser el servicio DTH* (Direct To Home) una de las primeras y principales aplicaciones de este estándar los diseñadores consideraron que la robustez contra el ruido y la interferencia debían ser los principales objetivos de diseño, antes que la eficiencia espectral [9]; de allí que una característica fundamental de este sistema, que ha sido optimizada a través de simulaciones en computador y pruebas en laboratorio, es la capacidad para operar efectivamente en canales satelitales afectados por el ruido, la interferencia y la distorsión [8].

El desempeño de un sistema de transmisión digital por satélite depende de varios componentes incluidos en las diferentes etapas como son [8]:

- Estación terrena transmisora.
- Segmento espacial (enlace ascendente y descendente)
- Transpondedor satelital (filtros IMUX y OMUX, Amplificador TWT)
- Estación terrena receptora.

El canal satelital es no lineal, y limitado en ancho de banda y potencia. Factores como el ruido, la atenuación por lluvia e interferencia en el segmento espacial junto con la incorrecta alineación tanto de transmisores y receptores con sus respectivos equipos son las principales causas de deterioro en la señal. Mientras que la no linealidad (distorsiones en amplitud y fase) introducida por el TWTA en el satélite es responsable de la disminución del desempeño en todo el sistema [8]

* DTH es un servicio en el que usuarios finales reciben con antenas de pequeño diámetro señales de televisión desde el satélite

Entonces el diseño de un buen “adaptador de canal”, el cual permita la adaptación de las señales multiplexadas tanto de video, audio o datos al canal físico, sería fundamental; para lo cual se debería adoptar un poderoso esquema de codificación de canal y una conveniente técnica de modulación.

2.2.1 SISTEMA DE TRANSMISIÓN

El sistema de transmisión es directamente compatible con las señales de televisión codificada con MPEG-2 (ver ISO/IEC DIS 13818-1 (Junio de 1994)) y se encarga de adaptarlas a las características del canal satelital. Un diagrama de bloques del sistema se muestra en la figura 2.1

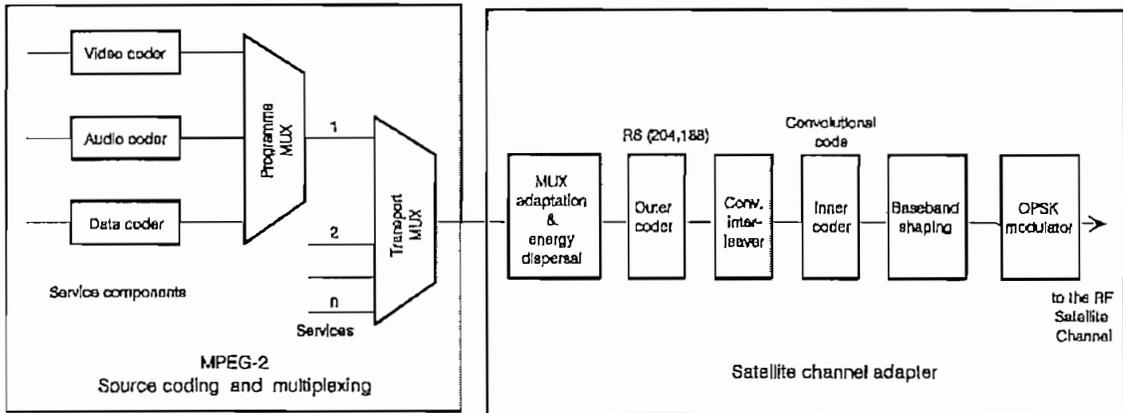


Fig 2.1 Diagrama funcional del sistema ^[9]

Tal como se ve en el gráfico anterior, los datos que ingresan al “adaptador de canal satelital” deben pasar por los siguientes procesos:

- Adaptación y aleatorización para conseguir dispersión de energía.
- Codificación externa (Reed-Solomon)
- Intercalado convolucional (convolutional interleaving).
- Codificación interna (punctured convolutional code).
- Modelado de las señales en banda base para adecuarlas a la modulación.
- Modulación

El paquete de transporte proporcionado por el multiplexor de la figura 2.1 tiene una longitud fija de 188 bytes, incluyendo 1 byte de sincronismo, 3 bytes de cabecera que contienen el identificador de paquete (packet identifier) PID y 184 bytes de información como se muestra en la figura 2.2

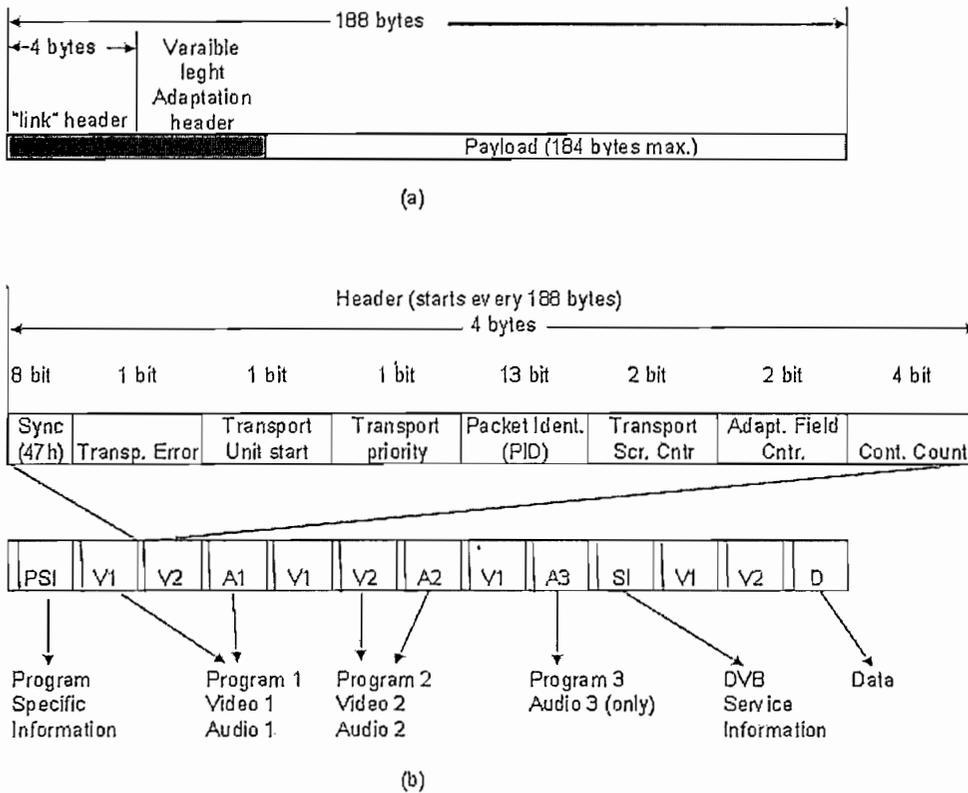


Fig 2.2 (a) Formato del paquete de transporte (b) MPEG-2 Transport Stream (TS)^[10]

En la figura anterior es de aclarar que en el paquete de transporte existe un campo de longitud variable, el cual ha sido diseñado para facilitar la interoperabilidad con otros sistemas de comunicaciones como ATM, de manera de transmitir un paquete de transporte MPEG-2 en 4 celdas ATM ^[10]. El grupo MPEG-2 consideró importante esta interoperabilidad de manera de facilitar la interacción con redes terrenas.

2.2.1.1 Adaptación y aleatorización para dispersión de energía

Esta etapa recibe los paquetes de longitud fija (188 bytes), estos paquetes incluyen 1 byte de sincronismo (sync-word byte) (47_{HEX}), el orden de procesamiento en el lado del

transmisor es desde el bit más significativo (MSB); como ejemplo el “0” en el byte de sincronismo (01000111).

De modo de cumplir con las regulaciones de la ITU (International Telecommunications Union) y con el fin de asegurar transiciones binarias adecuadas, los datos que ingresan al sistema deben ser aleatorizados de la manera que indica la figura 2.3.

El polinomio generador de la secuencia de pseudo aleatorización (Pseudo Random Binary Sequence) PRBS será:

$$1 + x^{14} + x^{15}$$

La secuencia de inicialización es “100101010000000”, esta secuencia debe ser cargada en los registros al inicio de cada ocho paquetes de transporte. Con el fin de facilitar la sincronización del des-aleatorizador en el receptor, el byte de sincronismo en el primer paquete de transporte de un grupo de ocho debe ser invertido de 47_{HEX} a B8_{HEX}. Este proceso el llamado “Adaptación del multiplexor de transporte”

Tal como se ve en la siguiente figura el primer bit de la salida del PRBS se aplicará al primer bit (MSB) del primer byte que sigue al byte de sincronismo B8_{HEX} en el ejemplo.

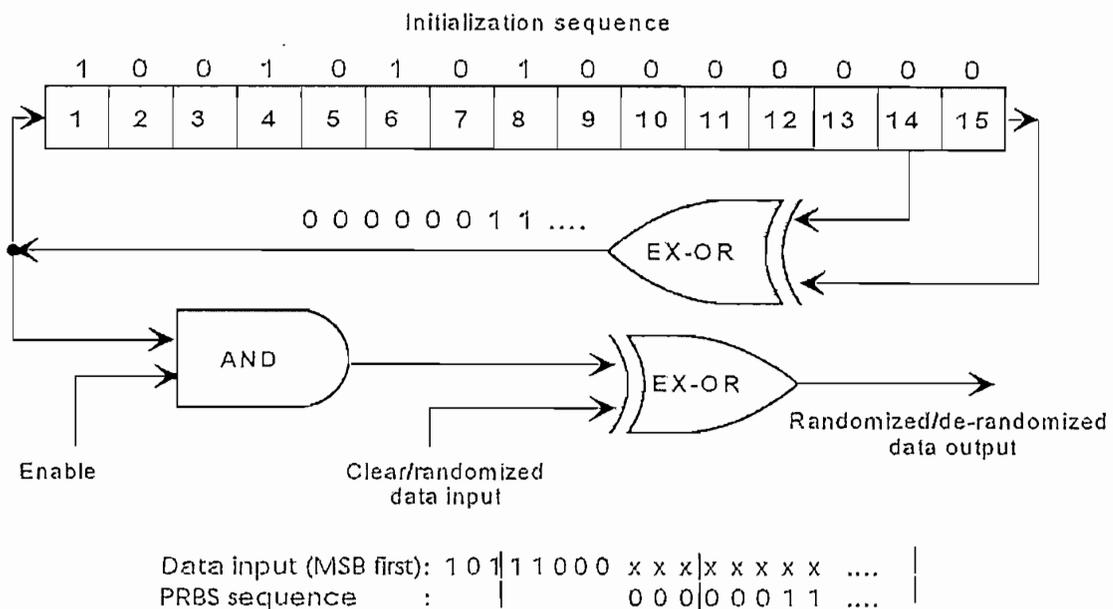


Fig. 2.3 Diagrama esquemático del aleatorizador y des-aleatorizador [9]

Para ayudar al sincronismo, los bytes de sincronización de los siguientes 7 paquetes de transporte no son aleatorizados, pero la generación de la secuencia PRBS continúa solo es deshabilitada durante el paso de esos bytes de sincronismo.

El proceso de aleatorización continuará incluso cuando no exista una cadena de bits de entrada o cuando no cumpla con el formato del paquete de transporte de MPEG-2. Esto para evitar la emisión de portadora sin modular.

Este proceso de aleatorización tal como se ve en el gráfico anterior consiste en ingresar a una compuerta EX-OR por un lado los datos (D) y por otro lado la secuencia (S) para obtener la información aleatorizada (R); mientras que el lado del receptor para recuperar los datos (D) se debe ingresar en la compuerta EX-OR tanto la secuencia (S) como la información aleatorizada (R) como se muestra en la siguiente tabla.

S	D	$R=S \oplus D$	S	$R \oplus S = D$
0	0	0	0	0
0	1	1	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	1	1

Tabla 2.1 Tablas de Aleatorización y des-aleatorización

2.2.1.2 Codificación exterior (RS), intercalado y formación de tramas

El estándar DVB-S utiliza en su codificación exterior el código Reed-Solomon por lo cual es necesario realizar una breve descripción de ciertas características de este código.

2.2.1.2.1 Introducción a los Códigos Reed-Solomon

Los códigos Reed-Solomon son códigos basados en bloques, con muchas aplicaciones en comunicaciones digitales y almacenamiento de información. “Los códigos Reed-Solomon son un subconjunto de los códigos BCH y son códigos de bloques lineales. Un código Reed-Solomon está especificado como $RS(n,k)$ con s-bits por símbolo” [11], siendo estos

códigos sistemáticos ya que la información no se cambia y los símbolos de paridad son anexados.

El codificador toma k símbolos de datos de s bits cada uno y añade símbolos de paridad para formar una “palabra código” de n símbolos. Hay entonces $n-k$ símbolos de paridad de s bits cada uno. Una característica importante de este código es que en el lado del decodificador se puede corregir hasta t símbolos que contengan errores en una palabra código, donde $2t = n-k$, tal como se aprecia en la siguiente figura.

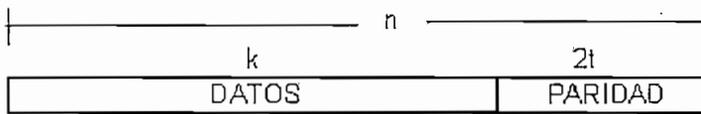


Fig.2.4 Información más paridad en un codificador Reed-Solomon

Dada una longitud de símbolo s , la máxima longitud de la palabra código (n) para un código Reed-Solomon es $n = 2^s - 1$.

Existe una modalidad más corta de un código Reed-Solomon para lo cual se inserta un número de símbolos de datos con valor cero en el codificador, luego de la codificación se producen símbolos nulos los cuales son desechados, en el decodificador estos símbolos son reinsertados para una correcta decodificación.

Un símbolo errado se produce cuando uno o varios bits en un símbolo están dañados o errados. Los decodificadores Reed-Solomon pueden corregir *errores* (errors) y *borrones* (erasures). Un *borrón* se produce cuando la posición de un símbolo errado es conocida. Un decodificador puede corregir hasta t errores o hasta $2t$ borrones. La información de los borrones puede ser proporcionada por el demodulador en sistemas de comunicación digital. Por ejemplo a través del uso de “banderas” en el demodulador para indicar en que símbolo es probable que exista errores ^[11].

Cuando una palabra código es decodificada existen tres posibles salidas ^[11]:

1. Si $2s + r < 2t$ (s errores, r “borrones”) entonces la información original siempre se recupera.
2. El decodificador detecta que no puede recuperar la información original e indica este asunto.
3. El decodificador recupera información incorrecta sin ninguna indicación

La probabilidad de cada una de las tres salidas depende del código Reed-Solomon en particular, de la cantidad y la distribución de los errores.

La palabra código Reed-Solomon es generada usando un polinomio especial, llamado “**polinomio generador**” Todas las palabras código válidas son exactamente divisibles para el polinomio generador y la palabra código se construye usando:

$$c(x) = g(x) \cdot i(x)$$

Donde $g(x)$ es el polinomio generador, $i(x)$ es el bloque de información y $c(x)$ una palabra código válida.

En el estándar DVB-S se utiliza el código corto Reed-Solomon RS(204,188,T = 8) el cual proviene del RS(255,239,T = 8). El valor de T = 8 significa que 8 bytes erróneos por paquete de transporte pueden ser corregidos para lo cual es necesario añadir 16 bytes de paridad al paquete de transporte para dar una palabra código de 204 bytes.

El codificador toma en su entrada la estructura de trama mostrada la figura 2.5a.

El código debe aplicarse a cada paquete de transporte (188 bytes) de la figura 2.5b para generar un paquete protegido contra errores (figura 2.5c). La codificación Reed-Solomon debe aplicarse también a los bytes de sincronismo tanto no invertidos (47_{HEX}) como invertidos (B8_{HEX}).

El polinomio generador de código es:

$$g(x) = (x + \lambda^0)(x + \lambda^1)(x + \lambda^2) \dots (x + \lambda^{15}), \text{ donde } \lambda = 02_{\text{HEX}} \quad (2.1)$$

El polinomio generador de campo es:

$$p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1 \quad (2.2)$$

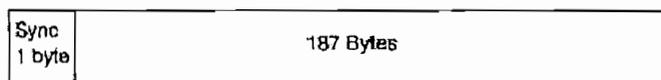


Figure 2.5a MPEG-2 transport MUX packet

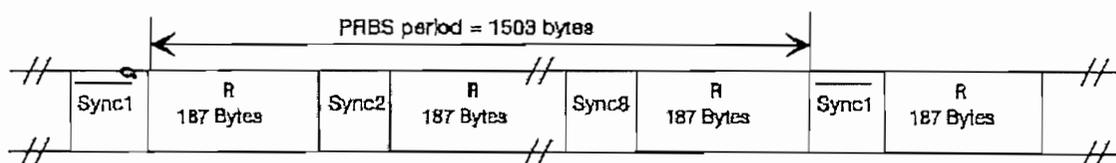


Figure 2.5b) Randomized transport packets: Sync bytes and randomized sequence R

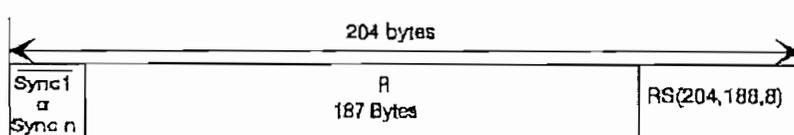


Figure 2.5c) Reed-Solomon RS(204,188, T = 8) error protected packet

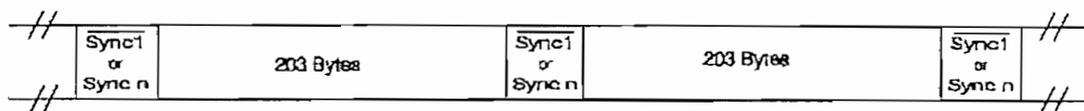


Figure 2.5d) Interleaved frames; interleaving depth I = 12 bytes

Sync1 = not randomized complemented sync bytes
 Sync n = not randomized sync bytes, n = 2, 3, .. 8

Figura 2.5 Estructura de trama ^[9]

El código corto Reed-Solomon puede ser implementado añadiendo 51 bytes todos fijados a cero, antes de los bytes de información a la entrada de un codificador (255,239). Y luego del proceso de codificación estos bytes nulos deben ser descartados.

Al paquete protegido contra errores de la figura 2.5c) se debe realizar un **Intercalado convolucional** siguiendo el esquema de la figura 2.6 con profundidad I = 12 dando como resultado una trama intercalada tal como la de la figura 2.5d).

El proceso de intercalado está basado en la aproximación de Forney la cual es compatible con la aproximación de Ramsey tipo III, con $I = 12$. La trama resultante estará delimitada por los bytes de sincronismo sean invertidos como no invertidos.

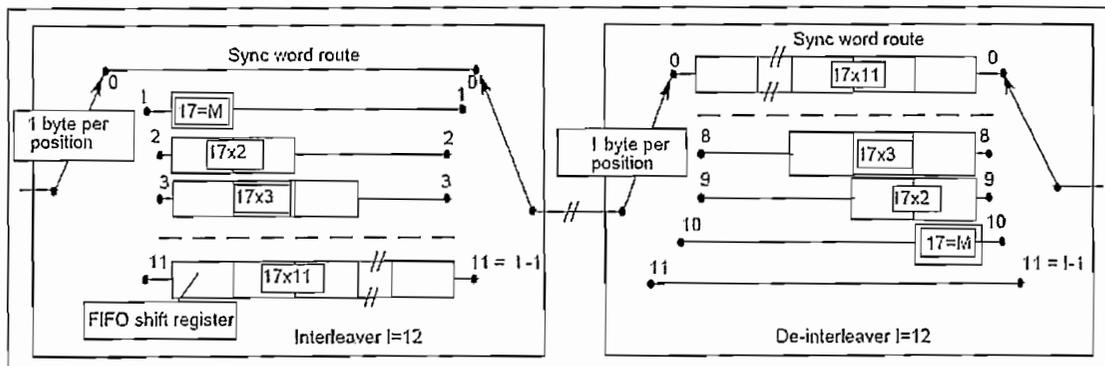


Fig 2.6 Diagrama conceptual del intercalado convolucional y des-intercalado [9]

“El intercalador puede estar compuesto de $I = 12$ ramas o bifurcaciones, cíclicamente conectadas a la cadena de bytes entrantes por un switch de entrada. Cada rama será un registro de desplazamiento FIFO (Firts-In First-Out) con profundidad (M_j) celdas (donde $M = 17 = N/I$, $N = 204 =$ longitud de la trama protegida contra errores, $I = 12 =$ profundidad del intercalado, $j =$ índice de la rama o de la bifurcación). Las celdas del registro FIFO contendrán 1 byte, y los switches de entrada y salida deben estar sincronizados. Para propósitos de sincronización, los bytes de sincronismo tanto invertidos como no invertidos deberán siempre ser enrutados en la rama “0” del intercalador (correspondiente a un retraso nulo)” [9]

2.2.1.3 Codificación interior (convolucional)

En este estándar a la cadena de bits seriales de la figura 2.5d se le aplica codificación convolucional y luego “puncturing” por lo que es necesario realizar una descripción de ciertas generalidades de estos códigos.

2.2.1.3.1 Introducción a la Codificación convolucional.

Los códigos convolucionales funcionan de manera diferente que los códigos de bloques. En los códigos de bloques se forman grupos de información (bloques) de longitud k ,

dichos bloques se convierten luego en palabras código de longitud n , mientras que en los códigos convolucionales toda una cadena de entrada se convierte en una “palabra código” (codeword) de longitud n independientemente de la longitud k [12].

“Los códigos convolucionales fueron introducidos por primera vez por Elias en 1955. Él probó que se podía introducir redundancia a una cadena de información usando registros de desplazamiento. En 1967, Viterbi propuso un esquema de máxima probabilidad de decodificación para códigos convolucionales. La importancia de el algoritmo de Viterbi es que se ha probado su relativa facilidad de implementación” [12]

En la figura 2.7 se muestra un codificador convolucional lineal de velocidad binaria $\frac{1}{2}$. En general se dice que un codificador al cual entran k bits y salen n bits tiene una velocidad k/n . Esta velocidad k/n es definida como la velocidad de codificación (R_c) del sistema.

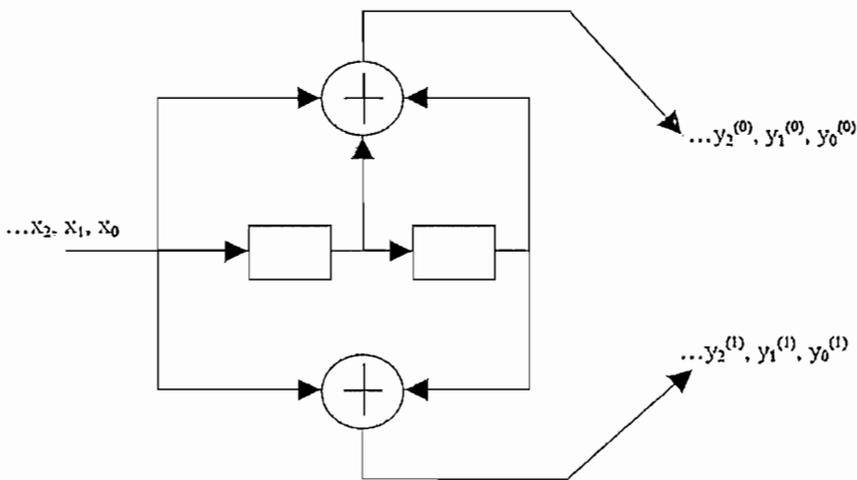


Fig 2.7 Codificador convolucional [12]

La cadena de bits $x = (x_0, x_1, x_2, \dots)$ es aplicada a la entrada del codificador, estos bits viajan a través de los registros de desplazamiento. Existen ramificaciones las cuales son sumadas (suma módulo-2) generando un par de cadenas de salida $y^{(0)} = (y_0^{(0)}, y_1^{(0)}, y_2^{(0)} \dots)$ junto con $y^{(1)} = (y_0^{(1)}, y_1^{(1)}, y_2^{(1)} \dots)$. Estas cadenas de salida son multiplexadas para formar una única cadena de salida $y^{(0)} = (y_0^{(0)} y_0^{(1)}, y_1^{(0)} y_1^{(1)}, y_2^{(0)} y_2^{(1)}, \dots)$.

Una manera de caracterizar la estructura del codificador convolucional es a través de las **secuencias generadoras**. Estas secuencias generadoras pueden ser obtenidas asignando un “1” a aquella ramificación que son sumadas mientras que un “0” a aquellas que no son consideradas en la suma, es así que para el codificador de la figura anterior las secuencias generadoras son las siguientes:

$$g^{(0)} = (111)$$

$$g^{(1)} = (101)$$

Para el ejemplo se tienen dos elementos de memoria, entonces cada bit que ingrese al codificador afectará en la codificación a máximo 3 bits, de allí la longitud de las secuencias generadoras. La “**longitud restringida**” (constraint length) K de un código convolucional, en una manera simple, es el número máximo de ramificaciones posibles en el codificador.

$$K = l + 1 \quad (2.3)$$

Donde l es el número de elementos de memoria contenidos en el codificador. La memoria en el codificador tiene un impacto directo en la complejidad de decodificación. En implementaciones prácticas del algoritmo de Viterbi la complejidad es exponencial con la longitud restringida (constraint length) K y con el número de bits de entrada k ^[12].

Existen tres métodos populares para representar a los códigos convolucionales: el diagrama del árbol, el diagrama de trellis, el diagrama de estados.

En la figura 2.8 se representa el diagrama de estados del ejemplo que se está utilizando

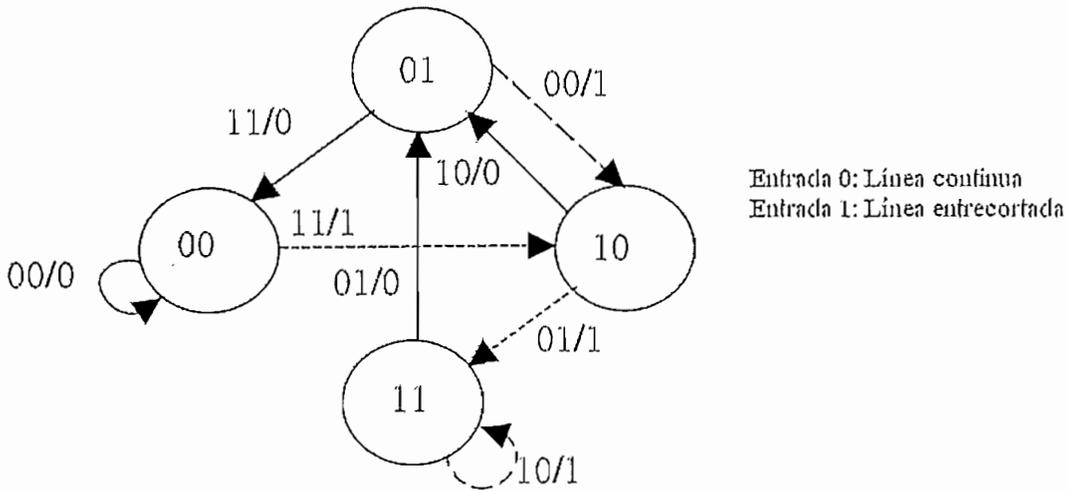


Fig 2.8 Diagrama de estados ^[12]

El codificador convolucional no es más que una máquina de estados. El codificador solo puede moverse entre los diferentes estados de una manera limitada. Cada rama del diagrama de estados tiene una marca de la forma XX/Y, donde XX es la correspondiente salida para el bit de entrada “Y”. Mientras que los estados (encerrados en círculos) poseen marcas del tipo ST donde S representa el último bit que ha ingresado a los registros de desplazamiento.

Las propiedades de distancia y desempeño ante errores de un código convolucional pueden ser obtenidas de su diagrama de estados. ^[12]

La **mínima distancia libre**, denotada por d_{free} es un parámetro importante el momento de comparar diferentes códigos convolucionales. “Los códigos convolucionales son lineales, entonces, existe un sub-espacio $C = \{ C_i, C_j, \dots, C_m \}$ en el cual dos palabras código C_i y C_j sumadas producen otra palabra código que existe en el sub-espacio C. El número de lugares en los cuales dos palabras código difieren es conocido como la distancia Hamming entre dos palabras código. La mínima distancia libre, denotada por d_{free} , es la mínima distancia Hamming entre todos los pares de palabras código” ^[12].

“En 1967 Andrew Viterbi propuso su algoritmo como una aproximación a la decodificación de códigos convolucionales. Luego Forney demostró que el algoritmo de Viterbi es un algoritmo de decodificación de máxima probabilidad (maximum-likelihood

ML) para los códigos convolucionales” [12]. Fundamentalmente el Algoritmo de Viterbi determina el camino más probable a tomar en la decodificación dada una secuencia recibida.

La decodificación de Viterbi puede ser de *decisión firme* o de *decisión flexible*. Existe un mejoramiento de unos 2 dB en la decodificación de decisión flexible respecto de la de decisión firme en el rango de $10^{-2} > P_M > 10^{-6}$, donde P_M es la probabilidad de error en la palabra código [12].

Otro parámetro importante a considerar es la **ganancia de codificación**, la cual es la reducción de (E_b/N_0) requerida para un valor dado de probabilidad de error.

$$\text{ganancia de codificación (dB)} = 10 \log_{10} \left(\frac{\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{\text{sin codificación}}}{\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{\text{codificado}}} \right) \quad (2.4)$$

Si se utiliza modulación QPSK la ecuación anterior queda reducida a [12]:

$$\text{ganancia de codificación} \leq 10 \log_{10} (R_c d_{\text{free}}) \quad (2.5)$$

2.2.1.3.2 Códigos Convolucionales con borrado (*Punctured Convolutional Codes*)

En 1979, Cain, Clark y Gist mostraron que la complejidad del Algoritmo de Viterbi podía ser simplificado en gran manera a través de “puncturing” [12]. Estos códigos convolucionales con borrado son una variedad de los códigos convolucionales en los cuales periódicamente se borran ciertos bits de acuerdo a una matriz de borrado.

Para entender como funcionan estos códigos se procede a describir un ejemplo. Asíumase un código madre, cuya velocidad sea $\frac{1}{2}$. En este por cada k bits de entrada el codificador entrega n bits en la salida.

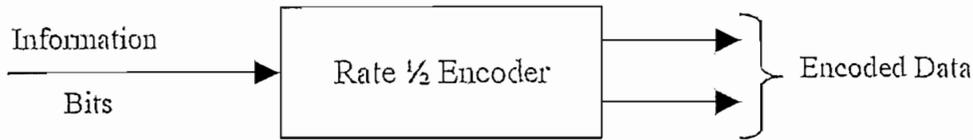


Fig. 2.9 Codificador con velocidad 1/2. [12]

Asúmase que la longitud de la secuencia de información es L , entonces el bloque representa L pares de bits en la salida. Una velocidad de “codificación con borrado” P/Q puede conseguirse de una velocidad $1/n$ de un código convolucional borrando $n.P - Q$ símbolos código de cada $n.P$ bits codificados. La velocidad de este código es

$$R_c' = \frac{P}{(n.P - \sigma)}, \text{ donde } \sigma = n.P - Q \quad (2.6)$$

El borrado de bits codificados se representa por una matriz de borrado $P\sigma$ (puncturing matriz) de dimensiones n -por- P . Dicha matriz contiene ceros y unos, representando a los elementos que son borrados y aquellos que se conservan, tal como se ilustra en el siguiente gráfico.

Para el ejemplo la secuencia de salida será:

$$y = (B_{1,1}B_{1,2}, XB_{2,2}, B_{3,1}X, \dots, B_{L,1}X)$$

Donde las Xs representan información borrada.

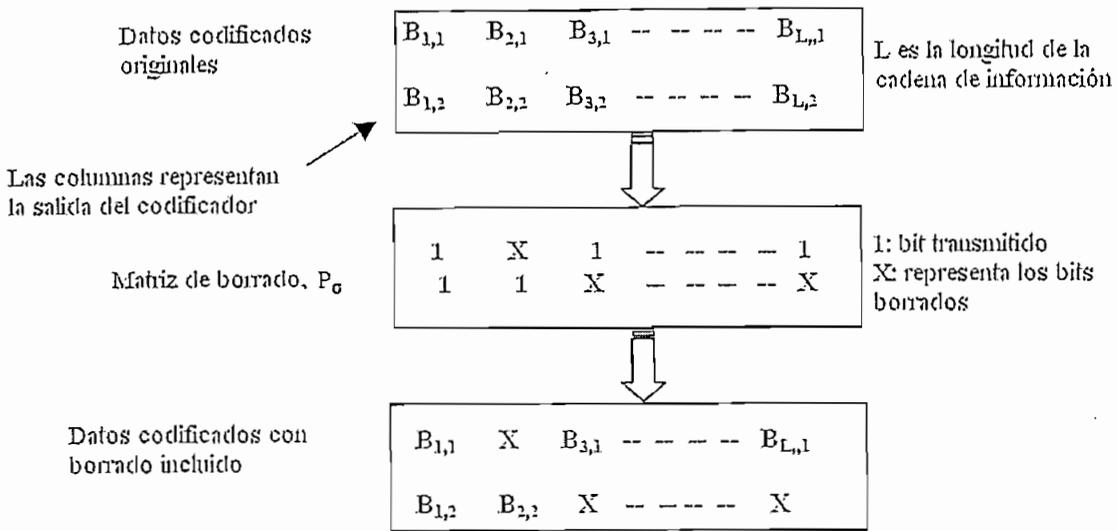


Fig. 2.10 Ejemplo de codificación con borrado ^[12]

Todos los códigos convolucionales con borrado pueden ser decodificados usando el algoritmo de Viterbi ^[12]. Para realizar la decodificación a la velocidad del código madre (1/n) y no a la velocidad P/Q del código convolucional con borrado; es necesario que en el lado del decodificador se inserten bits (erasure bits) con un valor constante en aquellas posiciones en las cuales los bits fueron borrados en la transmisión, esto es posible ya que de antemano se conoce cual fue la matriz de borrado.

“Los límites de desempeño para los códigos convolucionales con borrado son iguales a los de los códigos convolucionales excepto que hay una pequeña pérdida en el desempeño de (0.1 a 0.2 dB) para los códigos con borrado. La pérdida de desempeño es debido en parte a los valores más pequeños de d_{free} para algunos códigos con borrado. La probabilidad de bit errados para los códigos convolucionales con borrado es” ^[12]:

$$P_b \leq \frac{1}{k} \sum_{d_{free}} c_d Q \left(\sqrt{2d \left(\frac{k}{n} \right) \left(\frac{E_b}{N_0} \right)} \right) \quad (2.7)$$

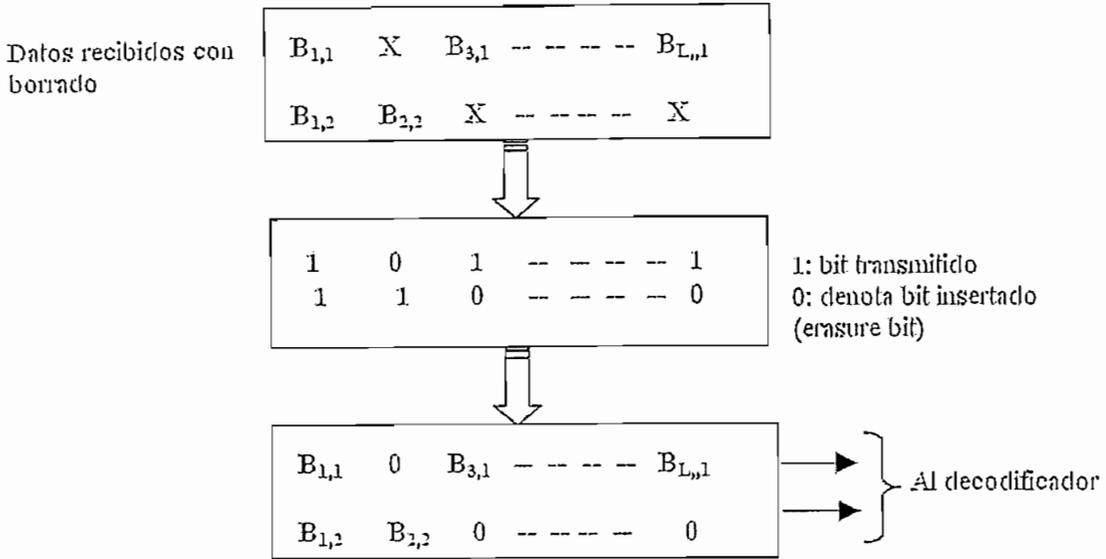


Fig. 2.11 Ejemplo de inserción de bits [12]

Donde c_d es el número total de bits errados en todos los caminos de peso $d \geq d_{free}$ que divergen del camino correcto y regresan luego de un tiempo [12].

En el estándar DVB-S se utiliza codificación convolucional con borrado (punctured convolutional coding), basado en un código convolucional de velocidad $1/2$ con longitud restringida (constraint length) $K = 7$. El sistema permite una variedad de velocidad de codificación, lo que permite seleccionar el nivel más adecuado de protección contra errores acorde al servicio y la velocidad de información. El sistema permite codificación convolucional con un rango de velocidades de $1/2, 2/3, 3/4, 5/6$ y $7/8$ [9]. El código convolucional con borrado será usado acorde a la tabla que sigue (ver también figura 2.15):

Código Original			Velocidad de codificación									
			1/2		2/3		3/4		5/6		7/8	
K	G1 (X)	G2 (Y)	P	d_{free}	P	d_{free}	P	d_{free}	P	d_{free}	P	d_{free}
7	171 _{oct}	133 _{oct}	X:1 Y:1 I=X1 Q=Y1	10	X:1 0 Y:1 1 I=X1Y2Y3 Q=Y1X3Y4	6	X:1 0 1 Y:1 1 0 I=X1Y2 Q=Y1X3	5	X:10101 Y:11010 I=X1Y2Y4 Q=Y1X3X5	4	X:1000101 Y:1111010 I=X1Y2Y4Y6 Q=Y1Y3X5X7	3

NOTA: 1 = bit transmitido
0 = bit no transmitido

Tabla 2.2 Definición del código convolucional con borrado ^[9]

El codificador original acorde a la tabla anterior se lo puede representar de la siguiente forma:

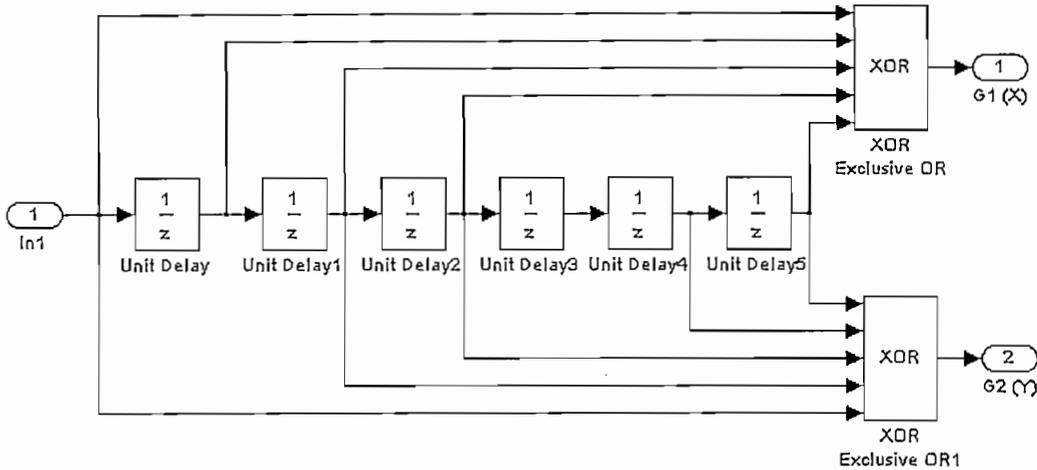


Fig. 2.12 Codificador convolucional, $K = 7$

A continuación se presenta un ejemplo de codificación que entregaría este codificador al ingresar una secuencia cualquiera a su entrada.

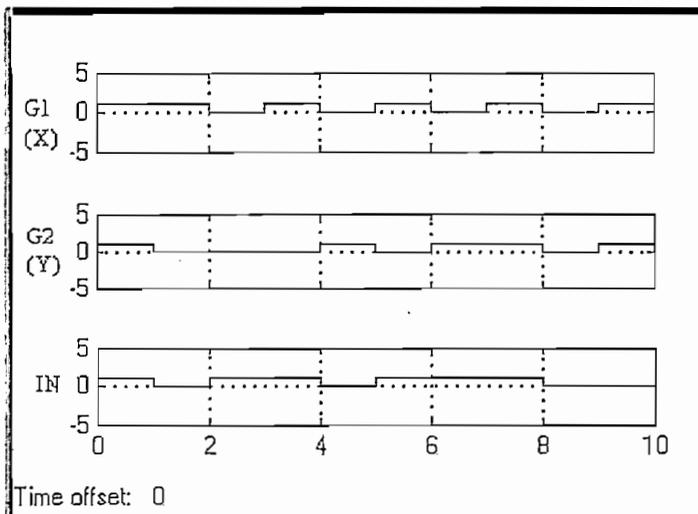


Fig. 2.13 Ejemplo de codificación convolucional

Entrada	Estado	SALIDA	
		G1 (X)	G2 (Y)
1	000000	1	1
0	100000	1	0
1	010000	0	0
1	101000	1	0
0	110100	0	1
1	011010	1	0
1	101101	0	1
1	110110	1	1
0	111011	0	0
0	011101	1	1

Tabla. 2.3 Ejemplo de codificación convolucional

Tal como se describe en la tabla 2.2 luego de la codificación original de velocidad $\frac{1}{2}$ se procede al borrado (puncturing), para describir este proceso se continua con el ejemplo utilizando la velocidad $\frac{5}{6}$. Las salidas X y Y deben pasar por una matriz de borrado tal como se ilustra en el siguiente gráfico.

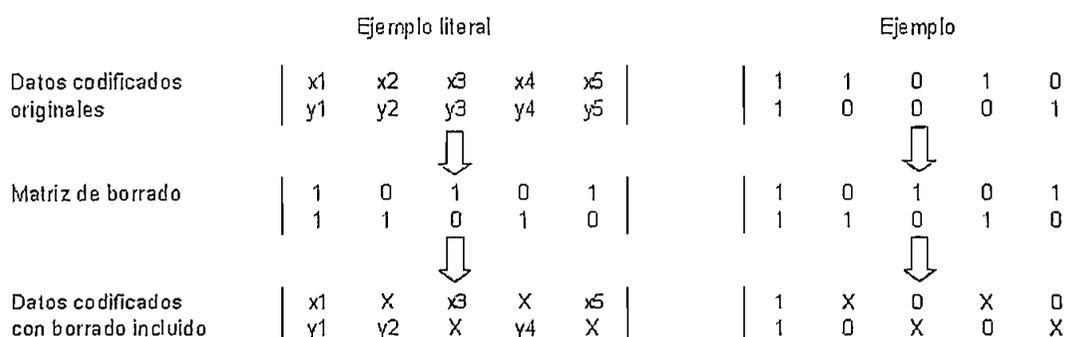


Fig. 2.14 Ejemplo de codificación convolucional con borrado (velocidad $\frac{5}{6}$) (usada en el estándar DVB-S)

Luego los datos deben ser multiplexados, obteniéndose una salida de la forma

$$y = (x1, y1, y2, x3, y4, x5)$$

Dicha salida debe pasar luego a la etapa de modulación que en este caso es QPSK, para lo cual es necesario dividir la cadena de bits de entrada en dos cadenas de bits cuya velocidad binaria es la mitad de la velocidad de entrada, estas dos cadenas corresponden a las componentes **I** y **Q**. Para hacer posible este proceso se va alternando un bit para la señal **I** y otro para la señal **Q**, obteniéndose:

$$I = (x1, y2, y4)$$

$$Q = (y1, x3, x5)$$

Lo cual se puede comprobar en la tabla 2.2.

Tal como se vio anteriormente, para conseguir un código convolucional con borrado de velocidad P/Q se debe borrar $n.P - Q$ símbolos código de cada $n.P$ bits codificados, siendo $1/n$ la velocidad del código madre, es así que para este ejemplo se tiene:

$$P/Q = 5/6$$

$$nP - Q = 2 * 5 - 6 = 4$$

$$nP = 10$$

Indicándonos que para obtener la velocidad $5/6$ es necesario borrar 4 símbolos código por cada diez bits codificados. Cosa que se puede verificar en la matriz de borrado por la presencia de 4 ceros.

2.2.1.4 Modelado de las señales de banda base y modulación

El sistema DVB-S empleará modulación convencional QPSK Gray-coded con mapeo absoluto (no codificación diferencial) tal como se ilustra en la siguiente figura.

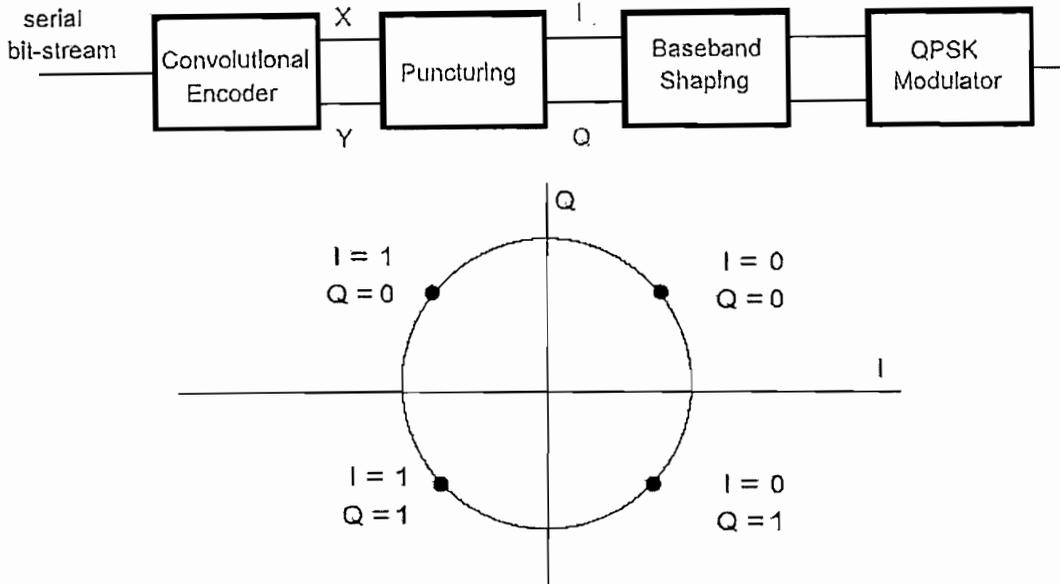


Fig. 2.15 Constelación QPSK [9]

Previo a la modulación, las señales I y Q (matemáticamente representadas por una sucesión de funciones delta Dirac espaciadas por la duración de símbolo $T_s=1/R_s$) deben pasar por un filtro del tipo “square root raised cosine”. El factor de roll-off (α) será 0.35.

El filtro de banda base del tipo “square root raised cosine” tendrá una función teórica definida por la siguiente expresión.

$$\begin{aligned}
 H(f) &= 1 \text{ para } |f| < f_N(1-\alpha) \\
 H(f) &= \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{sen} \frac{\pi}{2f_N} \left[\frac{f_N - |f|}{\alpha} \right] \right\}^{1/2} \text{ para } f_N(1-\alpha) \leq |f| \leq f_N(1+\alpha) \\
 H(f) &= 0 \text{ para } |f| > f_N(1+\alpha)
 \end{aligned} \tag{2.8}$$

Donde:

$$f_N = \frac{1}{2T_s} = \frac{R_s}{2} \text{ es la frecuencia de Nyquist y}$$

α es el factor de roll-off, $\alpha = 0.35$

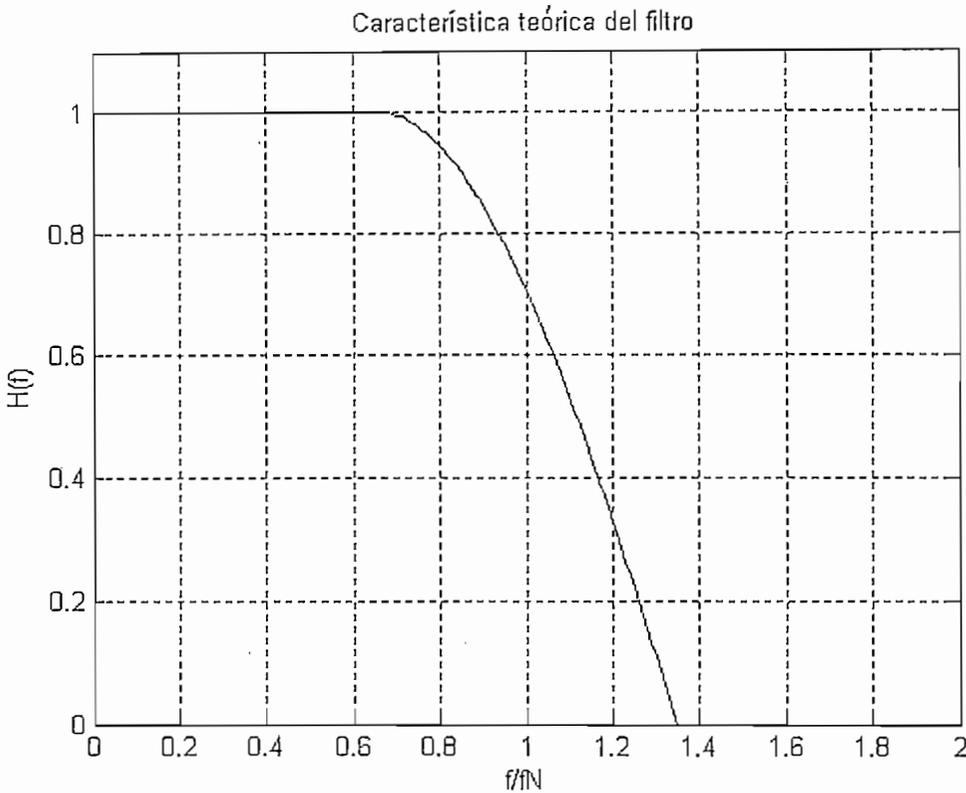


Fig. 2.16 Característica teórica del filtro raíz cuadrada del coseno creciente “square root raised cosine”

2.2.2 FLEXIBILIDAD DEL SISTEMA Y ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO

2.2.2.1 Velocidad binaria versus ancho de banda del transpondedor

Una de las principales características de este estándar es su flexibilidad, ya que permite seleccionar parámetros como: velocidades de símbolo y velocidad de codificación acorde a las necesidades de ancho de banda y potencia para los diferentes servicios.

Se pueden tener aplicaciones en las cuales se posee una sola portadora por transpondedor o, múltiples portadoras multiplexadas en frecuencia en un mismo transpondedor, para este último caso se deberá mantener la interferencia entre portadoras adyacentes dentro de niveles aceptables.

En la tabla 2.4 se presentan ejemplos de capacidades binarias útiles R_u alcanzables en un transpondedor satelital con ancho de banda BW correspondiente a $BW/R_s = 1.28$

El estándar es flexible y da la libertad de seleccionar otro valor de BW/Rs acorde a los diferentes requerimientos que cierto servicio necesite, para dichos casos se debe considerar la variación entre la capacidad de transmisión y la degradación de Eb/No [9].

BW (at -3 dB) [MHz]	BW' (at -1 dB) [MHz]	Rs (for BW/Rs=1,28) [Mbaud]	Ru (for QPSK + 1/2 convol) [Mbit/s]	Ru (for QPSK + 2/3 convol) [Mbit/s]	Ru (for QPSK + 3/4 convol) [Mbit/s]	Ru (for QPSK + 5/6 convol) [Mbit/s]	Ru (for QPSK + 7/8 convol) [Mbit/s]
54	48,6	42,2	38,9	51,8	58,3	64,8	68,0
46	41,4	35,9	33,1	44,2	49,7	55,2	58,0
40	36,0	31,2	28,8	38,4	43,2	48,0	50,4
36	32,4	28,1	25,9	34,6	38,9	43,2	45,4
33	29,7	25,8	23,8	31,7	35,6	39,6	41,6
30	27,0	23,4	21,6	28,8	32,4	36,0	37,8
27	24,3	21,1	19,4	25,9	29,2	32,4	34,0
26	23,4	20,3	18,7	25,0	28,1	31,2	32,8

Tabla 2.4 Ejemplos de velocidad binaria versus ancho de banda del transpondedor [9]

NOTA: **Ru** representa la velocidad binaria luego del MUX MPEG-2. Rs (velocidad de símbolo) corresponde al ancho de banda de -3 dB de la señal modulada.

La relación BW/Rs determina el valor de Rs en un transpondedor satelital dado. Si por ejemplo se decide disminuir el valor de BW/Rs entonces la velocidad de símbolo aumenta y por consiguiente la velocidad binaria también pudiendo transmitir mayor cantidad de información. Sin embargo hay un límite mínimo de BW/Rs el cual está relacionado con un valor aceptable de distorsión (interferencia intersímbolo ISI) introducido por los filtros del satélite [8].

En la figura 2.17 se da un ejemplo basado en simulación en computador de la degradación de Eb/No a un BER = 2×10^{-4} debido a las limitaciones de ancho de banda (IMUX y OMUX). “La referencia 0 dB de degradación hace referencia al caso de un transpondedor satelital sin limitaciones de ancho de banda ($BW = \infty$), y con el TWTA saturado (OBO = 0 dB). Las velocidades de codificación interior 2/3 y 7/8, asociada con modulación QPSK sin codificación han sido analizadas” [8]. Cuando se desee usar los resultados de la figura 2.17 será deseable considerar ciertos márgenes de seguridad debido al envejecimiento y a las características térmicas del transpondedor [8].

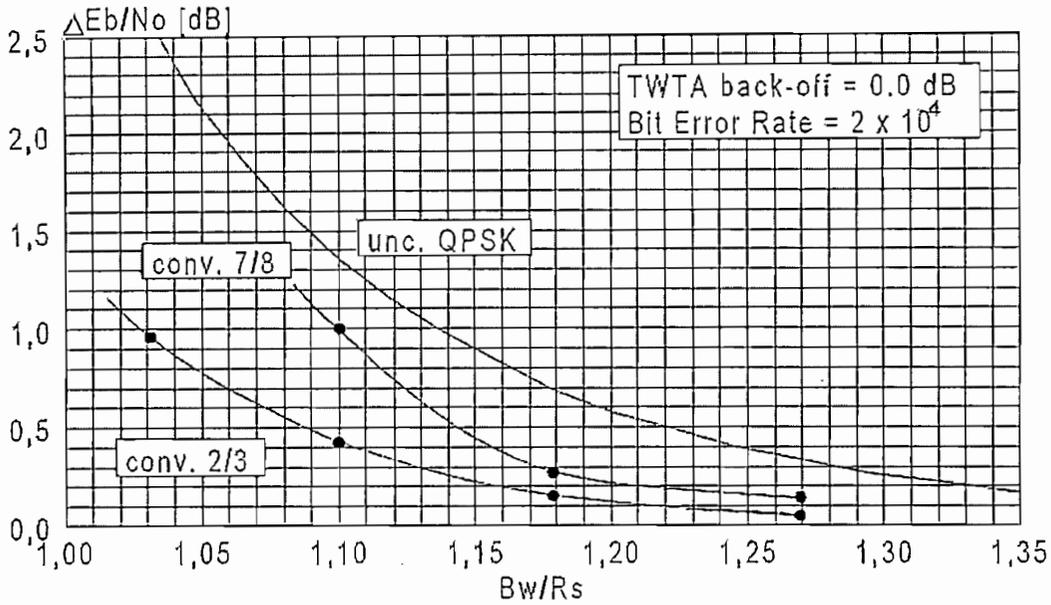


Fig 2.17 Degradación de E_b/N_0 debido a las limitaciones de ancho de banda del transpondedor ^[9]

2.2.2.2 E_b/N_0 vs BER

La sensibilidad al ruido, está representado por el valor de E_b/N_0 requerido para lograr un objetivo de BER. Este sistema ha sido diseñado para conseguir un objetivo de calidad casi libre de errores (QEF Quasi-Error-Free) lo que significa menos de un evento error sin corregir por hora, lo cual corresponde a un BER entre 10^{-10} y 10^{-11} a la entrada del demultiplexor MPEG-2.

El módem, conectado en el laso de IF (frecuencia intermedia) debe encontrar los requerimientos de BER vs E_b/N_0 tal como se indican en la tabla 2.5 ^[9]. Otro parámetro importante en el análisis de un sistema de transmisión es la eficiencia espectral, valores que se los aprecia en la siguiente tabla.

Velocidad de codificación interior	Eficiencia espectral (bits/símbolo)	Margen de implementación Modema (dB)	Eb/No (dB) requerido para BER = 2 x 10 ⁻⁴ luego de Viterbi QEF luego de Reed-Solomon
1/2	0.92	0.8	4.5
2/3	1.23	0.8	5.0
3/4	1.38	0.8	5.5
5/6	1.53	0.8	6.0
7/8	1.61	0.8	6.4

Tabla 2.5 Desempeño del sistema en el laso IF ^{[8]y[9]}

NOTA: Los valores de Eb/No se refieren a una velocidad binaria útil antes de la codificación RS; e incluyen un margen de implementación 0.8 dB y el incremento de ancho de banda del ruido debido a la codificación exterior (10log188/204 = 0.36 dB)

El valor de eficiencia espectral se lo obtiene de la siguiente forma:

$$\delta = \frac{V_{tx}}{AB} \quad (2.9)$$

Donde:

V_{tx} = Velocidad de transmisión (bps)

AB = Ancho de banda ocupado

Al considerar que el sistema utiliza un esquema de codificación Reed-Solomon y luego uno convolucional de velocidad k/n, se tiene una velocidad binaria mayor a la original V_{tx}, así:

$$V_{tx}' = V_{tx} * \frac{204}{188} * \frac{n}{k} \quad (2.10)$$

Al usar modulación QPSK se tienen 2 bits por estado de modulación, entonces:

$$R_s = \frac{V_{tx'}}{2 \text{ bits / estado}} [\text{baudios}] = \frac{V_{tx}}{2} * \frac{204}{188} * \frac{n}{k} \quad (2.11)$$

$$AB = R_s$$

$$\delta = \frac{V_{tx}}{\frac{V_{tx}}{2} * \frac{204}{188} * \frac{n}{k}}$$

$$\delta = \frac{1}{\frac{1}{2} * \frac{204}{188} * \frac{n}{k}} \quad (2.11)$$

Al usar la ecuación (2.11) se obtiene los valores de eficiencia espectral de la tabla 2.5. Es de señalar que para este cálculo se ha considerado el valor de la relación $BW/R_s = AB/R_s = 1$. Si se desea analizar para otro valor mayor a la unidad, bastará con dividir el valor de eficiencia espectral de la tabla 2.5 por el nuevo valor de BW/R_s .

De un estudio similar ^[13] se ha logrado obtener los siguientes gráficos de interés para el presente estudio. La figura 2.18 muestra el desempeño analítico de todos los códigos convolucionales considerados en el estándar DVB-S. Mientras que la figura 2.19 muestra los resultados analíticos para la concatenación de Reed-Solomon con los códigos convolucionales incluyendo intercalado.

Es de señalar que los valores mostrados en la figura 2.19 no contemplan el margen de 0.8 dB de implementación del módem, ni el incremento de ancho de banda del ruido debido a la codificación exterior ($10 \log 188/204 = 0.36$ dB).

Tal como se aprecia en la figura 2.19, la variación de BER respecto de E_b/N_0 presenta una pendiente muy pronunciada, lo cual indica que existe un pequeño rango de variación de E_b/N_0 para pasar de una transmisión casi libre de errores a pérdida de la comunicación.

Por esta característica del sistema DVB, en el momento de realizar diseños no se debe

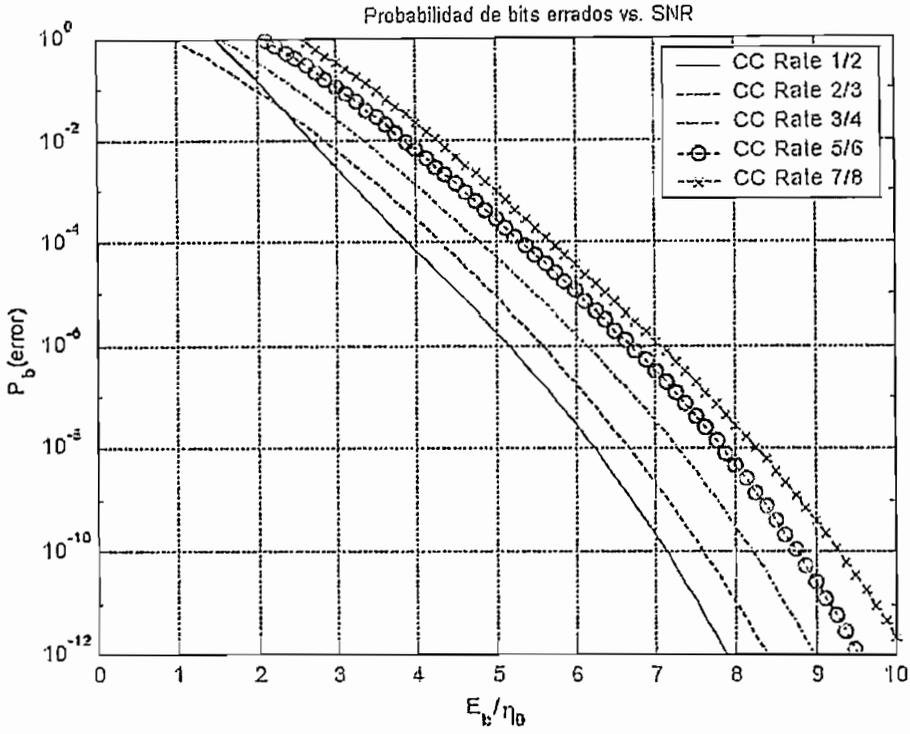


Fig. 2.18 Desempeño de los códigos convolucionales [13]

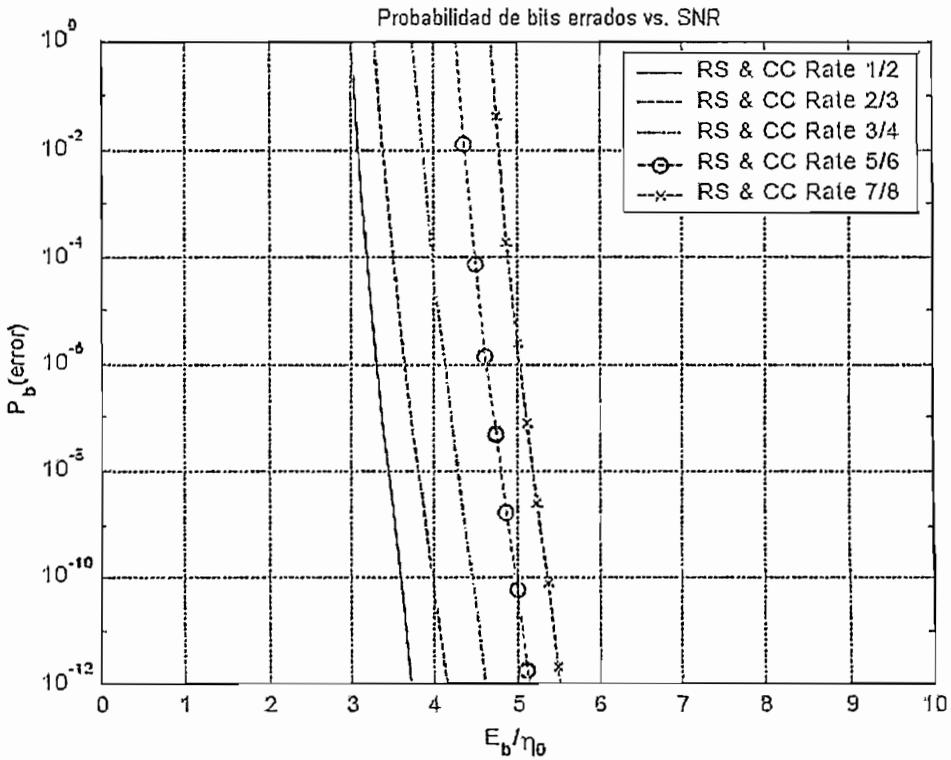


Fig. 2.19 Desempeño de el Código Reed-Solomon concatenado con Códigos convolucionales [13]

considerar el 99% del peor mes en el contorno del área de cobertura, sino que se debe considerar un excedente en el objetivo de calidad de servicio, como por ejemplo más del 99.6% del peor mes, correspondiendo aproximadamente al 99.9% del año promedio [8].

El sistema DVB-S utiliza transmisión sincrónica, entonces acorde a forma de los paquetes mostrados en las figuras 2.2 y 2.5 se puede obtener la eficiencia de la transmisión sincrónica tal como se muestra en la tabla 2.6

Velocidad de codificación	Eficiencia Luego de RS (%)	Eficiencia incluyendo CC (%)
1/2	90,20	45,10
2/3	90,20	60,13
3/4	90,20	67,65
5/6	90,20	75,16
7/8	90,20	78,92

CC= Codificación convolucional

Tabla.2.6 Eficiencia de la transmisión sincrónica.

Tal como se aprecia en la tabla anterior la eficiencia luego de la codificación RS es un 90.2% ya que de los 204 bytes resultantes solo 184 poseen carga de información, el resto son utilizadas para sincronismo, cabecera y protección contra errores. Mientras que luego de la codificación convolucional se añaden bits de redundancia lo cual disminuye la eficiencia. Este valor de eficiencia debe ser interpretado como la cantidad de información útil enviada respecto de la cantidad total de información enviada.

Al considerar los valores de E_b/N_0 y de densidad espectral se aprecia claramente que este estándar es muy robusto para la detección y corrección de errores, pero no aprovecha muy bien el ancho de banda, lo cual justamente lo hace apropiado para la aplicación inicial con que fue desarrollado como lo es la televisión directo a casa (DTH), pero no impide que se lo puede aplicar en transmisión de datos.

Capítulo 3

Ancho de banda TCP sobre el satélite

3.1 INTRODUCCIÓN

Cuando se tiene un canal de comunicaciones satelital se debe considerar el hecho de que existirá un retardo elevado en comparación con otras redes de comunicaciones terrenas, esto se debe a la gran distancia que deben recorrer las señales para llegar desde una estación terrena hasta el satélite, que para el caso de los satélites geoestacionarios es de aproximadamente 36000 km. Ya que las estaciones terrenas se pueden ubicar en distintos lugares de la superficie terrestre se tendrán diferentes distancias con lo cual variará el tiempo que tarda la señal en propagarse desde una estación hasta otra; este tiempo puede variar desde 239.6 [ms] hasta 279 [ms] ^[14], este retardo es únicamente para el recorrido estación terrena-satélite-estación terrena. Por consiguiente el retardo de propagación de un mensaje y su correspondiente réplica debería ser al menos 558 [ms] ^[15].

Este gran retardo sumado a otras características de los canales satelitales afectan al comportamiento de los protocolos de la capa de transporte ^[16] como es TCP, el cual percibe este retardo como un indicativo de que el enlace tiene una mala calidad y reacciona automáticamente manteniendo el tamaño de la ventana pequeño y aumentando el número de peticiones de reconocimiento lo cual disminuye su rendimiento ^[2]. De ahí la necesidad de usar ciertos mecanismos que ayuden a mejorar el desempeño de TCP sobre enlaces satelitales.

Se debe considerar además del rendimiento de TCP, otros factores importantes en el momento de diseñar redes que contienen enlaces satelitales; entre esos factores se puede señalar: el protocolo de capa enlace de datos, el protocolo de capa aplicación a usar, el tamaño de los buffers que los ruteadores deben manejar, entre otros ^[15]. En el presente estudio únicamente se abordará el tema del comportamiento de TCP en enlaces satelitales y algunos de los mecanismos usados para mejorar su desempeño.

3.2 INTRODUCCIÓN A TCP

TCP (Transmission Control Protocol) es un protocolo de capa transporte que se encarga de la transferencia de datos extremo a extremo. Este protocolo ofrece servicios a los usuarios del servicio de transporte (TS, Transport Service), estos usuarios pueden ser FTP, SMTP, TELNET y HTTP los mismos que se despreocupan de los detalles del sistema de comunicaciones subyacentes ^[17].

TCP es un protocolo orientado a conexión lo cual implica que el servicio es fiable existiendo además un establecimiento, mantenimiento y cierre de la conexión.

Ofrecer un servicio fiable a los usuarios del servicio de transporte resulta una tarea compleja cuando se tiene un servicio de red no fiable como es el caso de interconexión de redes IP. “El problema no consiste solo en que los segmentos puedan perderse ocasionalmente, sino en que los segmentos pueden no llegar en secuencia debido al retardo variable del tránsito” ^[17].

Al estudiar TCP debemos considerar ciertos aspectos de interés en este protocolo como son:

- Entrega ordenada.
- Estrategia de retransmisión.
- Detección de duplicados.
- Control de flujo.
- Establecimiento de la conexión.
- Cierre de la conexión.
- Recuperación ante fallos.

3.2.1 ENTREGA ORDENADA

Para garantizar una entrega ordenada de los segmentos TCP se utiliza la técnica de numeración secuencial de los segmentos, TCP usa una manera especial de numeración en la cual se numera implícitamente a cada octeto de datos, por ejemplo si el primer segmento tiene un *número de secuencia (SN)* igual a 1 y contiene 300 octetos de datos, el siguiente segmento tendrá su número de secuencia igual a 301 y así sucesivamente.

3.2.2 ESTRATEGIA DE RETRANSMISIÓN

Cuando un segmento llega dañado hasta el otro extremo o cuando dicho segmento no llega es necesario realizar una retransmisión. En el primer caso la entidad de transporte receptora detecta que el segmento contiene errores gracias a una suma de comprobación agregada al segmento y lo descarta. En cualquiera de los dos casos la entidad de transporte emisora no sabe que la transmisión no se ha realizado con éxito por ello es necesario usar un *esquema de confirmaciones positivas*, este esquema puede proporcionar confirmaciones acumuladas. *Por ejemplo:* una entidad de transporte envía segmentos de longitud constante conteniendo cada uno 200 octetos de datos; la entidad receptora puede recibir los segmentos numerados como 1, 201 y 401 y enviar únicamente un *número de confirmación (AN)* 601 indicando a la entidad emisora que ha aceptado los segmentos con AN = 401 y anteriores, esperando por consiguiente el segmento cuyo número de secuencia es el 601 ^[17].

Para hacer posible una retransmisión es necesario tener temporizadores asociados a cada segmento enviado, así si un temporizador expira se debe realizar la retransmisión. Para que esto funcione eficientemente se debe fijar un valor adecuado a los temporizadores, se puede optar por dos estrategias: la primera sería asignar un valor fijo al temporizador con el riesgo de que si ese valor es muy corto se realizarán retransmisiones innecesarias o si es muy alto el protocolo se volverá lento, un valor adecuado para el temporizador sería uno un poco mayor al retardo de ida y vuelta de los segmentos.

La segunda estrategia es usar un temporizador variable, esto implicaría que la entidad emisora aprende del comportamiento de la red y mide el tiempo que se demoran en llegar las confirmaciones y fija su temporizador a un valor acorde a la media de los retardos observados.

Las dos técnicas anteriores para fijar los temporizadores no son perfectas pues cada una tiene sus inconvenientes y siempre habrá alguna incertidumbre respecto del mejor valor para el temporizador de retransmisión.

Existen varios temporizadores usados para el correcto funcionamiento de TCP, los que se muestran en la tabla 3.1.

Temporizador	Descripción
Temporizador de retransmisión	Para retransmitir un segmento no confirmado
Temporizador de reconexión	Tiempo mínimo entre el cierre de una conexión y el establecimiento de otra con la misma dirección destino
Temporizador de ventana	Tiempo máximo entre segmentos ACK/CREDIT
Temporizador de retransmisión de SYN	Intervalo de tiempo entre intentos de establecimiento de una conexión
Temporizador de persistencia	Utilizado para abortar una conexión cuando no se confirma ningún segmento
Temporizador de inactividad	Utilizado para abortar una conexión cuando no se recibe ningún segmento.

Tabla 3.1 Temporizadores del protocolo de transporte ^[17].

3.2.3 DETECCIÓN DE DUPLICADOS

El hecho de realizar una retransmisión implica el riesgo de que en el extremo del receptor se puedan recibir duplicados, esto se puede dar debido a la pérdida de un acuse de recibo (ACK) lo cual hace que el temporizador de retransmisión expire y el emisor entienda que su paquete se perdió por ende debe retransmitirlo generando un duplicado. Los paquetes llevan números de secuencia lo cual ayuda a la entidad receptora a detectar los duplicados y descartarlos.

Existen dos casos en los que se pueden recibir los duplicados ^[17]:

- Se recibe un duplicado antes del cierre de la conexión.
- Se recibe un duplicado después de que se haya cerrado la conexión.

Para el caso de que se reciba un duplicado antes del cierre de la conexión se debe considerar dos tácticas:

- El receptor debe confirmar el duplicado ya que asume que su confirmación se perdió, además el emisor no debe confundirse si recibe varias confirmaciones positivas del mismo segmento.
- Se debe garantizar que existan suficientes números de secuencia de manera que no se agote antes del tiempo máximo de vida posible de un segmento.

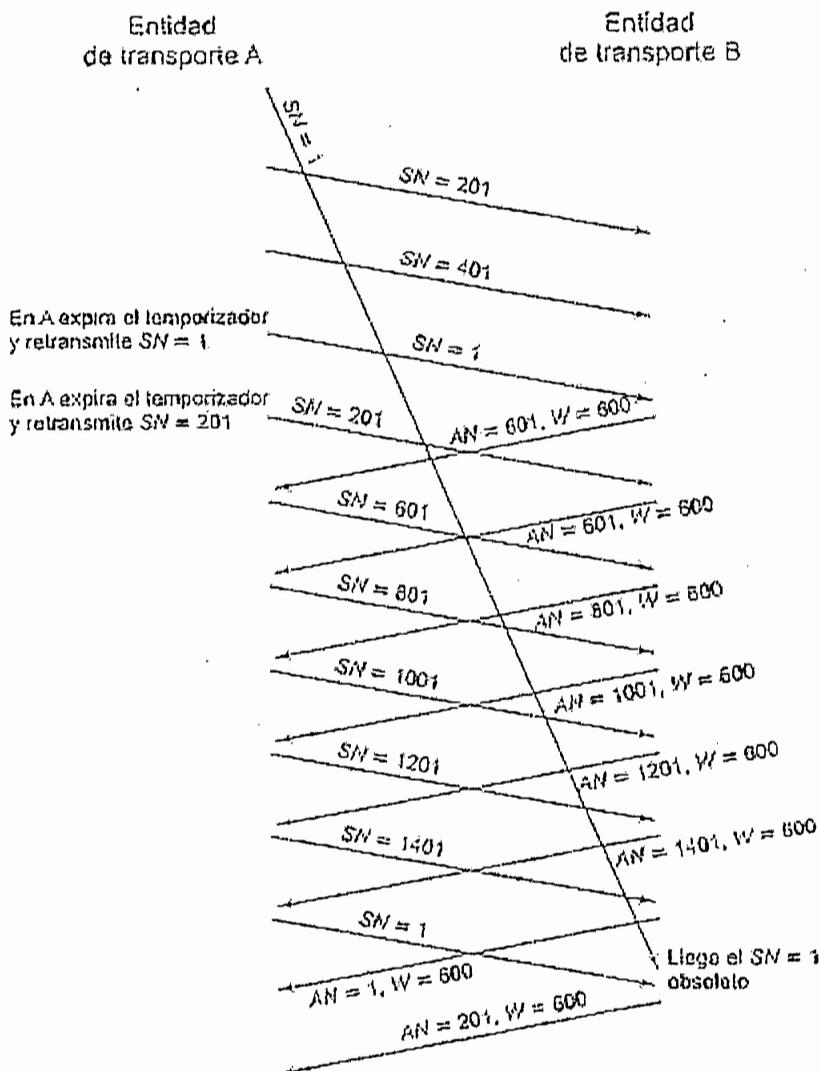


Fig. 3.1 Ejemplo de detección incorrecta de duplicados. [17]

En la Figura 3.1 se muestra un ejemplo de una detección incorrecta de duplicados debido a un rango de números de secuencia inadecuado.

En la figura se ve que la entidad de transporte B acoge el paquete con número de secuencia $SN = 1$ que se retardó, y descarta el paquete correcto, de allí la importancia de tener suficientes números de secuencia.

3.2.4 CONTROL DE FLUJO

El control de flujo que usa TCP es un esquema de asignación de créditos. Para hacer posible este esquema de control de flujo es necesario incluir en la cabecera de los segmentos TCP un campo que indica el tamaño de la ventana (W) además del número de secuencia (SN) y del número de confirmación (AN). Así cuando una entidad de transporte envía un segmento incluye en dicho segmento el número de secuencia del primer octeto de datos, la entidad de transporte que recibe la información confirma el segmento recibido con un segmento de retorno que incluye ($AN = i$, $W = j$) lo cual se debe interpretar de la siguiente manera: aquellos segmentos con números que lleguen hasta $SN = i - 1$ se confirman, el siguiente octeto esperado es el que tiene su número de secuencia igual a i ; además se concede permiso para enviar una ventana de octetos de datos igual a $W = j$, es decir aquellos j octetos cuyos números de secuencia se encuentren entre i e $i + j - 1$ [17].

En la figura 3.2 se muestra un esquema de la percepción del control de flujo desde el punto de vista del emisor y del receptor.

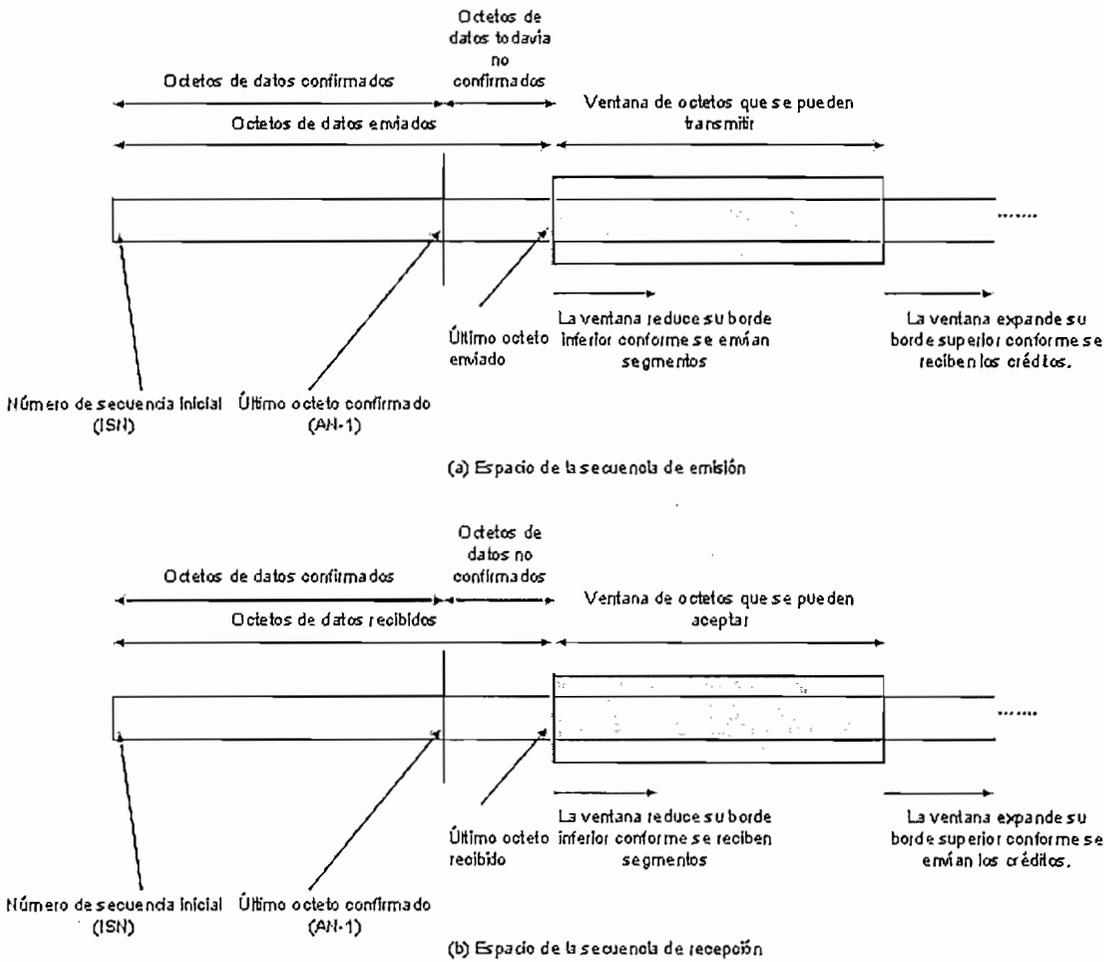


Fig 3.2 Perspectivas del control de flujo en el envío y en la recepción [17].

3.2.5 ESTABLECIMIENTO DE LA CONEXIÓN

Para que dos entidades TCP puedan establecer una conexión TCP se debe tener en cuenta que se está trabando con un servicio de red no confiable, lo cual hace necesario usar el procedimiento conocido como *diálogo en tres pasos* a través del cual se confirma explícitamente el SYN y el número de secuencia de la otra entidad.

En la figura 3.3 se ilustra el funcionamiento del dialogo en tres pasos

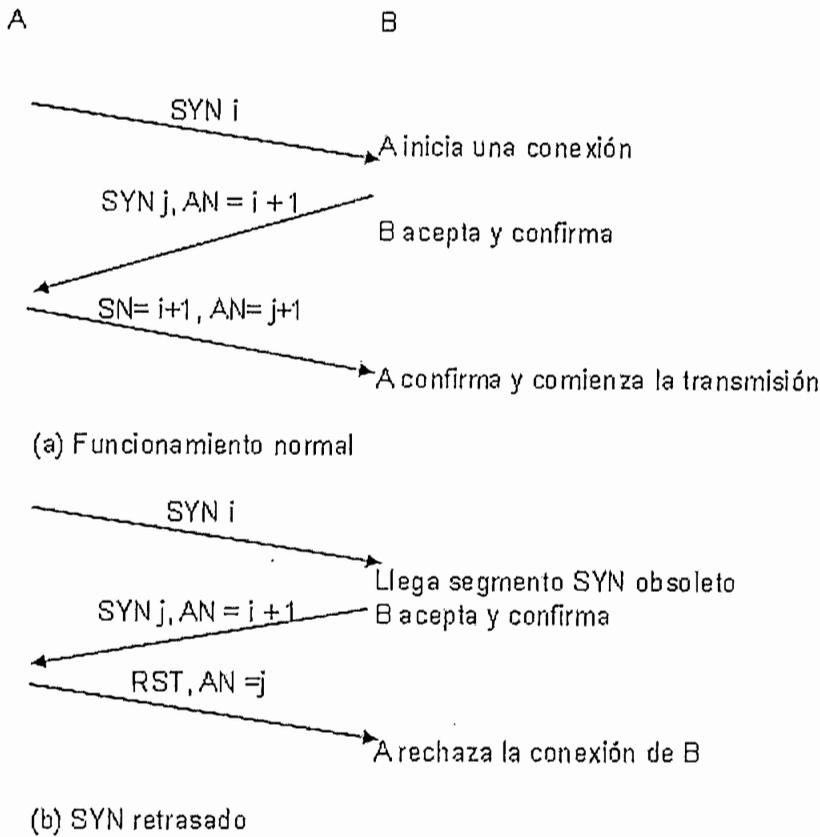
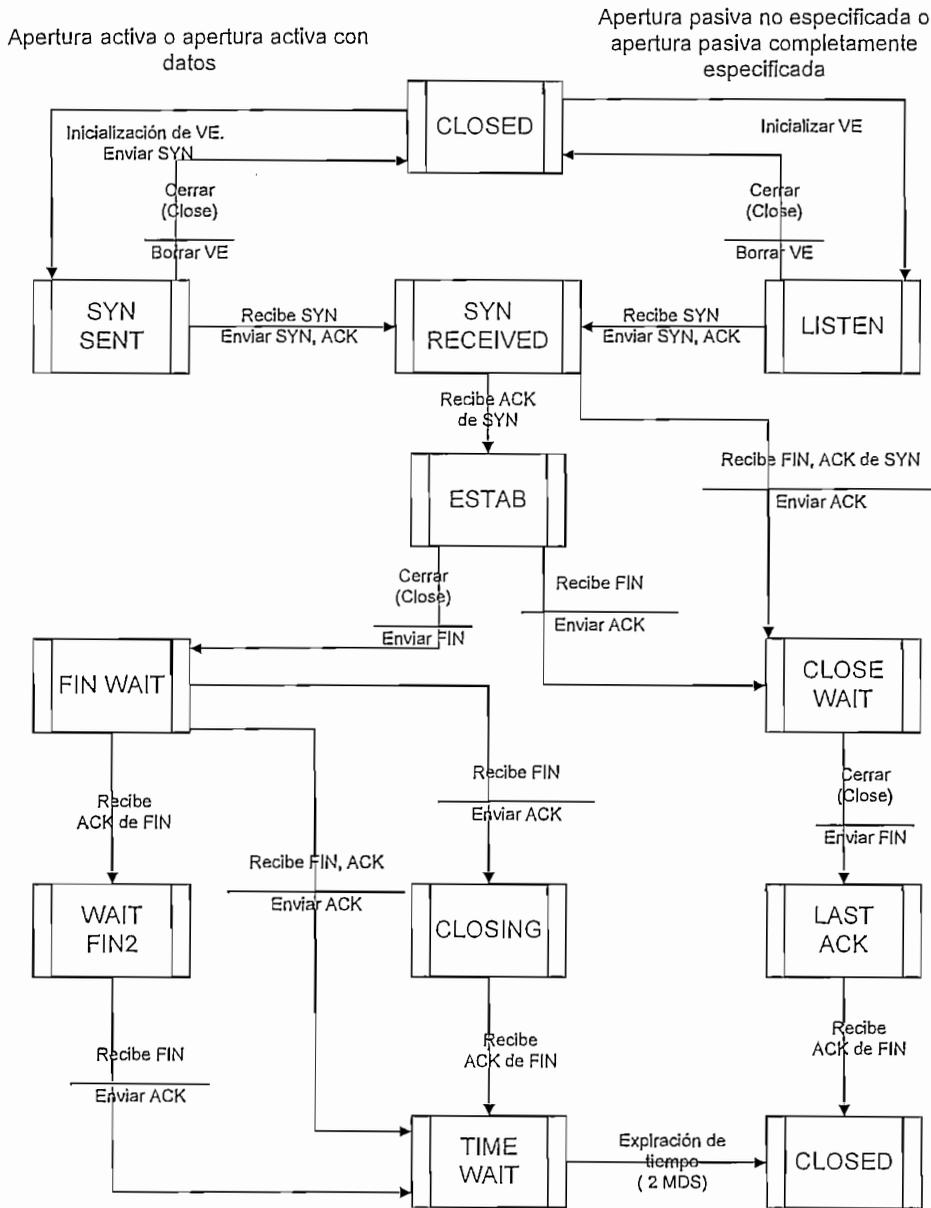


Fig 3.3 Ejemplos de diálogo en tres pasos [17].

La figura 3.3a ilustra el funcionamiento normal del procedimiento de establecimiento de una conexión. La entidad TCP denotada como A desea establecer una conexión con B para lo cual envía un segmento SYN i , el valor i es el número de secuencia inicial (ISN), el primer octeto de datos a transmitir tendrá el número de secuencia $i+1$. Posteriormente la entidad B confirma el ISN con $AN=i+1$ y envía su propio ISN.

La entidad B confirma el SYN/ACK de B en su primer segmento de datos. La Figura 3.3b muestra un caso en el que una entidad de transporte recibe un segmento SYN obsoleto, caso en el cual la otra entidad se da cuenta que esa conexión no ha sido solicitada y la rechaza a través de un RST. Una comprensión más detallada del funcionamiento de TCP en cuanto al establecimiento y cierre de conexiones se puede obtener al comprender el diagrama de estados de una entidad TCP que se muestra en la Figura 3.4



VE = Vector de Estado
MDS = Máxima duración de segmento

Fig 3.4 Diagrama de estados de la entidad TCP [17].

3.2.6 CIERRE DE LA CONEXIÓN

El proceso de cierre de sesión en TCP es similar al adoptado en el inicio de sesión, en el cual "cada extremo debe explícitamente confirmar el segmento FIN del otro usando un ACK con número de secuencia del FIN a confirmar" [17].

Se ha visto la necesidad de que los FIN tengan número de secuencia justamente por el hecho de que el servicio de red no garantiza entrega ordenada de la información y se podría dar el caso en el cual el segmento FIN llegue antes que otros paquetes de información.

Para poder realizar el cierre correctamente, una entidad de transporte requiere lo siguiente ^[17]:

- Debe enviar un FIN i y recibir un AN $= i+1$.
- Debe recibir un FIN j y enviar AN $= j + 1$.
- Debe esperar un intervalo de tiempo igual a dos veces el máximo tiempo de vida esperado de un segmento.

La Figura 3.4 muestra el diagrama de estados de la entidad TCP para el cierre de la conexión.

3.2.7 RECUPERACIÓN ANTE FALLOS

Es necesario considerar el caso en el cual la comunicación entre las entidades de transporte falla, o simplemente una de las entidades falla ocasionando la pérdida de la información de estado de todas conexiones. En este último caso la entidad que no se vio afectada no sabe que el otro extremo ha fallado, por consiguiente las conexiones pasan a estar “semiabiertas”.

Para proceder a cerrar la conexión la entidad que no se vio afectada debe darse cuenta del fallo al no recibir respuesta del otro extremo usando un *temporizador de persistencia*, el mismo que espera un tiempo adecuado luego de haber retransmitido el número máximo de veces permitido un mismo segmento. Si la entidad que falló se recupera rápidamente la conexión se puede cerrar usando segmentos RST.

La decisión de reestablecer la conexión se la deja a los usuarios del sistema de transporte.

3.2.8 SERVICIOS TCP

Cuando se están transmitiendo datos entre entidades TCP, normalmente TCP decide cuando se han acumulado suficientes datos para formar un segmento para transmitirlo, pero TCP puede etiquetar los datos haciéndolos *forzados* o *urgentes* si fuere necesario.

- Flujo de datos forzado.- Cuando se detecta una interrupción lógica en el flujo de datos, el usuario TCP puede solicitar que se transmitan todos los datos pendientes a los que incluye una etiqueta con el indicador forzado. En el extremo receptor, TCP entregará los datos al usuario de la misma manera.
- Señalización de datos urgentes.- Esta señalización es un medio para informar al usuario TCP destino que el flujo de datos que recibe existen datos urgentes.

“Los servicios proporcionados por TCP se definen en términos de primitivas y parámetros”^[17]. La tabla 3.2 enlista las primitivas de solicitud de servicio TCP, que son emitidas por un usuario TCP a TCP. La Tabla 3.3 enlista las primitivas de respuesta de servicio TCP, que son emitidas por TCP a un usuario TCP local. Mientras que la tabla 3.4 da una breve definición de los parámetros involucrados.

Las primitivas de apertura pasiva indican el deseo del usuario TCP de aceptar una petición de conexión. Mientras que las primitivas de apertura activa indican el deseo de iniciar una conexión.

Primitiva	Parámetros	Descripción
Apertura pasiva no especificada (Unspecified Passive Open)	puerto origen, [tiempo de expiración], [acción tras expiración], [precedencias], [rango de seguridad]	Preparado para intentos de conexión desde cualquier destino remoto, con una seguridad y precedencias especificadas
Apertura pasiva completamente especificada (Fully Specified Passive Open)	puerto origen, puerto destino, dirección-destino, [tiempo de expiración], [acción tras expiración], [precedencia], [rango de seguridad]	Preparado para intentos de conexión desde destino remoto especificado con una seguridad y precedencia particular.
Apertura Activa (active Open)	puerto origen, puerto destino, dirección destino, [tiempo de expiración], [acción tras expiración], [precedencia], [seguridad]	Solicita una conexión a un destino especificado, con una seguridad y precedencia particulares.
Apertura activa con datos (Activa open with data)	puerto origen, puerto destino, dirección destino, [tiempo de expiración], [acción tras expiración], [precedencia], [seguridad], datos, longitud de datos, indicador FORZADO, indicador URGENTE	Solicita una conexión a un destino especificado, con una seguridad y precedencia particulares, transmitiendo datos con la solicitud.
Enviar (Send)	nombre de conexión local, datos, longitud de datos, indicador FORZADO, indicador URGENTE, [tiempo de expiración], [acción tras expiración]	Transfiere datos a través de la conexión indicada.
Asignar (Allocate)	nombre de la conexión local, longitud de datos	Expide un incremento en la asignación de créditos para la recepción de datos en TCP.
Cerrar (Close)	nombre de la conexión local.	Efectúa un cierre ordenado de la conexión.
Abortar (Abort)	nombre de la conexión local	Efectúa un cierre abrupto de la conexión.
Estado (Status)	nombre de conexión local	Consulta el estado de la conexión.

NOTA: los corchetes indican parámetros opcionales.

Tabla 3.2 Primitivas de solicitud de servicio TCP ^[17]

Primitiva	Parámetros	Descripción
Indicador de apertura (ID)	nombre de la conexión local, puerto origen, puerto destino*, dirección destino*	Informa al usuario TCP del nombre la conexión asignado a la conexión pendiente solicitada mediante una primitiva de apertura
Apertura fallida (Open Failure)	nombre de la conexión local.	Informa sobre un fallo de una solicitud de apertura activa
Apertura correcta (Open Success)	nombre de la conexión local	Informa sobre la conclusión de una solicitud de apertura pendiente.
Entrega (Deliver)	nombre de conexión local, datos, longitud de datos, indicador URGENTE.	Informa sobre la entrega de datos.
Cierre (Closing)	nombre de la conexión local	Informa que el usuario TCP remoto ha emitido una orden <<cerrar>> y que todos los datos enviados por el mismo has sido entregados.
Terminación (Terminate)	nombre de la conexión local, descripción.	Informa que la conexión se ha terminado. Se proporciona una descripción de la razón por la que ha finalizado.
Respuesta de estado (Status Response)	nombre de la conexión local, puerto origen, puerto destino, dirección origen, dirección destino, ventana de recepción, ventana de envío, cantidad que espera ACK, cantidad por recibir, estado urgente, precedencia, seguridad, tiempo de expiración.	Informa del estado actual de la conexión
Error (Error)	nombre de la conexión local, descripción.	Notifica errores internos o referentes a la solicitud de un servicio.

* = No empleado en la apertura pasiva no especificada.

Tabla 3.3 Primitivas de respuesta del servicio TCP ^[17].

Parámetro	Descripción
Puerto Origen	Usuario TCP local
Tiempo expiración	El mayor retardo permitido para la entrega de datos antes de efectuar un cierre automático de la conexión o de generar un informe de error. Especificado por usuario.
Acción tras expiración	Indica qué hacer en caso de expiración de tiempo: terminar la conexión o notificar un error al usuario TCP.
Precedencia	Nivel de precedencia para una conexión. Toma valores de cero (el más bajo) a siete (más alto). Es el mismo parámetro que en IP.
Rango de seguridad	Rangos permitidos en comportamiento, restricciones en la gestión, códigos de control de transmisión y niveles de seguridad.
Puerto destino	Usuario TCP remoto
Dirección destino	Dirección Internet del computador remoto.
Seguridad	Información de seguridad de una conexión, incluyendo el nivel de seguridad, comportamiento, restricciones en la gestión y códigos de control de transmisión. Son los mismos parámetros que en IP.
Datos	Bloque de datos enviados por el usuario TCP o entregado a un usuario TCP
Longitud datos	Longitud de los datos enviados o entregados.
Indicador FORZADO (PSH)	Si está activado indica que a los datos asociados se les debe proporcionar el servicio de flujo de datos forzado
Indicador URGENTE (URG)	Si está activado indica que a los datos asociados se les debe proporcionar el servicio de señalización de datos urgentes.
Nombre de la conexión local	Indicador de la conexión definida por un par del tipo (socket local, socket remoto).El socket está definido por la estación y por el puerto. Lo proporciona TCP.
Descripción	Información suplementaria en una primitiva <i>Terminate</i> o <i>Error</i> .
Dirección fuente	Dirección internet del computador local.
Estado de la conexión	Estado de la conexión referenciada (CLOSED, ACTIVE, OPEN, PASSIVE OPEN, ESTAB, CLOSING).
Ventana de recepción	Cantidad de datos en octetos, que la entidad TCP local está dispuesta a recibir.
Ventana de envío	Cantidad de datos en octetos, que permite enviar la entidad TCP remota.
Cantidad que espera ACK	Cantidad de datos previamente transmitidos que esperan confirmación.
Cantidad por recibir	Cantidad de datos en octetos, almacenados temporalmente en la entidad TCP local, pendientes de ser recibidos por el usuario TCP local
Estado urgente	Informa al usuario TCP que recibe datos de si hay datos urgentes disponibles o de si todos los datos urgentes, en caso de que hubieran, han sido entregados al usuario.

Tabla 3.4 Parámetros de servicio TCP [17].

3.2.9 FORMATO DE LA CABECERA TCP

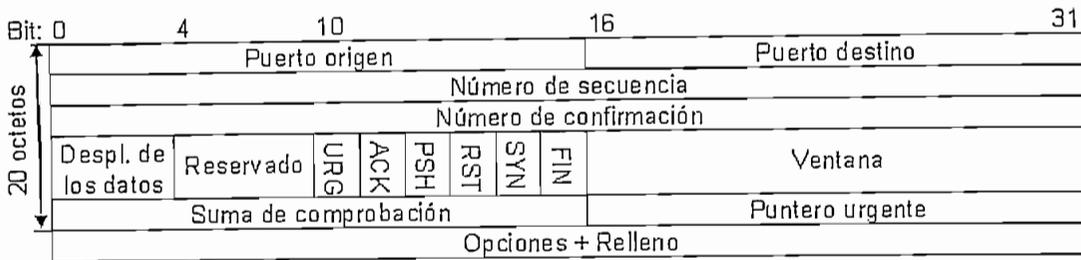


Figura 3.5 Cabecera de TCP

La cabecera TCP se muestra en la figura 3.5 y contiene los siguientes campos:

- Puerto origen (16 bits).- Usuario TCP origen.
- Puerto destino (16 bits).- Usuario TCP destino
- Número de secuencia (32 bits).- Es el número de secuencia de primer octeto de datos de ese segmento, excepto cuando se encuentra presente el indicativo SYN. Si el indicativo SYN está presente entonces el número de secuencia representa el número de secuencia inicial (ISN) y el primer octeto de datos es ISN+1.
- Número de confirmación (32 bits).- Es el número de secuencia del siguiente octeto que la entidad emisora espera recibir.
- Longitud de la cabecera (4 bits).- Es el número de palabras de 32 bits de la cabecera TCP.
- Reservado (6 bits).- Reservados para uso futuro (deben ser cero).
- Indicadores o bits de control (6 bits)
 - URG: Este bit activa o desactiva el campo de puntero urgente.
 - ACK: Valida o invalida el campo de número de confirmación
 - PSH: Función de forzado (PUSH)
 - RST: Resetea la conexión
 - SYN: Sincroniza los números de secuencia.
 - FIN: El emisor no enviará más datos.
- Ventana (16 bits).- Indica la cantidad de octetos que la entidad emisora del segmento está dispuesta a aceptar iniciando con el indicado por el número de confirmación.

- Suma de comprobación (16 bits).- Es una suma de verificación usada para garantizar la integridad de segmento TCP, al realizar esta suma se incluye una pseudo-cabecera lo cual brinda protección contra paquetes mal enrutados.
- Puntero urgente (16 bits).- Es valor es válido si el bit de control URG está fijado, este valor se suma al número de secuencia del segmento para indicar el número de secuencia del último octeto de datos urgente
- Opciones (Variable)

“TCP está diseñado específicamente para trabajar con IP. Por tanto, algunos parámetros de usuario se pasan de TCP a IP para su inclusión en la cabecera IP. Los más relevantes son”:

- Precedencia.
- Retardo.
- Fiabilidad.
- Seguridad.

3.2.10 OPCIONES EN LOS CRITERIOS DE IMPLEMENTACIÓN DE TCP

El estándar TCP ofrece ciertas libertades en cuanto a la implementación de este protocolo en lo que se refiere a:

- Políticas de envío.
- Políticas de entrega.
- Políticas de aceptación.
- Políticas de retransmisión.
- Políticas de confirmación.

Dos entidades TCP que tengan implementaciones diferentes pueden interactuar, pero el rendimiento se puede ver afectado.

3.2.10.1 Políticas de envío.- Cuando a una entidad TCP se le ha asignado crédito para enviar datos y no tiene datos marcados como forzados, entonces dicha entidad tiene la libertad de formar los segmentos conforme el usuario TCP envía sus datos y enviarlos

de inmediato, o puede esperar a que se acumule una determinada cantidad de datos para luego enviarlos. La política a adoptarse debe considerar el rendimiento deseado.

3.2.10.2 Políticas de entrega.- De manera similar a la anterior una entidad TCP receptora puede entregar los datos a su usuario justo luego que recibe los datos en orden o puede acumular datos de varios segmentos recibidos para su posterior entrega.

3.2.10.3 Políticas de aceptación.- Cuando se envían segmentos sobre una red, estos pueden llegar en desorden ante lo cual la entidad TCP receptora puede optar por dos diferentes opciones:

Aceptación ordenada.- En este criterio se aceptan únicamente los segmentos que llegan en orden y se rechazan aquellos que lleguen en desorden.

Aceptación en ventana.- Bajo este criterio se aceptan segmentos que se encuentren dentro de la ventana de aceptación, es necesario también manejar un esquema de almacenamiento de datos más complejo y también ayuda a reducir las transmisiones.

3.2.10.4 Políticas de retransmisión.- Cuando una entidad TCP ha enviado una cola de segmentos que esperan confirmación y no se recibe una confirmación dentro de un tiempo determinado, se tienen tres opciones de retransmisión:

Solo el primero.- Se posee un solo temporizador por toda la cola, si el temporizador expira se retransmite solo el primer segmento de la cola y se reinicia el temporizador. Si se recibe una confirmación se elimina de la cola el o los segmentos correspondientes y se reinicia el temporizador.

Por lotes.- Se mantiene un temporizador por toda la cola de datos sin confirmar, en caso de expiración del temporizador se procede a la retransmisión de toda la cola y se reinicia el temporizador.

Individual.- Bajo este criterio se posee un temporizador por cada segmento enviado, si expira un temporizador se reenvía el segmento correspondiente y se reinicia el temporizador.

3.2.10.5 Políticas de confirmación.- Cuando llega un segmento en orden, la entidad TCP tiene dos opciones en cuanto a la generación de las confirmaciones:

Inmediata.- Cuando llega un segmento de datos, inmediatamente se envía un segmento vacío (sin datos) que confirma la llegada de dicho segmento.

Acumulada.- Con la llegada de un segmento de datos se registra la necesidad del envío de una confirmación, pero dicha confirmación se la puede enviar con el próximo segmento de datos. Se establece un *temporizador de ventana* para evitar grandes retardos, en caso de que este temporizador expire se envía un segmento vacío con la correspondiente confirmación.

3.3 MEJORA DE TCP SOBRE CANALES SATELITALES

Ya que el rendimiento de TCP se ve afectado en enlaces satelitales es necesario tomar ciertas medidas que ayuden a mejorar el rendimiento de TCP en este tipo de enlaces entre ellos se encuentran mecanismos no-TCP y mecanismos TCP.

3.3.1 MECANISMOS NO-TCP

El protocolo de capa enlace que se utilice puede afectar al rendimiento de los protocolos de capas superiores entre ellos el de capa transporte ^[15]. Los mecanismos no-TCP son mecanismos aplicables a capas inferiores a la capa transporte, entre estos podemos señalar: Descubrimiento de la unidad máxima de transmisión en la ruta (Path MTU Discovery) y Corrección de errores en el receptor (Forward Error Correction).

3.3.1.1 Descubrimiento de la Unidad Máxima de Transmisión en la ruta (Path MTU Discovery)

Este mecanismo es usado para determinar el tamaño máximo de los paquetes que pueden ser transmitidos en una ruta determinada dentro de una red, de modo que no se de la fragmentación IP. Esto ayuda a TCP a usar el tamaño de los paquetes lo más grande posible.

Una de las desventajas de usar Descubrimiento de la Unidad Máxima de Transmisión en la ruta (Path MTU Discovery) es que puede causar un retardo antes que TCP pueda enviar sus datos.

Para comprender de mejor manera cómo funciona este mecanismo daremos un ejemplo: Un equipo Terminal desea transmitir información hacia un equipo remoto, el equipo local envía un paquete de tamaño apropiado para la red local (como puede ser 1500 bytes para una red Ethernet) con el bit de “no fragmentar” (DF) fijado, este paquete se dirige hacia un gateway, si este paquete es demasiado grande para ser enviado, el gateway que normalmente fragmenta el paquete y lo envía, en su lugar envía un paquete ICMP hacia el equipo generador del paquete indicando que no puede enviar ese paquete sin fragmentarlo, además indica el tamaño máximo del paquete que puede ser enviado. Luego el equipo transmisor ajusta el tamaño del paquete y lo envía nuevamente con el bit de “no fragmentar” fijado. Este proceso se puede repetir en cada gateway que sea necesario atravesar hasta determinar el tamaño máximo permitido de los paquetes para una ruta específica ^[15].

El hecho que TCP use el máximo tamaño de paquetes ayuda a que se recupere más rápidamente en caso de congestión. Ya que para estos casos, el incremento de la ventana de congestión es un proceso basado en segmentos y no en bytes ^[15].

3.3.1.2 Corrección de errores en el receptor (Forward Error Correction)

Cuando se envía información en un canal satelital, esta información está expuesta a ser dañada debido al ruido que existe en el canal. El daño de la información ocasiona pérdida de paquetes, y cualquier pérdida de información es interpretada por TCP como un indicativo de congestión. Pero el hecho de que se pierda un paquete por estar corrupto no debería ocasionar la reducción de la ventana de congestión, ya que TCP se demoraría mucho en recuperarse, además que TCP estaría interpretando presencia de congestión donde no la hay; por lo cual es importante utilizar un esquema adecuado de corrección de errores que permita mejorar la calidad de la comunicación reduciendo el BER para evitar este inconveniente.

3.3.2 MECANISMOS TCP ESTÁNDAR

En esta sección se describirán los mecanismos TCP que ayudan a mejorar el desempeño de TCP sobre canales satelitales a través de una mejor utilización de la capacidad del enlace disponible, estos mecanismos pueden ser utilizados también en redes híbridas satelitales y terrenas.

3.3.2.1 Control de Congestión

Cuando un host desea transmitir información, inicialmente no tiene conocimiento del estado de congestión actual de la red, entonces podría enviar una cantidad excesiva de información empeorando la congestión actual, de hecho “es fácil llevar a una red a la saturación, pero es difícil para la red recuperarse”^[18] es por eso que es necesario utilizar ciertos algoritmos que ayuden a controlar la congestión en una red, TCP usa cuatro mecanismos de control de congestión:

- Arranque lento
- Evasión de congestión o ajuste dinámico de la ventana en caso de congestión.
- Retransmisión rápida
- Recuperación rápida.

3.3.2.1.1 Arranque Lento y Evasión de Congestión

Estos algoritmos fueron diseñados por Van Jacobson y son descritos en el RFC 2581 con la diferencia que Van Jacobson usa unidades de segmentos mientras que en el RFC se trabaja con unidades de octetos de datos TCP. En el presente estudio se utilizarán los algoritmos desarrollados por Jacobson.

Para hacer posible el control de congestión se hace uso de dos variables de estado las cuales son: la ventana de congestión (*cwnd*) y el umbral de arranque lento (*ssthresh*)

La ventana de congestión (*cwnd*) es un límite superior que define la cantidad máxima de datos que pueden ser enviados hacia la red por el emisor antes de recibir un

reconocimiento (ACK). El umbral de arranque lento (*ssthresh*) determina cual algoritmos es usado para incrementar el valor de *cwnd*.

Si $cwnd < ssthresh$, entonces se usa el algoritmo de arranque lento para incrementar el valor de *cwnd*. Mientras que si $cwnd > ssthresh$ se usa el algoritmo de evasión de congestión o ajuste dinámico de la ventana en caso de congestión.

Cuando un host inicia una transmisión, no posee información del estado de congestión de la red por lo cual en el inicio de la transmisión debe usar el algoritmo de arranque lento ^[18], el algoritmo inicializa el valor de *cwnd* a 1 segmento y fija el valor de *ssthresh* al valor de ventana aceptada por el receptor, con lo cual la entidad TCP únicamente puede transmitir un segmento y debe esperar una confirmación antes de enviar un segundo segmento y cada vez que reciba una confirmación incrementa el valor de *cwnd* en una unidad, esto continua hasta que el valor de *cwnd* iguala o excede al de *ssthresh* o cuando se detectan pérdidas ^{[15] [17]}.

Cuando el valor de *cwnd* es superior o igual a *ssthresh* el algoritmo de evasión de congestión es usado para incrementar el valor de *cwnd*, este algoritmo va probando la red más lentamente comparado con el algoritmo de arranque lento, ya que en este algoritmo se incrementa *cwnd* en $1/cwnd$ por cada ACK recibido, lo cual de manera general si se recibe un ACK por cada segmento enviado, *cwnd* se incrementará en aproximadamente 1 segmento por RTT (round-trip time = es el tiempo de retardo entre un mensaje enviado y su correspondiente réplica).

En el caso que se produzca una expiración de un temporizador durante una conexión TCP, se podría regresar el valor de *cwnd* a 1 e inicializar con el algoritmo de arranque lento pero este comportamiento puede ser muy agresivo en caso de congestión y puede empeorar la congestión ^[17], por lo cual Jacobson propuso un arranque lento para comenzar seguido de un crecimiento lineal de *cwnd*. Cuando expira un temporizador las reglas son las siguientes:

1. "Establecer un umbral de arranque lento igual a la mitad de la ventana de congestión actual. Es decir, $ssthresh = cwnd/2$.

2. Establecer $cwnd = 1$ y ejecutar el procedimiento de arranque lento hasta que $cwnd = ssthresh$. En esta fase, $cwnd$ se incrementa en 1 por cada ACJ recibido.
3. Para $cwnd \geq ssthresh$, incrementar $cwnd$ en uno por cada tiempo de ida y vuelta” [17].

Cuanto se ha descrito anteriormente se lo puede apreciar en el siguiente gráfico.

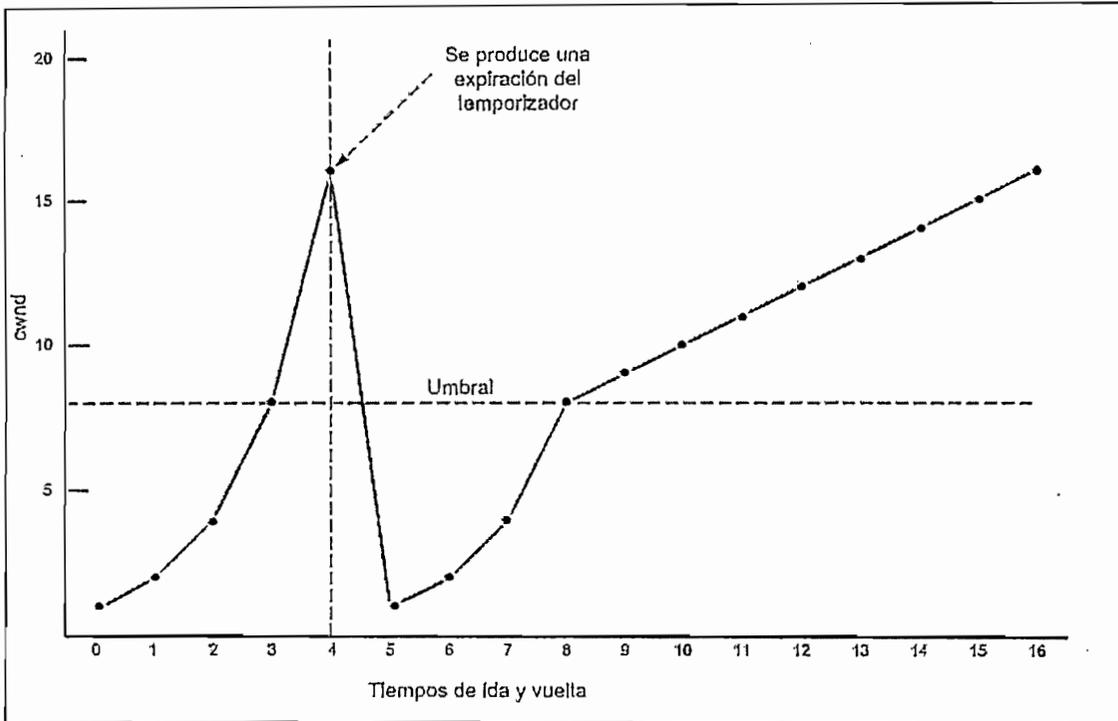


Figura 3.6 Ilustración del arranque lento y la supresión de congestión [17].

La utilización de los algoritmos de arranque lento y de evasión de congestión puede forzar a una baja utilización del ancho de banda de un canal satelital [15], precisamente por esta razón se hace necesario el uso del algoritmo Descubrimiento de la unidad máxima de transmisión en la ruta (Path MTU Discovery) pues los algoritmos de control de congestión controlan el número de segmentos que se envían mas no el tamaño de estos segmentos.

Si se envían segmentos grandes se ayudará a TCP a enviar más información, lo cual conlleva a una mejor utilización del canal satelital [15].

3.3.2.1.2 Retransmisión Rápida y Recuperación Rápida

Cuando se recibe un ACK, se confirma el segmento correspondiente y todos los anteriores. En el caso de que un segmento (11 por ejemplo) se perdiera, pero el siguiente segmento (12) llega a su destino, el receptor enviará un ACK duplicado que confirma el segmento 10 y todos los anteriores ^[15].

El algoritmo de *Retransmisión Rápida* usa justamente estos ACK duplicados para detectar pérdidas de segmentos. Si llegan 3 ACK duplicados, TCP asume que se ha perdido un segmento y lo retransmite sin necesidad de esperar que expire el RTO (Temporizador de retransmisión). Posterior a la utilización del algoritmo de *Retransmisión Rápida* se procede a ajustar el tamaño de la ventana de congestión a través del algoritmo de *Recuperación Rápida*. Este último algoritmo procede de la siguiente manera: primero ajusta el valor de *ssthresh* a la mitad de *cwnd*. Luego, cambia el valor de *cwnd* a la mitad. Finalmente, el valor de *cwnd* es artificialmente incrementado en un segmento por cada ACK duplicado que llegue. Este algoritmo permite mantener datos fluyendo a través de la red a la mitad de la velocidad que se encontraba antes de detectarse la pérdida de paquetes. Cuando el ACK para el paquete retransmitido llega, el valor de *cwnd* se lo regresa e iguala a *ssthresh* (la mitad de *cwnd* cuando la congestión fue detectada). ^[15]

De lo descrito anteriormente se aprecia que el comportamiento de TCP ante una congestión varía acorde a la manera cómo se detectó la congestión. Si se detectó debido a la expiración de un temporizador de retransmisión, entonces se ajustan los valores de *ssthresh* y *cwnd* de modo que se usa el algoritmo de arranque lento, mientras que si un segmento es retransmitido a través del algoritmo de *Retransmisión Rápida* se procede a cambiar los valores de *ssthresh* y *cwnd* de manera que se usará el algoritmo de *Evasión de Congestión* para futuros datos a ser transmitidos. Esto se da ya que para el primer caso (expiración de temporizador) TCP no tiene mayor conocimiento de la gravedad de la congestión entonces debe proceder de una manera no agresiva para probar la red, mientras que para el segundo caso TCP sabe que la congestión no es muy grave y por ello puede mantener un flujo de datos a la mitad de la velocidad que estaba antes de la congestión.

Una técnica aun mejor para recuperarse ante pérdidas sería la utilización de algoritmos de reconocimiento selectivo (selective acknowledgment) SACK, estos algoritmos tienen la facilidad de recuperarse rápidamente ante múltiples paquetes perdidos sin necesidad de reducir el valor de la ventana de congestión. En caso que no se tenga implementado SACK los algoritmos de retransmisión rápida y recuperación rápida deben ser usados ^[15].

Al usar los algoritmos de retransmisión rápida y recuperación rápida se puede dar un fenómeno en el cual se pueden dar retransmisiones múltiples por ventana de datos ^[19], lo cual puede conducir a reducir varias veces la ventana de congestión en respuesta a un único evento de pérdida de paquete, este fenómeno se puede notar particularmente en conexiones que usan grandes ventanas de congestión. El hecho de reducir varias veces la ventana de congestión por un único evento de pérdida de paquete puede afectar al desempeño de la conexión.

Los algoritmos de control de congestión descritos anteriormente tienen un impacto negativo en una determinada conexión TCP ya que prueban lentamente la capacidad de la red lo cual lleva a un desperdicio de ancho de banda, pero estos algoritmos son necesarios para evitar un colapso total de una red compartida por varios usuarios.

3.3.2.2 Ventanas TCP grandes

En la cabecera del segmento TCP se tienen 16 bits disponibles para la ventana lo cual limita el tamaño de la ventana a máximo 65535 bytes. El throughput para TCP está limitado por la siguiente fórmula ^[15]:

$$\text{throughput} = \frac{\text{tamaño de ventana}}{RTT} \quad (3.1)$$

Usando la formula anterior para el caso de sistemas satelitales geoestacionarios con un RTT de 560 ms el máximo throughput está limitado a:

$$\text{throughput} = \frac{65535 \text{ bytes}}{560 \text{ ms}} = 117027 \text{ bytes/segundo}$$

Por consiguiente una única conexión TCP no podría usar completamente un canal satelital de un T1 (aproximadamente 192000 bytes /segundo) por ejemplo. Para estos casos se debería utilizar las opciones de “escalamiento de ventana” (window scaling) descritas en el RFC 1323 en la cual se define un *factor de escala* implícito el cual se debe multiplicar por el valor de *tamaño de ventana* en la cabecera TCP para obtener el verdadero valor del *tamaño de ventana*. Junto con esta opción de escalamiento de ventana se deben usar los algoritmos complementarios como PAWS (Protection Against Wrapped Sequence space) y RTTM (Round-Trip Time Measurements) ^[15], los cuales ayudan a mantener la integridad del protocolo TCP evitando una incorrecta detección de duplicados o de números de secuencia ya que al aumentar el tamaño de la ventana se podrían repetir números de secuencia que podrían ser mal interpretados por el receptor.

Fijar precisa y dinámicamente el valor de RTO es esencial para el buen desempeño de TCP. El valor de RTO es determinado a través de la estimación de la media y la varianza del RTT por lo cual es importante realizar una correcta medición de este valor para lo cual ayuda el algoritmo RTTM ^[20].

Se debe indicar que para el caso de que el enlace satelital vaya a ser compartido entre muchos flujos de información, no sería necesario utilizar ventanas grandes, ya que entre todos esos flujos de información podrían usar completamente la capacidad del enlace satelital ^[15].

3.3.2.3 Estrategias de reconocimiento

Cuando un equipo recibe segmentos TCP tiene dos opciones en cuanto a la manera como genera los reconocimientos (ACK). La primera opción es generar un ACK por cada segmento que recibe tal como se describe en el RFC 793. La segunda opción es la presentada en el RFC 1122 en la cual se menciona que los hosts “deberían” usar “*reconocimiento retardado*”. Usando este último algoritmo se genera un ACK por cada

segundo segmento completo (full-sized segment = es un segmento que contiene el número máximo de bytes de datos permitidos) que llegue, o si este segmento no llega dentro de un determinado tiempo. Ya que el crecimiento de la ventana de congestión *cwnd* depende de los ACKs, el hecho de usar *reconocimiento retardado* provoca un crecimiento más lento de la ventana de congestión. Una solución tentativa para disminuir este crecimiento lento sería simplemente enviar un ACK por cada segmento que llegue, pero esto no es recomendado ^[15].

3.3.2.4 Reconocimiento selectivo

El algoritmo de reconocimiento selectivo (SACK Selective Acknowledgments) permite informar al equipo que envía los datos, exactamente los segmentos que han llegado con lo cual se puede recuperar más rápidamente ante pérdida de paquetes. Si se produce la pérdida de un segmento, el transmisor puede determinar cual segmento necesita ser retransmitido justo luego del primer RTT posterior a la pérdida del segmento. Lo descrito anteriormente evita que se desperdicie ancho de banda ya que no se hace necesario usar el *algoritmo del arranque lento* en caso de darse varias pérdidas dentro de una misma ventana.

3.3.3 MECANISMOS DE MITIGACIÓN

Del estudio anterior se puede llegar al siguiente resumen: indicando que el uso de ciertos mecanismos es obligatorio (Requerido) mientras que el uso de otros es recomendado. Además se especifica el lugar donde se debería aplicar. “F” en la fuente de información, “R” en el receptor de la información, “E” en el enlace satelital.

Mecanismo	Uso	Donde
Path-MTU Discovery	Recomendado	F
FEC	Recomendado	E
Control de Congestión TCP		
Arranque Lento	Requerido	F
Evasión de Congestión	Requerido	F
Retransmisión Rápida	Recomendado	F
Recuperación Rápida	Recomendado	F
Ventanas TCP grandes		
Escalamiento de ventana	Recomendado	F, R
PAWS	Recomendado	F, R
RTTM	Recomendado	F, R
TCP SACKs	Recomendado	F, R

Tabla 3. 5 Resumen de mecanismos de mitigación ^[15].

Capítulo 4

Aplicaciones orientadas a transmisión de datos

4.1 INTRODUCCIÓN

El proyecto Europeo DVB ha desarrollado varias especificaciones que hacen posible muchas aplicaciones, fundamentalmente las aplicaciones permitidas han sido orientadas a la difusión de televisión a través de diferentes medios sea el satélite, cable o a través de difusión terrena.

Pero el aporte del proyecto DVB ha ido más allá, al permitir aplicaciones de difusión de datos haciendo posible el acceso al Internet valiéndose de canales de retorno. Además todos los aportes realizados por el proyecto DVB permitirán desarrollar nuevas aplicaciones que podrán ser explotadas comercialmente no solo en Europa sino en todo el mundo.

El presente estudio se centrará en las aplicaciones permitidas por el estándar DVB-S orientadas a la transmisión de datos.

4.2 APLICACIONES TRADICIONALES USANDO DVB-S

4.2.1 APLICACIONES DE DIFUSIÓN DE TELEVISIÓN

La primera aplicación permitida por el estándar DVB-S es la difusión de televisión desde el satélite hasta una determinada zona geográfica en la cual el satélite tenga su cobertura tal como se ilustra en la siguiente figura. Esta aplicación es conocida comercialmente como DTH (Direct-to-home). Usando la misma infraestructura se podría implementar un sistema de recepción de televisión colectivo (SMATV).

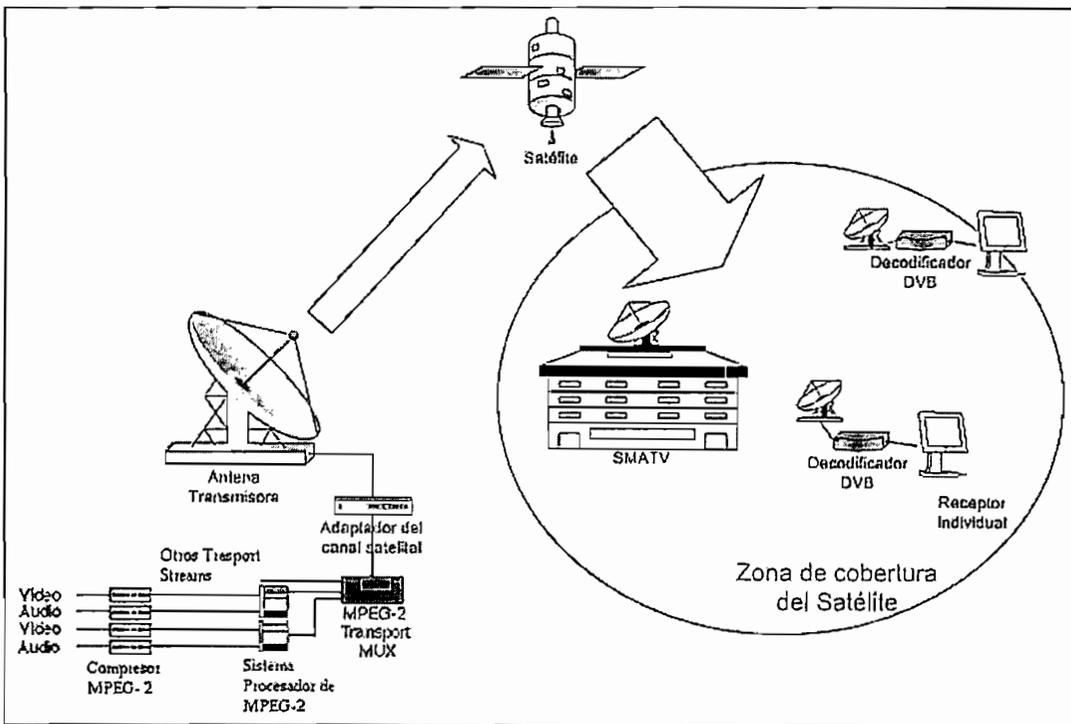


Figura 4.1 Difusión de TV

4.2.2 APLICACIONES DE CONTRIBUCIÓN

El sistema DVB-S se ha extendido también para brindar aplicaciones de “contribución” por medio de las cuales se puede compartir materiales de audio y video entre estudios de televisión, o de un sitio remoto hacia los estudios de televisión usando una antena portátil

(DSNG Digital satellite news gathering) ^[8]. El sistema es muy flexible por cual se podrían tener muchas variantes en cuanto a la configuración de las redes. Un ejemplo de esta aplicación se muestra en el siguiente gráfico.

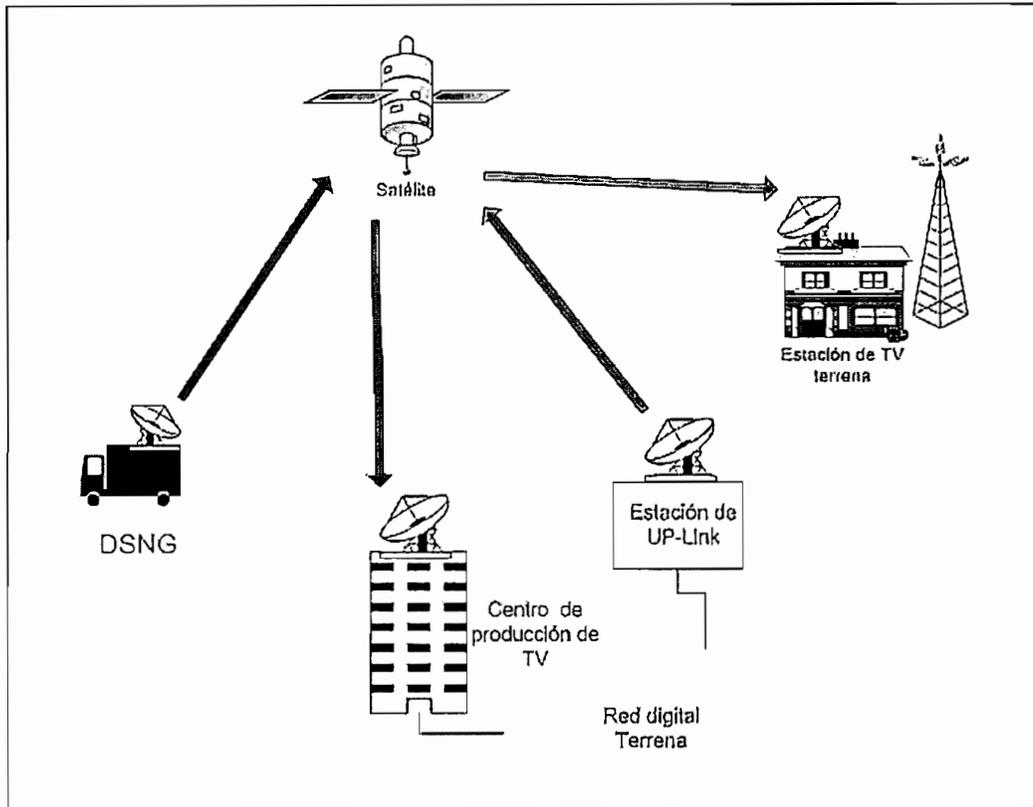


Figura 4.2 Sistema de contribución.

4.3 TRANSMISIÓN DE DATOS USANDO DVB-S

Además de las aplicaciones indicadas anteriormente, se ha hecho posible también la transmisión de datos para facilitar el acceso a Internet o la formación de redes privadas. Pero para hacer posible este tipo de aplicaciones es necesario un canal de retorno, el cual puede ser a través de una red terrena o a través del mismo satélite como se verá a continuación. Esto proporciona una solución de acceso a Internet de bajo costo, gran ancho de banda en cualquier lugar que se tenga cobertura del canal de bajada del satélite que presta servicios DVB. ^[21]

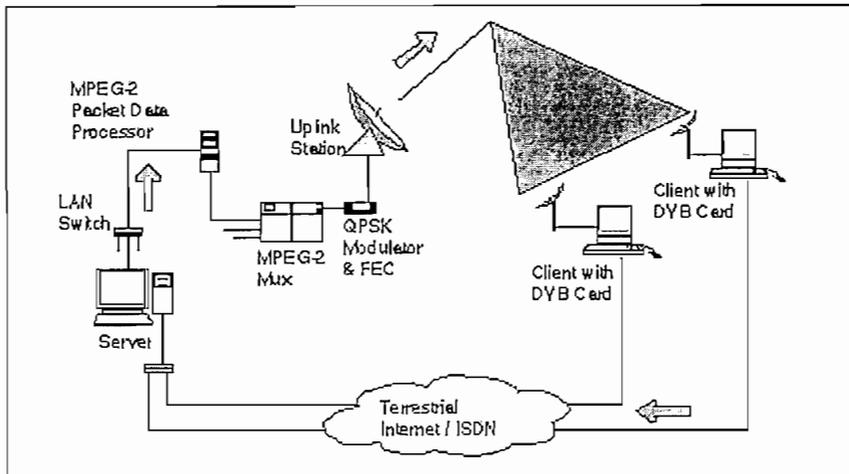


Figura 4.3 Configuración típica para proveer Internet (Direct to Home DTH) usando DVB [21]

Para hacer posible la difusión de datos, el proyecto DVB ha dado ciertas especificaciones en cuanto a la manera como los datos pueden ser enviados, así en la norma EN 301 192 [22] se definen varios perfiles para la difusión de datos acorde a los requerimiento específicos de cada aplicación. Estos perfiles son:

Data piping:

- Este perfil permite la difusión de datos que requieren una transmisión asincrónica, extremo a extremo a través de las redes de difusión DVB. Los datos son llevados directamente en el “payload” de los paquetes MPEG-2 TS [22]. No existe ninguna relación temporal entre los datos y otro paquete PES (Program Elementary Stream). [21]

Data streaming:

- Este perfil es útil para la difusión de datos extremo a extremo pero orientado a un flujo (streaming-oriented) de una manera sea asincrónica (sin requerimientos de temporización), sincrónica (con requerimientos de sincronización Ej. E1 o T1) o

sincronizada (los paquetes pueden reproducirse en sincronización con otros datos Ej. Audio y video). Los datos son llevados en paquetes PES. [22]

Multiprotocol encapsulation (MPE):

- Este perfil permite la difusión de datos que requiere la transmisión de datagramas de protocolos de comunicación; para hacer esto posible se encapsulan los datagramas en secciones DSM-CC (Digital Storage Media Command and Control). [22]

Data carousels:

- Es perfil permite la difusión de datos para aquellas aplicaciones que requieren una transmisión periódica. Por ejemplo es la provisión de datos para la Guías Electrónicas de Programa (Program Electronic Guides PEGs). Estos datos son transmitidos en secciones fijas DSC-MM. [21]

Object carousels:

- Este perfil permite soportar servicios de difusión de datos que requieren la difusión periódica de objetos DSM-CC User-User (U-U), especialmente para Sistemas para Servicios Interactivos (Systems for Interactive Service SIS). Estos son usados por ejemplo para descargar datos en un receptor decodificador [22].

Protocolos superiores basados en flujo de datos asincrónico (Higher protocol based on asynchronous data streams):

- Este perfil soporta la transmisión de protocolos que requieren una entrega de datos orientada a flujo (stream-oriented) de datos asincrónicos. Las tramas de datos de esos protocolos son llevados en paquetes PES (Program Elementary Stream). [22]

De los perfiles mencionados anteriormente es Multiprotocol Encapsulation (MPE) el usado para transmisión de datos hacia Internet mientras que ULE (Ultra Lightweight Encapsulation) ^[23] es una alternativa nueva para realizar este tipo de transmisiones pero hasta el momento no se encuentra estandarizada (octubre 2005).

4.3.1 MULTIPROTOCOL ENCAPSULATION (MPE)

Este método (Multi-protocol encapsulation) brinda las facilidades para realizar el envío de protocolos de capa red sobre paquetes MPEG2-TS en las redes DVB y ha sido optimizado para llevar el Protocolo de Internet (IP). Además se podría usar para transportar otro tipo de protocolos de red usando la encapsulación LLC/SNAP. Es de señalar también que MPE usa la dirección MAC de 48 bits para identificar a cada uno de los receptores, aunque no indica la manera como se asignan las direcciones MAC a cada receptor. ^[23]

Cada paquete IP posee una cabecera MPE incluida para formar una Unidad de Datos de Protocolo (PDU Protocol Data Unit), luego cada PDU es fragmentada para formar una serie de paquetes MPEG2-TS los cuales son enviados por la red DVB. Es responsabilidad de los encapsuladores/des-encapsuladores encargarse del procesamiento y entrega de los paquetes IP tanto en el sitio central como en los receptores individuales.

La figura 4.4 muestra el formato del paquete MPE.

4.3.2 ULTRA LIGHTWEIGHT ENCAPSULATION (ULE)

Este mecanismo se basa en el perfil conocido como "Data Piping", y es un nuevo mecanismo de encapsulación para transportar datagramas de IPv4 e IPv6 u otros de capa red directamente sobre MPEG2-TS.

Esta encapsulación es más ligera que MPE pues añade menos cabecera para el envío de paquetes IP. Por ejemplo MPE añade 17 bytes (cabecera/cola) para el envío de IPv4 y 25 bytes para IPv6 usando LLC/SNAP ^[23]. ULE se caracteriza por poseer una cabecera más simple con pocos campos haciéndola simple para procesar, uno de los campos de la

cabecera es el “Tipo” (Type) de 2 bytes, el cual permite al receptor identificar que protocolo está siendo transportado.

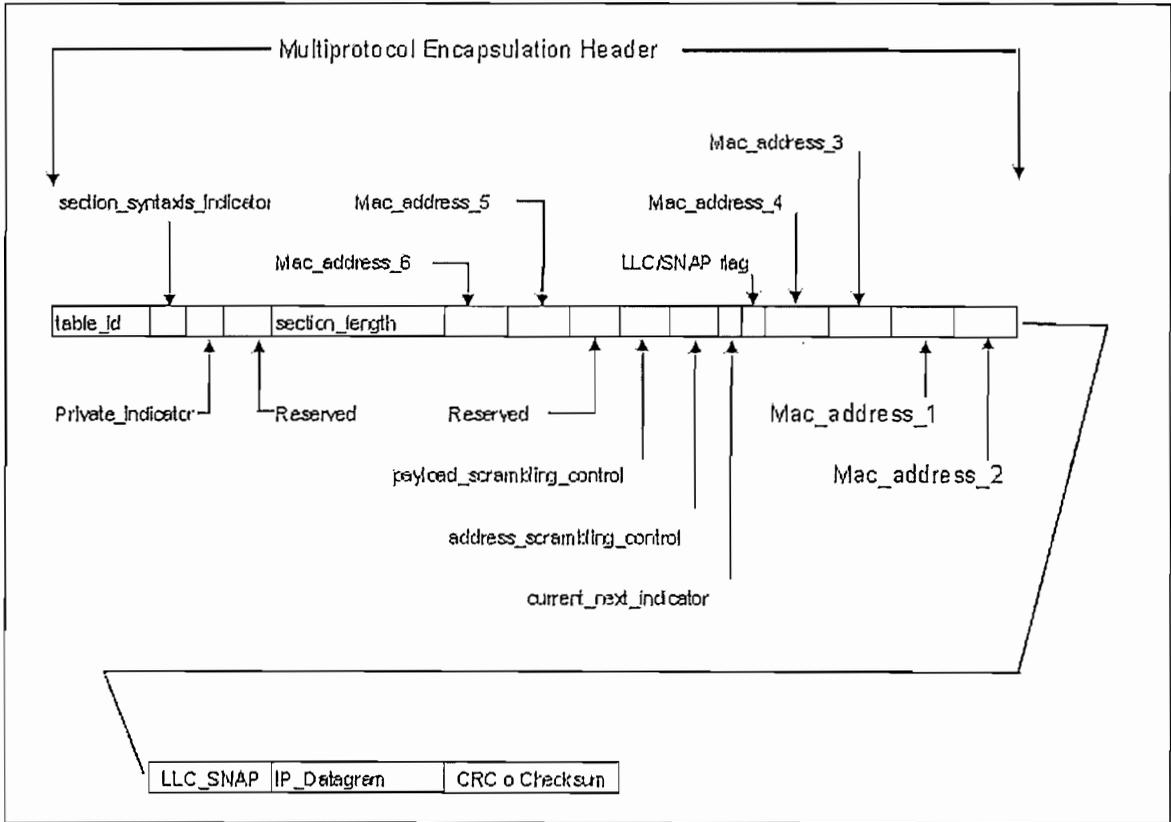


Figura 4.4 Formato del paquete MPE. [23]

En la siguiente figura se muestra el formato del paquete ULE.

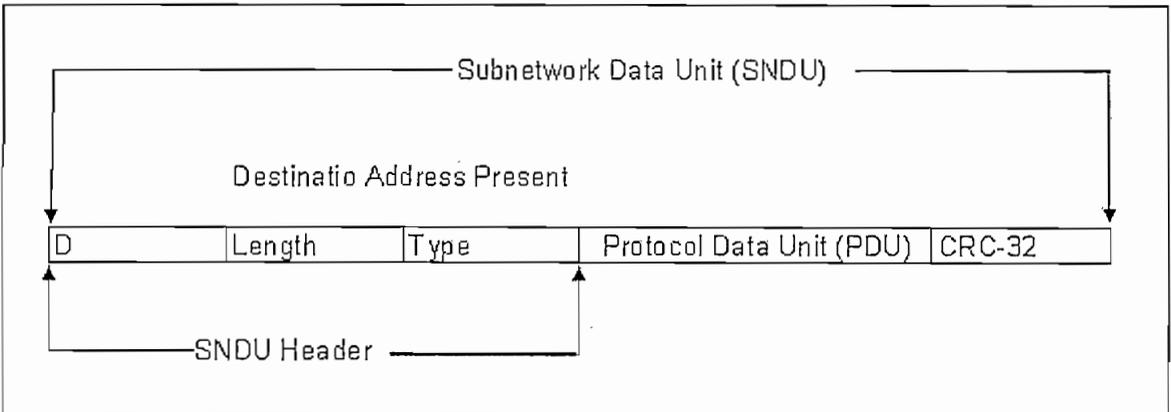


Fig. 4.5 Formato del paquete ULE [23]

4.3.3 OPCIONES DE CONFIGURACIÓN

4.3.3.1 Canal de ida (forward)

El canal de ida para la transmisión de datos usa el normativo DVB-S, permitiendo comunicaciones del tipo unicast (punto-punto), multicast (uno a muchos) o broadcast (uno a todos) acorde al PID asociado con cada equipo terminal receptor.

4.3.3.2 Canal de retorno

El proyecto DVB ha desarrollado un modelo de referencia para redes satelitales interactivas, el mismo que se aprecia en la figura 4.6.

En este sistema se establecen dos canales: el canal de difusión (Broadcast Channel) y el canal de interacción (Interaction channel), este último posee a su vez dos “caminos” el uno de regreso (Return interaction path) y el otro de ida (Forward Interaction Path) a través de los cuales se permite la interacción entre el usuario final y el proveedor del servicio. Es de señalar que el camino interactivo de ida puede incluirse en el canal de difusión.

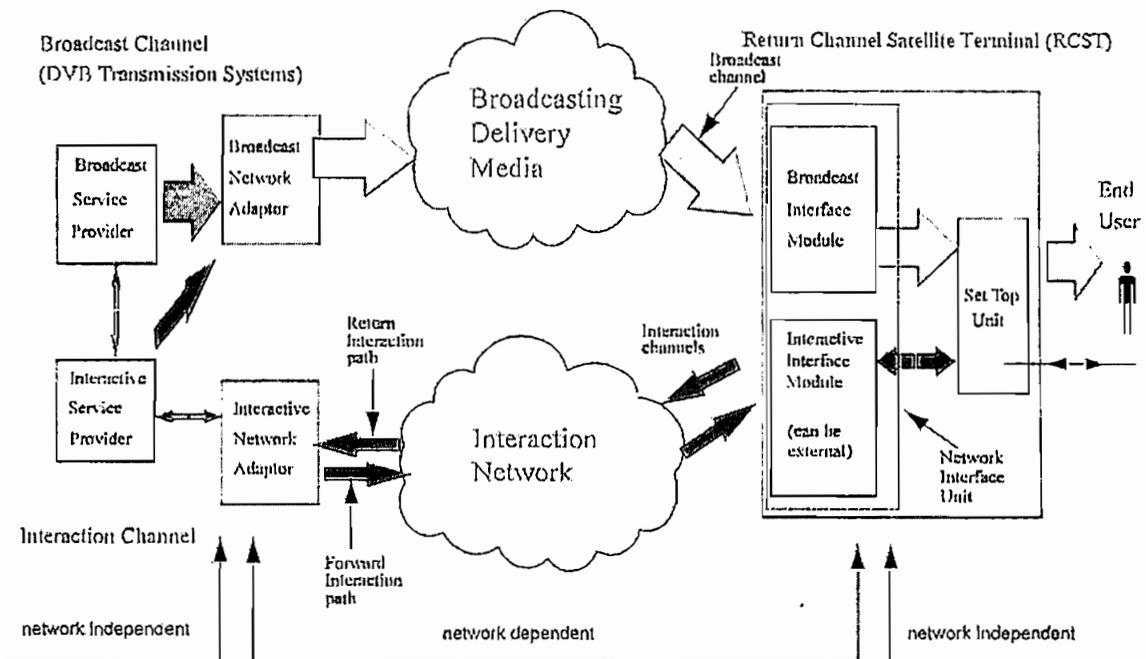


Fig. 4.6 Modelo de referencia genérico para sistemas interactivos. [24]

Además el proyecto DVB ha publicado varios documentos en los que se señalan alternativas para el canal de retorno, por ejemplo a través de una red PSTN/ISDN, o una GSM, y esto no únicamente para interactuar con la norma DVB-S sino también con DVB-T y DVB-C. Todo este trabajo desarrollado por el proyecto DVB ha facilitando la formación de redes interactivas con varias configuraciones distintas que brindan una oportunidad para explotar y desarrollar nuevos servicios de telecomunicaciones.

Con el estándar DVB-S existen fundamentalmente dos opciones para el canal de retorno: a través de un enlace terreno tal como se muestra en la figura 4.3 y otro a través de un canal satelital tal como se aprecia en la siguiente figura.

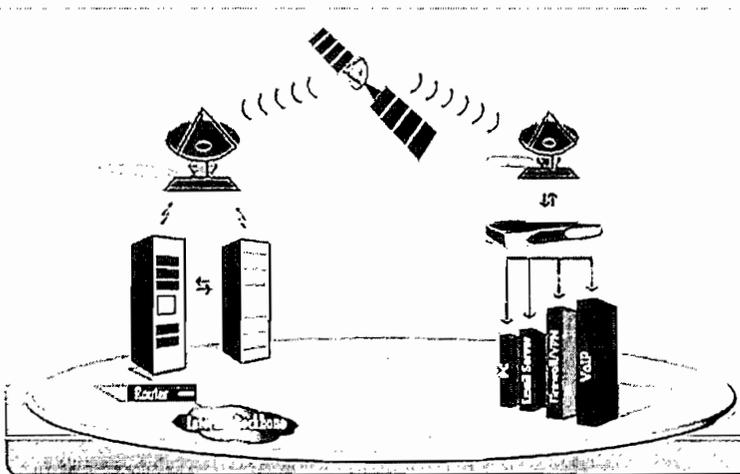


Figura 4.7 Canal de retorno satelital [25]

4.4 APLICACIONES TCP SOBRE CANALES SATELITALES

Tal como se ha visto, usando MPE o posteriormente ULE se ha hecho posible llevar el protocolo IP sobre redes que usan la plataforma DVB, y por consiguiente se puede llevar cualquier protocolo de capas superiores, incluido TCP o UDP permitiendo múltiples aplicaciones como:

- Navegación en Internet (HTTP)
- Transferencia de archivos (FTP)
- Intercambio de correo electrónico (SMTP)

- Administración remota de equipos (TELNET)
- Telefonía Voz sobre IP.
- Videoconferencia.
- Formación de VPNs

Es de señalar que para todas las aplicaciones que corran sobre una red satelital se tendrá el retardo implícito de aproximadamente 500 ms debido al salto satelital. Para mitigar los efectos de este retardo en aquellas aplicaciones que funcionen sobre TCP se deberá usar alguno de los mecanismos señalados en el capítulo anterior de este trabajo.

Capítulo 5

Configuración e instalación de un terminal para acceso satelital

5.1 INTRODUCCIÓN

New Skies Satellites es una empresa de comunicaciones que posee varios satélites de comunicaciones con los cuales puede brindar soluciones de comunicaciones relativamente en todo el mundo. Sus satélites poseen la serie NSS es así que tiene: el satélite NSS-5, NSS-6, NSS-7, NSS-703, NSS-8 y el NSS-806 ^[26] con los cuales brinda servicios como: difusión de televisión y sistemas de contribución, servicios de transmisión de datos y de voz, servicio de acceso a Internet.

IPsys® es el nombre comercial que New Skies ha dado al servicio mediante el cual brinda conectividad al Internet a través de sus satélites. Usando esta plataforma IPsys (la cual usa DVB) y usando el satélite NSS-806 se hará posible la conexión hacia el Internet que es motivo de este trabajo. Una de las modalidades de acceso a la plataforma IPsys que brinda New Skies es IPsys®BoD (Bandwidth on Demand) la cual es una solución de bajo costo basada en la línea de equipos terminales InterSKY™ de Shiron.

Para que una estación terrena pueda ingresar hacia los satélites de New Skies debe cumplir con ciertos requerimientos, los cuales garantizarán el funcionamiento adecuado de dicha estación dentro del sistema.

5.2 REQUERIMIENTOS DE LA ESTACIÓN TERRENA Y COMPONENTES UTILIZADOS

La estación terrena que se va a implementar debe poseer los componentes mostrados en la siguiente figura.

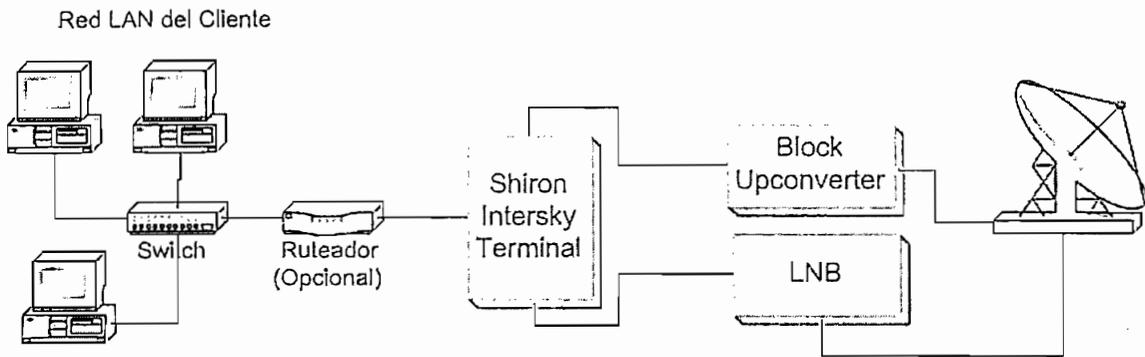


Figura 5.1 Diagrama general de la estación a implementar

Ya que se utiliza el satélite NSS-806 el cual posee un PIRE de 38 dBW para la zona en la cual se encuentra Quito se hace necesaria una antena de 1.8 metros ^[26] cuyas características técnicas se encuentran en el anexo 1.

La plataforma DVB que se usará para esta implementación utiliza la banda C y polarización circular por consiguiente los elementos de radio frecuencia (RF) que se instalen serán los apropiados para cumplir con este requerimiento.

Para la parte RF se hace necesario un LNB compatible con MPEG-2 con salida en banda L ^[26]. Las especificaciones requeridas para el LNB son las siguientes ^[26]:

C-Band LNB Specificatiois	
Frecuency range:	3625MHz-4200 MHz standard C-band or 3460 MHz - 4200 MHz extended C-band
L.O. Frecuency:	5150 MHz
Output Frecuency:	950-1450 MHz standard C-band or 950-1750 MHz extended C-band (inverted spectrum)
Noise figure:	15 to 30K
L.O. temperature stability	± 150 KHz to ± 500 KHz
L.O. phase noise	-65 dBc/Hz at 1 KHz
Convesion gain	55-65 dB (± 0.5 dB/40 MHz segment)
Power requirements	+ 15 to +24 VDC, 200 mA
Output connector	Type F female

Tabla 5.1 Especificaciones del LNB ^[26]

En base a las especificaciones anteriores se determina que el LNB Norsat de la serie 8000L cumple con los requerimientos y es el adecuado para esta implementación. La hoja de características de este LNB se encuentra en el anexo 2. El tipo seleccionado es el Norsat 8515.

Es necesario además contar con un receptor DVB-IP, para ello se puede optar por dos fabricantes:

- Radyne ComStream: IPSat™.
- Shiron: InterSKY™ VSAT

En esta implementación se ha optado por el fabricante Shiron. El equipo utilizado es IRG30 cuyos datos técnicos se describen en el anexo 3.

Los cables recomendados por Shiron para interconectar el Gateway Remoto IRG30 con el BUC y LNB son los siguientes: Belden 9913 para la interconexión del IRG30 con el BUC y Belden 1694A para interconectar el IRG30 con el LNB.

Tipo de Cable	Belden 9913		Belden 1694A	
	100 ft	300 ft	100 ft	300 ft
Loss @ 1GHz	4,5 dB	13,5 dB	6,2 dB	18,6 dB
Loss @ 10 MHz	0,4 dB	1,2 dB	0,72 dB	2,16 dB
DC Loop Resistance	0,267 Ω	0,801 Ω	0,63 Ω	1,89 Ω
Nom. Impedance	50 Ω		75 Ω	

Tabla 5.2 Características de los cables ^[27]

Las características completas de los cables se detallan en el Anexo 4.

El Block Upconverter (BUC) utilizado en esta implementación el BU013 recomendado por Shiron el mismo que posee las siguientes características:

Tipo de BUC	Potencia	Rango de frecuencia del IRG30 + BUC (MHz)
BU013 Banda C	Hasta 5W	5850-6425

Tabla 5.3 Características del BUC^[27]

El alimentador, polarizador y OMT usados en esta implementación son aquellos mostrados en la figura 5.4 y son proporcionados por Shiron; el OMT es el indicado en el anexo 5 posee la característica particular que puede usarse tanto en polarización cruzada X-Pol como en polarización Co-Pol.

Al armar el terminal remoto con los componentes señalados anteriormente, teniendo cuidado en la instalación de los cables de manera de evitar atenuaciones innecesarias y realizando un buen apuntamiento, se cumple con todo lo necesario para que la estación terrena pueda acceder sin problemas a la red de Newskies.

5.3 INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN

5.3.1 INSTALACIÓN DE LA UNIDAD INTERIOR

Al realizar la instalación del Gateway Remoto se debe tener en consideración los siguientes aspectos relacionados con el lugar de la instalación ^[27]

- Se debe poseer una toma de corriente alterna (100 VAC o 240 VAC 50/60 Hz) con una adecuada instalación a tierra.
- El chasis del gateway remoto también debe conectarse a tierra.
- Cuando se instale el equipo en un rack se debe asegurar que dicho rack tenga una adecuada conexión a tierra.
- Al instalar en un rack se debe dejar unos 90 cm libres en la parte frontal, 10 cm en la parte posterior y unos 5 cm en los lados, tanto para ventilación como manipulación y conexiones.
- La temperatura ambiente de operación del terminal es de 0°C a 50°C, con humedad relativa de hasta 93 %.
- La altura máxima de operación es de 10000 pies (3200 m aproximadamente).

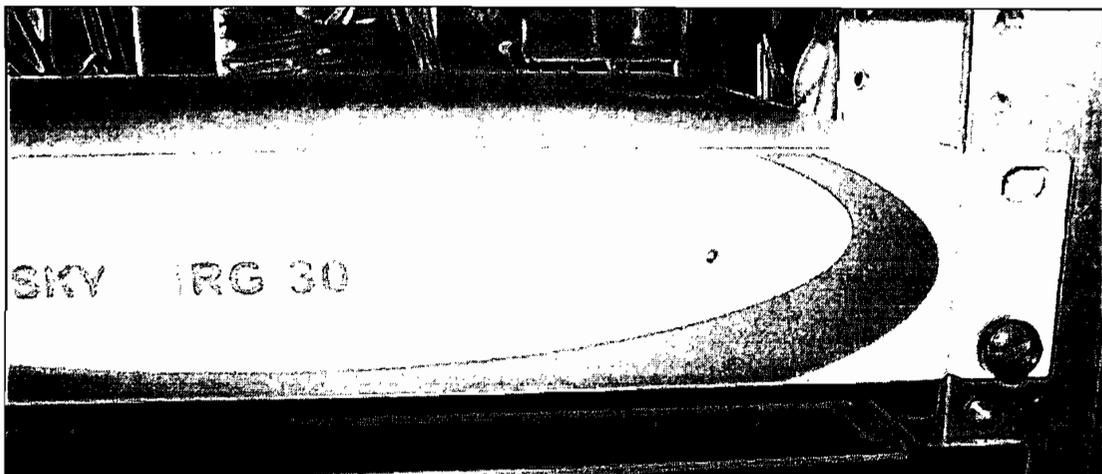


Fig. 5.2 Equipo IRG30 Instalado

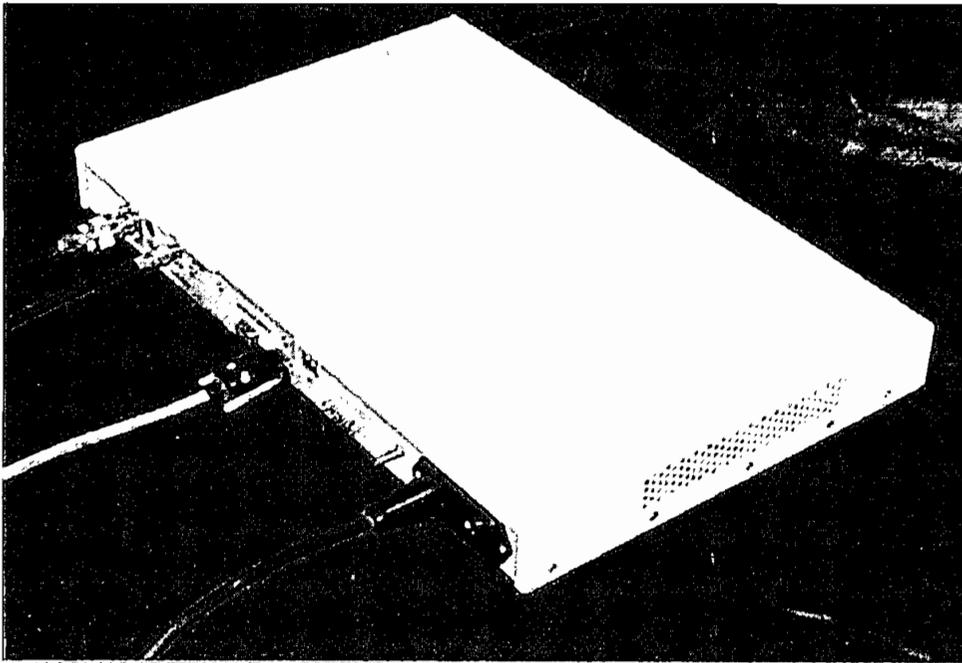


Figura 5.3 Conexión del Gateway Remoto IRG30 ^[27]

En la figura anterior se muestra la conexión de los cables de energía, de consola y de interconexión con la unidad exterior.

5.3.2 INSTALACIÓN DE LA UNIDAD EXTERIOR

La unidad exterior está compuesta por el terminal RF (RFT) y por la antena.

5.3.2.1 Instalación del RFT

El RFT está compuesto básicamente por los siguientes componentes:

- El Block Up Converter (BUC)
- El Low Noise Block (LNB)
- El alimentador.
- OMT (Transductor de modo ortogonal)
- El Polarizador.
- Cable coaxial, 50 Ω .

- Cable coaxial, 75 Ω .

De acuerdo con las características de la plataforma utilizada, para la recepción se utilizó polarización del tipo LHCP y para la transmisión RHCP.

De acuerdo con las polarizaciones señaladas anteriormente se puede armar el RFT de la siguiente manera:

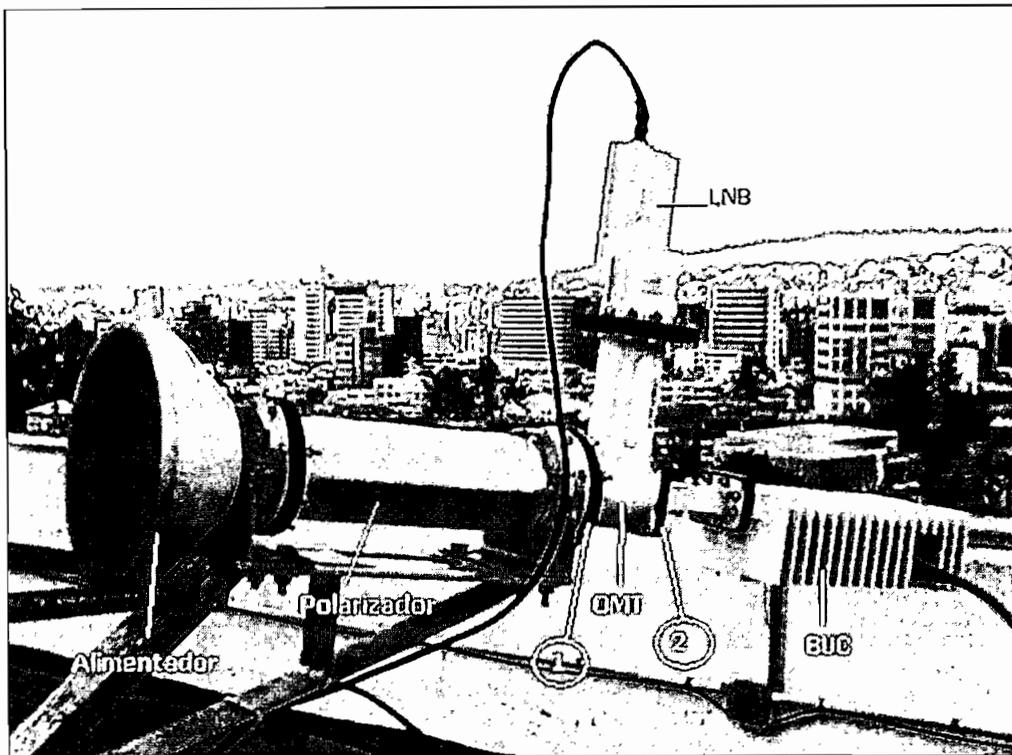


Figura 5.4 Terminal de radio frecuencia (RFT) armada y montada

El OMT del lado que se conecta al polarizador tiene dos marcas, la una en forma de “flecha” y la otra en forma de “punto”.

En el punto marcado como (1) en la figura anterior es de resaltar; que del lado del polarizador hay una marca que dice “LHCP”, la cual se debe hacer coincidir con la marca en forma de “flecha” del OMT; quedando de esta manera coincidentes la marca en forma de “punto” con la de “RHCP”. En el punto marcado como (2) se debe hacer coincidir las marcas “POLARIZATION” con “Cross” y no con la marca “parallel”. Al hacer lo

anterior estamos garantizando que la recepción está en LHCP y la transmisión está en RHCP.

5.3.2.2 La antena y su orientación.

La antena utilizada en esta instalación es una de 1.8 m, cuyo fabricante es Equatorial Technologies y cuyo modelo es SPC-0180F, esta antena ha sido diseñada con el fin de cumplir con las características técnicas descritas en el anexo 1, y está ubicada a 2824 msnm, en las siguientes coordenadas:

Longitud: Oeste 78 grados 29 minutos 10.3 segundos.

Latitud: Sur 00 grados 11 minutos 44.5 segundos.

El satélite que se utiliza es el NSS-806, cuyos datos técnicos y cobertura para América son los siguientes:

Manufacturer:	Lockheed Martin
Orbital Location:	319.5° East
Launch Date:	February 1998
End of Life:	July 2016
Number of Transponders (physical):	C-Band:28 Ku-Band: 3
Number of Transponders (36 MHz Equivalent):	42
EIRP at Beam Centre:	C-Band:39.7 dBW Ku-Band: 51.7 to 50.4 dBW
Frequency Band:	C-Band Uplink: 5850 to 6650 MHz C-Band Downlink: 3400 to 4200 MHz Ku-Band Uplink: 14.00 to 14.25 GHz Ku-Band Downlink: 11.70 to 11.95 GHz

Tabla 5.4 Datos técnicos del satélite NSS-806 [26].

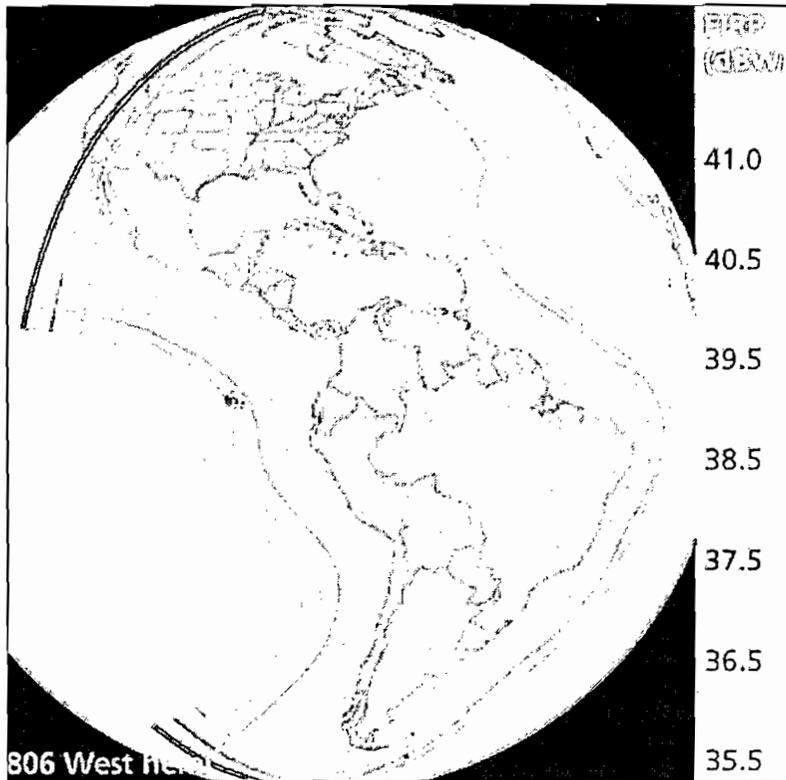


Figura 5.5 Cobertura para América del NSS-806 ^[26]

Acorde a los datos anteriores la antena debe estar apuntada de la siguiente manera:

Angulo de elevación: 45.9°.

Azimut: 89.7° (medidos desde el norte en dirección de las manecillas del reloj).

Los cálculos para realizar este apuntamiento se encuentran en el anexo 6.

Es importante también fijar adecuadamente la antena hacia el piso poniendo cargas que ayuden a mantener fija la antena y de esa manera evitar que la antena empiece a vibrar con el viento.

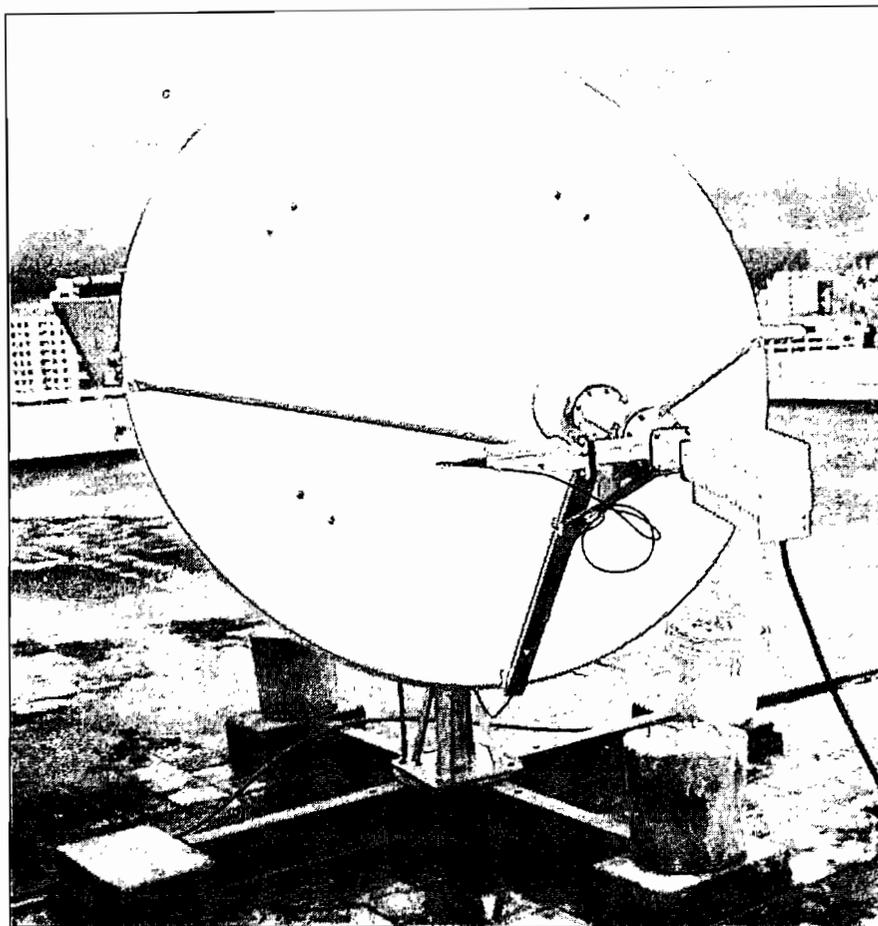


Figura 5.6 Antena apuntada

5.3.3 CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONALIDADES DEL IRG30

El Gateway Remoto IRG30 recibe una señal DVB-S y transmite usando FDMA, posee una tarjeta que está compuesta por un receptor DVB-S, un transmisor FDMA, una interfase Ethernet y un software controlador ^[27]. Este equipo permite una conectividad IP en dos vías a través del satélite, de la siguiente manera:

Usando un canal de retorno DAMA/BOD y un canal directo DVB-S se permite una conexión asimétrica de hasta 72 Mbps en el canal directo y hasta 384 kbps para el canal de retorno.

El equipo IRG30 usa la banda L (950 a 1450 MHz) para conectarse con la unidad exterior (ODU) y permite una conectividad directa a la red LAN a través de la interfase Ethernet [27].

El terminal remoto interactúa con el Sistema de Administración de Red (NMS) para poder acceder a la red del proveedor y por consiguiente hacia el Internet. El NMS difunde una lista de canales libres hacia todos los terminales remotos. Un canal está compuesto de tres componentes los que son: la frecuencia, la velocidad de datos y el FEC [27].

El IRG realiza una petición de conexión al NMS, a través de un canal libre que escoge aleatoriamente. La petición es entonces procesada luego de la respectiva autenticación, entonces el NMS envía un mensaje de reconocimiento (acknowledgement); a partir de este punto el Gateway Remoto está conectado a la red de InterSKY™ [27].

5.3.4 CONFIGURACIÓN DEL GATEWAY REMOTO IRG30

Para configurar el Gateway Remoto IRG 30 es necesario conocer ciertos datos que son proporcionados o acordados con el proveedor (NewsKies), entre ellos están:

Plataforma DVB	Latin America 1
Satélite	NSS – 806
Velocidad de símbolo	29763 baudios
Velocidad de datos	48000 bps
FEC	7/8
Frecuencia de recepción	3597 MHz
Polarización de recepción	LHCP

Tabla 5.5.- Detalles de la plataforma DVB.

Satélite	806
Velocidad de datos CIR	256 kbps
Modulación	QPSK
U/L polarización	RHCP
D/L polarización	LHCP

Tabla 5.6.- Datos del enlace de retorno.

Para configurar el IRG 30 es necesario conectarse a este equipo utilizando un computador que emule un Terminal, que puede ser a través del Hyperterminal de Windows con los siguientes datos:

Bits por segundo	9600
Bits de datos	8
Paridad	Ninguna
Bits de parada	1
Control de flujo	Ninguno

Tabla 5.7.- Parámetros del Hyperterminal.

La aplicación del IRG 30 está diseñada para operar en dos modos:

- Modo Instalación
- Modo de Operación Normal

La primera vez que se enciende el Gateway Remoto se iniciará en **Modo Instalación**, luego de configurar adecuadamente los parámetros necesarios en este modo se debe fijar el modo de operación a **Normal**, posterior a esto, cada vez que se reinicie el equipo arrancará en **Modo Normal**.

En las figuras 5.7 y 5.8 se aprecia el flujo de los menús tanto en **Modo Instalación** como en **Modo Normal**.

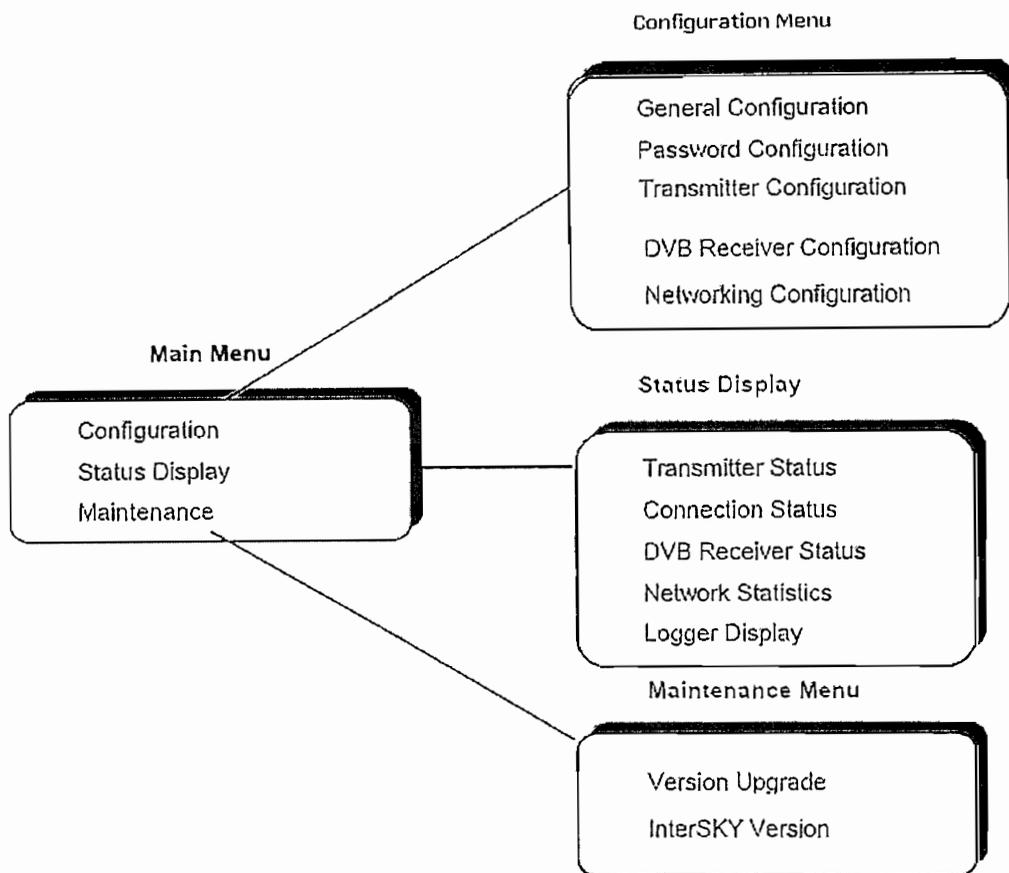


Figura 5.7.- Flujo del Menú Principal en Modo Instalación

A continuación se enlistan los distintos parámetros fijados en el Modo Instalación:

Transmitter Configuration

Tx Status:	ON
BUC Status:	ON
Tx Frequency [MHz]:	997.1500
Tx Data Rate [Kbps]:	128
Tx Power Level [dBm]:	-28.0000
Tx FEC:	3/4
Tx Frequency Offset [KHz]:	-0.1400
Ext Frequency Offset [MHz]:	0.0000
Differential Encoder:	ON
Tx Modulation:	QPSK
Tx Spectrum Mode:	NORMAL
Scrambler Type:	CCITT
Tx Start Mode:	LAST
Link Type:	NORMAL

Tuner Configuration

Rx Status:	ON
RF Input Frequency [GHz]:	3.5970
LNB Frequency: [GHz]	5.150
Symbol Rate [MBaud]:	29.7630
Polarity:	Horizontal (18V)
22 KHz Tone:	OFF

Active Pids

PID Number
320
514

Network Interfaces Configuration

DVB-S IP Address (Requires Restart):	172.28.1.1
LAN IP Address (Requires Restart):	66.178.44.33
LAN Subnet Mask (Requires Restart):	255.255.255.248
Transmitter Ip Address (Requires Restart):	66.178.92.12
Transmitter Subnet Mask (Requires Restart):	255.255.255.224

Default Gateway Configuration

Default Gateway Destination:	0.0.0.0
Default Gateway IP Address:	66.178.92.3
Default Gateway MAC Address:	00:00:0c:07:ac:10

En este modo de instalación se fijan varios parámetros entre ellos:

- La frecuencia de recepción junto con la velocidad de símbolos para la recepción.
- La frecuencia de prueba para realizar las transmisiones, dicha frecuencia es proporcionada por Newskies con lo cual se garantiza que esta transmisión no interferirá con ningún otro sistema instalado. Conjuntamente con personal Newskies se realizan transmisiones a diferentes niveles de potencia tanto con señal modulada como con señal sin modular. Luego de lo cual se determinan los niveles máximo y mínimo en los cuales la estación puede transmitir de manera que no afecte a otros sistemas cuando ya se encuentre operando en modo normal.
- Los PIDs tanto el usado para recepción de multicast desde el Hub, como el usado para recibir el tráfico exclusivo para dicho terminal remoto (unicast).
- Las direcciones IP y las máscaras de los diferentes módulos: módulo DVB-S receptor, módulo transmisor y módulo LAN.

- La dirección IP y la dirección MAC de la puerta de enlace predeterminada.

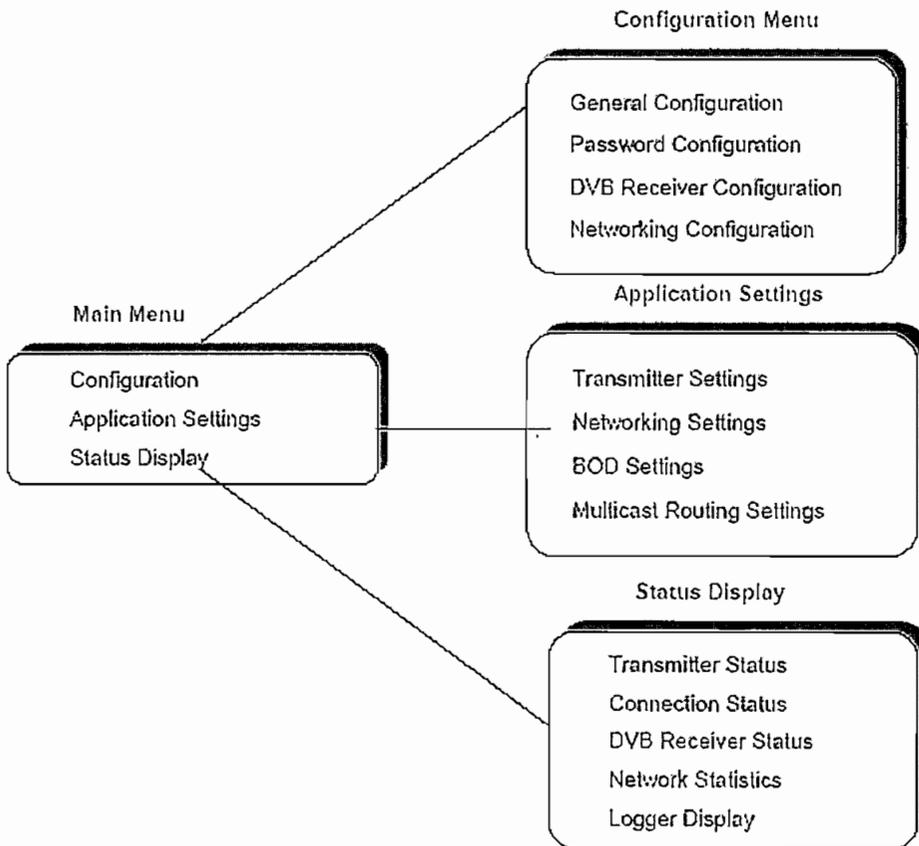


Figura 5.8.- Flujo del Menú Principal en Modo Normal

Luego de fijar los parámetros necesarios en el Modo de Instalación, es necesario cambiar a Modo Normal; en dicho modo se colocan los siguientes parámetros del menú Application Settings:

Transmitter Settings

Base Power Level [dBm]:	-38.2412
Minimal Power Level [dBm]:	-36.0000
Maximal Power Level [dBm]:	-24.0000
Power Level Interval Step [dB]:	1.0000
Max Frequency Correction [KHz]:	10.0000
Static Frequency Offset [KHz]:	-0.1400

Networking Settings

NMS Multicast Address: 234.5.6.9
NMS Multicast Port: 1602
NMS Server Port: 1600

BOD Settings

BoD Activation: Enable
Disconnect: 10 seconds After End of Traffic
Wait: 5 seconds till Datarate Increase Request
Wait: 90 seconds At Increased Datarate
Wait: 45 seconds till Datarate Reduction

En el modo de operación Normal se fijan algunos parámetros como son:

- El rango de niveles de potencia permitido para el terminal.
- La desviación estática de la frecuencia de transmisión.
- La dirección del multicast del Sistema de Administración de Red (NMS) juntamente con los puestos de multicast y del servidor.
- Los tiempos de espera antes del incremento o decremento de la velocidad de transmisión para hacer posible la asignación de ancho de banda bajo demanda (BoD).

Luego de fijar los parámetros anteriores con la coordinación respectiva con el personal de Newskies, el equipo está listo para operar. Un detalle adicional es que las computadoras conectadas en la LAN del IRG 30 deben tener de preferencia como servidores DNS los siguientes: 66.178.2.25 ó 66.178.2.16, con el fin de agilizar la resolución de nombres en aplicaciones Web.

5.4 MEDICIONES

Del monitoreo periódico del estado del receptor satelital se ha podido observar algunos parámetros que son de interés, entre ellos:

- DVB Raw BER.

- DVB Eb/No [dB].

Valores que son variables de acuerdo a las condiciones climáticas.

El primero indica una estimación de la tasa de bits errados antes de realizar la corrección de errores, valor que ha estado entre 0.0004 y 0.0007 aproximadamente; mientras que el segundo ha estado entre 8.8 y 9.3 aproximadamente, durante el período de pruebas; aclarando que en ninguno de esos días hubo lluvias fuertes, en pruebas futuras sería interesante medir en que medida se deterioran estos parámetros bajo condiciones climáticas extremas, ya que estos valores afectan la calidad del enlace.

En el anexo 7 se realiza un cálculo estimativo de la relación G/T del sistema implementado en base a los datos disponibles.

Debido a las características propias de los enlaces satelitales se tienen tiempos de retardo grandes que están en el orden de los 0.5 a 0.6 segundos desde el instante en que un paquete es enviado hasta que se recibe satisfactoriamente el acuse de recibo a través del enlace satelital. Debido a estos retardos el protocolo TCP, el principal protocolo envuelto en las aplicaciones web, no funciona tan bien sobre este tipo de enlaces, por eso es necesario utilizar ciertos mecanismos que mejoren su desempeño; de acuerdo a información proporcionada por personal de la empresa fabricante (Shiron); el equipo IRG30 usa ciertos parámetros acorde al RFC 2488 y además posee un acelerador.

A continuación se presenta un gráfico obtenido utilizando el programa MRTG, el mismo que hace un muestreo de la cantidad de información enviada en un enlace; en este caso el MRTG ha sido instalado en el lado del proveedor de modo que el tráfico mostrado es la cantidad de información enviada hacia el Gateway Remoto desde el hub.

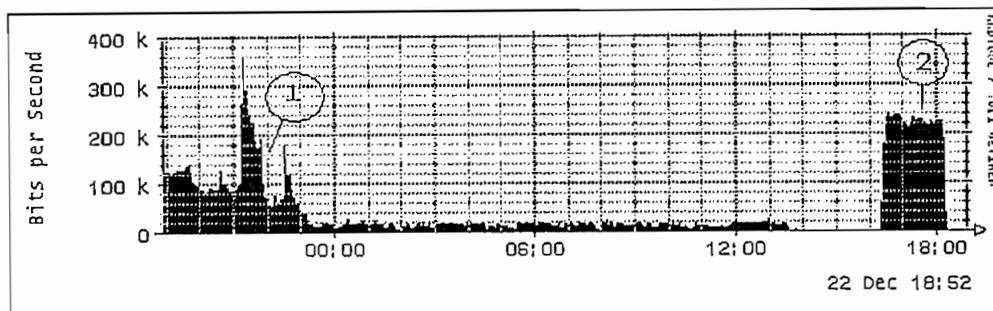


Figura 5.9.- Gráficos del MRTG para dos aplicaciones

En el gráfico anterior se aprecia el ancho de banda utilizado por algunas aplicaciones de interés. El tráfico señalado con (1) corresponde a navegación web y descarga de archivos, que como se ve es un tráfico irregular.

Mientras que el tráfico señalado como (2) corresponde a pruebas de videoconferencia realizadas a 256 kbps con otra empresa; institución que posee una conexión a Internet de 256 kbps a través de cable modem, obteniéndose resultados satisfactorios. Además, para esta prueba se han tomado datos proporcionados por el equipo de videoconferencia medidos en el lado de la AGD, detallados en la tabla siguiente:

Parámetro	TX	RX
Velocidad del audio	32 k	32 k
Velocidad del video	181.4 k	224 k
Velocidad del video usada	180 k (variable)	190 k (variable)
Cuadros por segundo	15	15.2 (variable)
Paquetes de audio perdidos	54	35
Jitter de audio	59 ms	59 ms
Paquetes de video perdidos	151	93
Jitter de video	24 ms	45 ms
Protocolo de video	PVEC	H.263+FIJTUu
Video formato	CIF	CIF
Protocolo de audio	G.722.1	G.722.1
Protocolo de comunicaciones	H.323	H.323
LAN		
Velocidad del reloj de Tx y Rx	256	

Tabla 5.8.- Datos de videoconferencia.

Estos datos fueron tomados 15 minutos después de haber iniciado la videoconferencia, y como se ve en los datos hay pocos paquetes perdidos tanto en la transmisión como en la recepción lo cual confirma la calidad de la videoconferencia.

Otras pruebas de interés realizadas son: voz sobre IP y videoconferencia utilizando doble salto satelital, cuyos gráficos de tráfico se muestran a continuación:

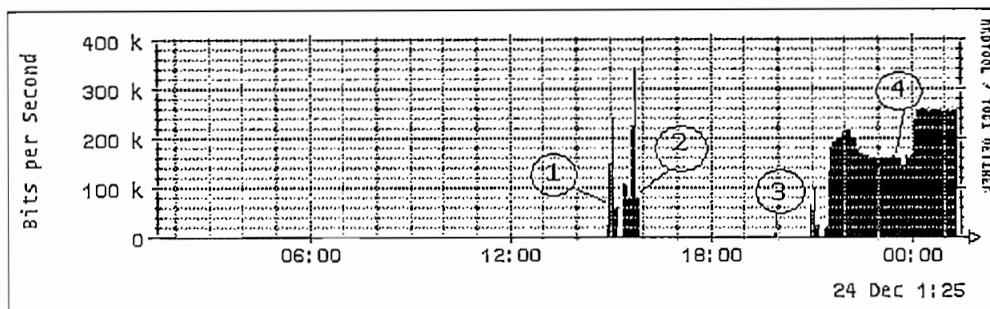


Figura 5.10.- Gráficos de tráfico

En la figura anterior el tráfico marcado como (1) y (2) corresponde a pruebas de videoconferencia realizadas con otra institución, empresa que posee un enlace satelital a 256 kbps y usa un equipo IRG 485 lo cual obliga a realizar un doble salto satelital. El tráfico marcado como (1) es una prueba a 128 kbps y el marcado (2) es a 256 kbps. En esta prueba con doble salto satelital no se obtuvieron resultados tan buenos como los realizados de la prueba con un solo salto satelital debido al retardo que ha sido de 1096.105 ms en promedio (dato obtenido al realizar un ping de extremo a extremo).

Mientras que el tráfico marcado como (3) corresponde a pruebas de voz sobre IP utilizando el programa Skype, y como se ve en el gráfico se ocupan unos 10 kbps aproximadamente durante la duración de la llamada.

Finalmente el tráfico marcado como (4) corresponde a navegación inicialmente y luego descarga de archivos únicamente.

Capítulo 6

Conclusiones y Recomendaciones

El desarrollo de la tecnología ha permitido que las comunicaciones satelitales sean cada vez más accesibles; ya que se hacen necesarias antenas y equipos de menor tamaño y de mejores características que los anteriores y también con menores costos.

El espectro electromagnético es un recurso escaso por lo cual es necesario realizar un uso adecuado del mismo. De ahí que se han desarrollado varios mecanismos para reutilizar las frecuencias, permitiendo que mayor cantidad de usuarios puedan usar las facilidades de las comunicaciones satelitales.

Para hacer posible las comunicaciones satelitales es necesario tratar de una manera especial a la señal que se desea transmitir para adecuarla al medio de transmisión y darle las características adecuadas para que se pueda recuperar la información en el destino.

El estándar DVB-S utiliza un esquema de protección contra errores muy robusto, adecuado para que la señal atraviese un canal ruidoso como el presente en las comunicaciones satelitales.

Al usar el estándar DVB-S se tiene un rango muy pequeño de variación de la relación señal a ruido para pasar de (QEF) casi libre de errores a un estado en que la comunicación es casi imposible, esta característica debe estar presente en los diseñadores de sistemas de

comunicaciones que usen este estándar para garantizar la disponibilidad del sistema de comunicaciones.

De los estudios y simulaciones realizadas para el estándar DVB-S se han obtenido resultados teóricos que se acercan mucho a los resultados obtenidos en la práctica, con ciertos márgenes de error debidos entre otros a las características propias del hardware usado en los equipos que manejan este estándar.

La característica implícita de un gran retardo en un enlace satelital, afecta al desempeño del protocolo TCP, por lo que es necesario aplicar algún mecanismo que ayude a mitigar el impacto de este gran retardo en el desempeño de TCP.

El hecho de que TCP interprete cualquier pérdida de información como una señal de congestión incluso cuando la pérdida de información se debe a corrupción, conlleva a reducir el BER que pudiere existir en un canal satelital al mínimo posible, lo cual se lo logra a través de varias estrategias: una de ellas es usar un buen esquema de protección contra errores. Esquema que es muy robusto en el estándar DVB-S.

Los algoritmos de control de congestión tienen un impacto negativo en el desempeño de una conexión TCP en particular, ya que desperdician ancho de banda del canal pues van probando lentamente el canal por nueva capacidad. Pero esto es necesario para evitar un colapso en la red, entonces es preferible que uno se vea afectado en su rendimiento a que toda una red se colapse.

Cuando se inicia una conexión TCP se usará el algoritmo de *arranque lento* para incrementar el tamaño de la ventana. Para conseguir un mejor desempeño se hace necesario el uso del algoritmo *Path-MTU Discovery* para conseguir una máxima transferencia de información, ya que el algoritmo de arranque lento limita la cantidad de segmentos que se pueden transmitir pero no controla el tamaño de estos segmentos, y el algoritmo *Path-MTU Discovery* hace posible enviar segmentos del tamaño máximo permitido. El uso del algoritmo *Path-MTU Discovery* también ayuda a conseguir una

recuperación rápida en caso de reducción de la ventana ya sea por congestión o daño de segmentos.

No solo mejorar el desempeño del protocolo TCP es necesario sino que también se debe garantizar la confiabilidad del mismo, por lo que al desarrollar nuevos mecanismos que mejoren el desempeño de TCP o lo hagan más rápido se deberá tener en cuenta que se mantenga la confiabilidad del protocolo en cualquier red que vaya a trabajar.

El estándar DVB-S no solo ha permitido aplicaciones de difusión de televisión o aplicaciones de contribución, sino también ha permitido aplicaciones de transmisión de datos brindando facilidades para formar redes privadas o dar acceso a Internet, por lo que incluso el nombre DVB-S (Digital Video Broadcasting- by Satellite) resulta un limitante ya que no refleja todas las aplicaciones que se han hecho posibles con este estándar.

El hecho de usar enlaces satelitales implica un retardo de aproximadamente 500 milisegundos para la ida y vuelta de información, lo cual afectará de una mayor o menor manera a una aplicación de acuerdo a las características propias de dicha aplicación. Para disminuir los efectos negativos de este retardo en aquellas aplicaciones que usan TCP se deberá aplicar alguno de los mecanismos estudiados en el capítulo 3 de este trabajo.

Cuando se realice el apuntamiento de una antena satelital se lo debe hacer con la mayor precisión posible de modo de conseguir una óptima utilización de las características de la antena.

La estación terrena instalada cumple con los requerimientos exigidos para su buen funcionamiento, lo cual se ve reflejado en el valor de E_b/N_0 que ha estado entre 8.8 y 9.3 dB; siendo el valor recomendado por Shiron de 7.0 dB o superior.

El enlace instalado ha funcionado satisfactoriamente para aplicaciones web, descarga de archivos, voz sobre IP y videoconferencia.

Al realizar descargas de un mismo archivo desde el Internet en diferentes ocasiones, se han conseguido tasas de transferencia diferentes y no se ha ocupado la totalidad del canal; de lo que se deduce que: la tasa de transferencia que se consiga dependerá en gran parte de la saturación del servidor que esté enviando el archivo, entonces no sería una medida muy precisa por ejemplo decir para descargar un archivo de 1 Gigabyte se necesitan “n” segundos utilizando el enlace instalado, ya que el tiempo de descarga no solo depende del ancho de banda que se posea en el lado de la recepción sino también de la velocidad con la que pueda enviar el transmisor y de la tasa de transferencia que se consiga en ese momento.

Una estación terrena como la implementada en este trabajo representa una solución efectiva de acceso a Internet, pues es de fácil implementación y configuración. Brinda facilidades para ejecutar varias aplicaciones que corran sobre IP al hacer uso de los recursos que posee la tecnología DVB-S para la transmisión de de datos; siendo también accesible ya que los costos de esta estación son moderados.

Una estación de este tipo puede ser para uso individual de una empresa o puede compartirse a través de diferentes alternativas de última milla.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1] Tomasi, Wayne “Sistemas de Comunicaciones Electrónicas” 1996
- [2] M Brady & M. Rogers “Digital Video Broadcasting, Return Channel via Satellite (DVB-RCS) Background Book”. 25 de Noviembre 2002 Nera Broadband Satellite AS
- [3] Rosado, Carlos “Comunicación por satélite Principios, tecnologías y sistemas” Asociación Hispanoamericana de Centros de Investigación y Empresas de Telecomunicaciones (AHCIET), 2000
- [4] INTELSAT “Earth Station Technology” Revision 5, June 1999
- [5] Egas, Carlos “Comunicaciones Satelitales”
- [6] Hidalgo, Pablo “Comunicación Digital”
- [7] Julián Seseña Navarro “Prontuario de las especificaciones del DVB”
- [8] M. Cominetti y A. Morello “Digital video broadcasting over satellite (DVB-S): a system for broadcasting and contribution applications”. Int. J. Satell. Comm 2000; 18:393 – 410.
- [9] ETSI ETS 300 421 “Digital broadcasting systems for television, sound and data services; Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services”
- [10] Herrera, Jaime “Estudio técnico-económico de un sistema de transmisión de video y audio por satélite para Teleamazonas” Escuela Politécnica Nacional 1998

-
- [11] http://www.4i2i.com/reed_solomon_codes.htm "Reed-Solomon Codes. An introduction to Reed-Solomon codes: principles, architecture and implementation"
- [12] Taylor, Christopher Lamont "Punctured Convolutional Coding Scheme for Multi-Carrier Multi-Antenna Wireless Systems" Department of Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California at Berkeley, 2001
- [13] Foerster, Jeff y Liebetreu, John "FEC Performance of Concatenated Reed-Solomon and Convolutional Coding with Interleaving" 2000-06-08
- [14] James Martin "Communications Satellite Systems" Prentice Hall 1978
- [15] M Allman "Enhancing TCP Over Satellite Channels using Standard Mechanisms" RFC 2488 January 1999
- [16] Postel, J "Transmission Control Protocol" RFC 793 September 1981
- [17] Stallings William "Comunicaciones y redes de computadores" 7ma. Ed Pearson Educación S.A. Madrid 2004
- [18] Jacobson, V "Congestion Avoidance and Control" Proceedings, SIGCOMM'88 Computer Communication Review, agosto de 1988
- [19] S. Floyd "TCP and Successive Fast Retransmits. Technical report, October 1994"
- [20] Jacobson, V. Braden, R. y D. Borman. "TCP Extensions for High Performance" RFC 1323 mayo 1992.
- [21] Dr. Gorry Fairhurst "Data Transmission using MPEG-2 and DVB" Jan 2001.
- [22] ETSI "ETSI EN 301 192 V1.4.1 Digital Video Broadcasting (DVB); DVB specifications for data broadcasting" 2004

-
- [23] Teh Chee Hong, Wan Tat Chee, Rahmat Budiarto “Simulation and Design of IP over DVB using Multi-Protocol Encapsulation and Ultra Lightweight Encapsulation” June 2005
- [24] ETSI “ETSI EN 301 790 V1.3.1” Digital Video Broadcasting (DVB); Interaction channel for satellite distribution systems. 2003
- [25] <http://www.shiron.com> Sitio web de Shiron Satellite Communications
- [26] <http://www.newskies.com> Sitio web de NEWSkies Satellites
- [27] Shiron Satellite Communications “IRG30 Remote Gateway Operation Manual” June 2004 Catalog Number LT005, REV. A2

ANEXOS

ANEXO 1

CARACTERÍSTICAS DE LA ANTENA



**PRODUCT
SPECIFICATIONS**

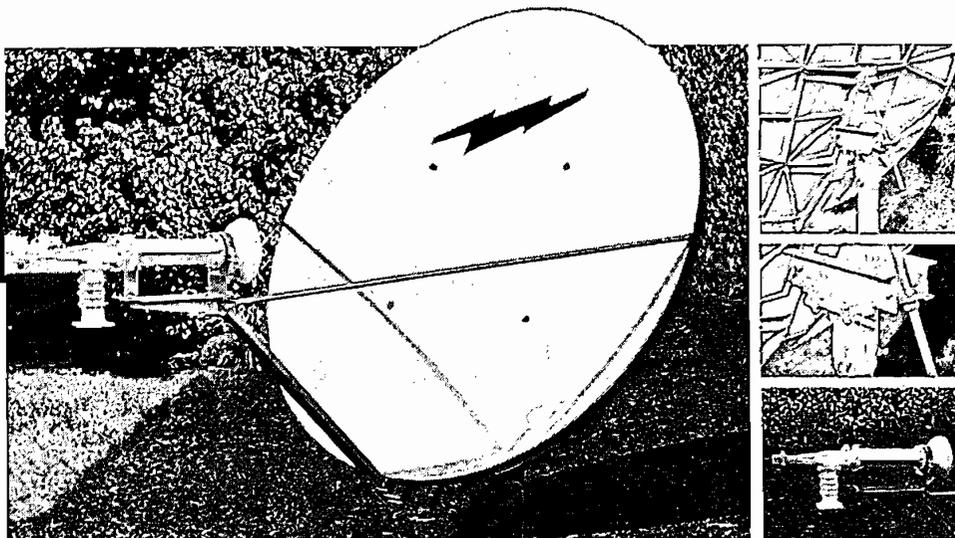
Detail Photos

(on right from top to bottom)

Heavy-duty galvanized
Az/EI Mount

Fine azimuth and elevation
adjustments

RF tested C-Band Circular
Polarized feed assembly



1.8 m C-Band Circular Polarized RxTx Class III Antenna System

Type 183

Type approved for use on
Intelsat Satellite System.



The Andrew Corporation Type 183 1.8 m Class III RxTx Antenna is a rugged commercial grade product suitable for the most demanding applications. The reflector is thermoset-molded for strength and surface accuracy. Molded into the rear of the reflector is a network of support ribs which not only strengthens the antenna, but also helps to sustain the critical parabolic shape necessary for transmit performance.

The Az/EI mount is constructed from heavy-gauge steel to provide a rigid support to the reflector and feed support arm. Heavy-duty lockdown bolts secure the mount to any 4.50" (114 mm) O.D.

mast and prevent slippage in high winds. Hot-dip galvanizing is standard for maximum environmental protection.

- One-piece precision offset thermoset-molded reflector.
- Fine azimuth and elevation adjustments.
- Galvanized feed support arm and alignment struts.
- Factory pre-assembled mount.
- Galvanized and stainless hardware for maximum corrosion resistance.
- RF tested feed assembly.
- Heavy-duty Class III mount for 25 lb (11 kg) RF electronics (LNB & BUC).

One Company. A World of Solutions.

SPECIFICATIONS

Type 183 1.8 m C-Band Circular Polarized RxTx Class III Antenna System

Type Approval Information*

Antenna Model	62-18334-01 (Type N), 62-18339-01 (WR 137)
Intelsat Standard	Standards G & H-2 (IESS 601)
Approval Code	JA050A00

RF Performance

Effective Aperture	1.8 m (71 in)
Operating Frequency	Tx 5.850 - 6.425 GHz Rx 3.625 - 4.200 GHz
Polarization	Circular; Tx LH, Rx RH; or Tx RH, Rx LH
Gain (± 4 dBi)	Tx 39.5 dBi @ 6.138 GHz Rx 35.4 dBi @ 3.913 GHz
3 dB Beamwidth	Tx 2.0° @ 6.1 GHz Rx 3.0° @ 3.9 GHz
Sidelobe Envelope (Tx, Co-Pol dBi)	
2.8° < θ < 20°	29-25 Log θ
20° < θ < 26.3°	-3.5
26.3° < θ < 48°	32 - 25 Log θ
48° < θ < 180°	-10
Axial Ratio	Tx 1.3 VAR (2.3 dB) Rx 1.4 VAR (3.0 dB)
Antenna Noise Temperature	10° El 41°K 20° El 36°K 30° El 33°K
VSWR	Tx 1.3:1 Rx 1.5:1
Isolation	Tx 60 dB Rx 60 dB
Feed Interface	Tx Type N or CPR-137 Rx CPR-229

(All specifications typical)

Mechanical Performance

Reflector Material	Glass Fiber Reinforced Polyester
Antenna Optics	One-Piece Offset Feed Prime Focus
Mount Type	Elevation over Azimuth
Elevation Adjustment Range	10°-90° Continuous Fine Adjustment
Azimuth Adjustment Range	360° Continuous; $\pm 10^\circ$ Fine Adjustment
Feed Support	Rectangular Section with Alignment Legs
Mast Pipe Interface	4.50 In (114 mm) Diameter
Wind Loading	Operational 50 mi/h (80 km/h) Survival 125 mi/h (200 km/h)
Temperature	-50°C to 80°C
Humidity	0 to 100% (Condensing)
Atmosphere	Salt, Pollutants and Contaminants as Encountered in Coastal and Industrial Areas
Solar Radiation	360 BTU/h/ft ²
Shock and Vibration	As Encountered During Shipping and Handling

* See our web site for a complete list of type approvals.



One Company. A World of Solutions.

Andrew Corporation
10500 W. 153rd Street
Orland Park, IL 60462 USA

Customer Support Center
From North America
Telephone: 1-800-255-1479
Fax: 1-800-349-5444
salcom@andrew.com

International
Telephone: +1-708-873-2307
Fax: +1-708-349-5444
Internet: www.andrew.com

All designs, specifications and availabilities of products and services presented in this bulletin are subject to change without notice.

Bulletin PA-100568-EN (6/05)
© 2005 Andrew Corporation, Orland Park, IL 60462 USA

ANEXO 2

LNB NORSAT



Norsat[®]
International Inc.

Digital – PRO C-Band DRO LNB 8000 Series

LNB

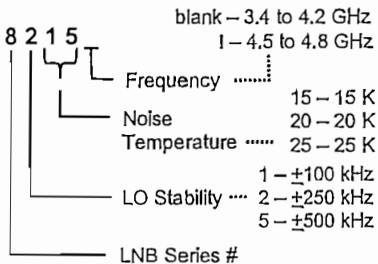


With extensive proven reliability in the field, the 8000 series remains Norsat's premium quality digital C-Band DRO LNB.

The 8000 Series is designed to provide commercial quality for VSAT and select digital applications such as:

- Higher data rate digital video, or commercial analog
- SCPC digital or analog audio applications
- Any SCPC data rate above 1 Mbps

How to Order a 8000 Series LNB



C-Band Series

Best	●	3000
Better	●	8000

Norsat Advantages

- Norsat LNBs are graded by Stability and Noise Temperature to provide the perfect balance between required performance and cost
- Proven reliability for lower lifetime costs
- Excellent DRO LO stability to control receiver drift and employ lower bit rates or narrower space segment
- Excellent Phase Noise to lower Carrier to Noise margins, improving BER

Norsat C-Band LNB Product Line

	8000	3000
Noise Temperature	15K to 25K	20K to 30K
Input VSWR	2:1	2.2:1
LO Stability	±100 to ±500 kHz	±5 to ±25 kHz
Phase Noise	-65 dBc/Hz @ 1kHz	-75 dBc/Hz @ 1kHz

Corporate Information For additional information or details on Norsat's product offering, please contact us at:

North America tel (1) 800 644 4562
fax (1) 604.292.9100

International tel +1.604.292.9000
fax +1.604.292.9100

United Kingdom tel +44.1522.730.800
fax +44.1522.730.927

email sales@norsat.com
http://www.norsat.com

Be certain. 

Norsat 8000 Series Specifications

Electrical Specifications

RF Input Frequency

- 8000: 3.4 to 4.2 GHz
- 8000I: 4.5 to 4.8 GHz

Input VSWR

- 2 :1

IF Output Frequency

- 8000: 950 to 1750 MHz
- 8000I: 1150 to 1450 MHz

Output VSWR

- 2.5 : 1 maximum, 75 Ohms

Gain

- 55 dB minimum
- 70 dB maximum, 60 dB typical

Gain Flatness

- 1 dB p-p maximum per 27 MHz segment
- ### 1 dB Gain Compression Point
- +8 dBm minimum

Noise Temperature

- 15K to 25K depending on model number

Image Rejection

- 45 dB minimum

Local Oscillator Frequency

- 8000: 5.15 GHz
- 8000I: 5.95 GHz

Local Oscillator Stability

- ± 100 kHz to ± 500 kHz depending on model number

Local Oscillator Leakage

- -45 dBm maximum measured at waveguide input

Mechanical Specifications

Input Interface

- CPR-229G Waterproof (Mated with matching flange and gasket)

Output Interface

- F-Type, 75 Ohm, Female Waterproof

Size

- 180 x 100 x 70 mm
- 7.1 x 3.9 x 2.8 in

Weight

- 425g / 15 oz maximum

Paint / Color

- White

Environmental Specifications

Operating Temperature

- -40 to +50 degrees Celsius

Relative Humidity

- Up to 100% condensation and frost

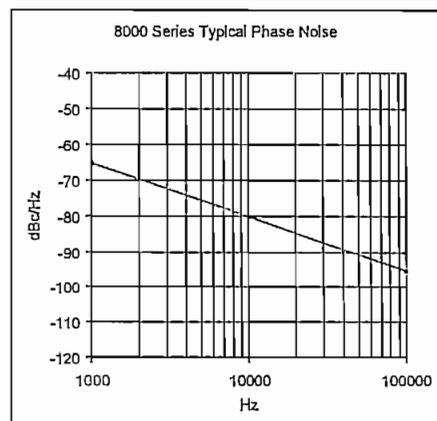
Power Requirements

Input DC Voltage

- +15 to +20 V supplied through center conductor of IF cable

Current Drain

- 200 mA maximum

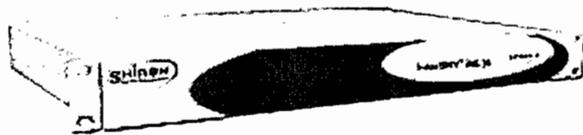


ANEXO 3

CARACTERÍSTICAS DEL TERMINAL REMOTO IRG30



InterSKY™ iRG 30



Shiron's new iRG 30 will revolutionize the way the world looks at the VSAT. The iRG 30 is a marriage of a two-way satellite terminal, an IP device and advanced control software. These components function together to provide delivery of pure IP traffic for all access needs.

The iRG 30 is the only system available on the market today that supports SCPC, DAMA, PAMA, DVB-S and DVB-RCS. The system provides broadband connectivity for ISP points of presence (POP), corporate offices, financial institutions, small and medium enterprises, government offices and Internet cafés. The iRG 30 is ideal for:

- Fast Internet Access
- Voice over IP Telephony
- Videoconferencing
- Interactive Distance Learning
- VPN (secure) Applications
- Reliable Business-To-Business (B2B)
- CRM
- IP Multicast Applications
- Telemedicine
- Terrestrial Backup
- Military Applications

The iRG 30 is a compact unit that supports data rates of up to 384 Kbps. It is a reliable and flexible system, supporting turbo codes and dual mode (Continuous and Burst) operation. The system has enhanced DVB-RCS software and is suitable for low power consumption applications.

The iRG 30 can either operate in PAMA mode (DVB outbound and SCPC inbound) or as an integral part of the InterSKY™ system. The advanced control software inside the iRG 30 acts as an agent of the central InterSKY™ Hub controllers. This software controls the modulator to provide Automatic Power Control (APC) and Automatic Frequency Control (AFC), which help the system optimize space segment usage. The Traffic Analyzer in the iRG 30 continuously monitors the outbound data needs and communicates with the Bandwidth On Demand (BOD) controller.

The iRG 30 has highly reliable embedded architecture and provides dependable broadband connectivity rain or shine, whether on land or at sea. The system is available with an optional Traffic Shaper that delivers IP quality of service.

The iRG 30 comes equipped with a 10/100 Base T Ethernet adapter for direct connection to a LAN, WLL, ADSL and other last mile interface equipment.

InterSKY™ iRG 30

Technical Specifications

Indoor Unit

AC Power	100-240V, 60/50Hz, 3.15A
LAN Interface	Ethernet (IEEE 802.3), 10/100BaseT, Autodetect
Operating System	VxWorks
L-Band Input Connector	F-Connector, 75 Ohm
L-Band Output Connector	N-type, 50 Ohm
Dimensions	440 x 290 x 42 (W x D x H) mm
Shipping Weight (with carton)	10 Kg.
Management Console	RS232 - EIA/TIA-232 (D-type 9pin).

Transmitter iRG 30

IF Range	L-band (950-1450 MHz)
Access	Dynamic FDMA, BM-FDMA, DAMA & Bandwidth On Demand, SCPC, DVB-RCS* QPSK (SQRT Raised Cosine, alpha=0.35) Convolutional Code R=1/2, 3/4 Turbo Code (DVB-RCS) R=3/4
Modulation	16-256 K Symbols Per Second
Coding	16-384 Kbps in 16 Kbps Resolution -35 to -5 dBm
Channel Rate	Continuous and Burst
Information Rate	+/- 0.2 ppm
Signal Level	
Transmission Type	
Reference Stability	

Receiver

IF Range	L-band (950-2150 MHz)
Access	DVB/S broadcast (ETS 300 421) Packed/Unpacked mode of MPE over DVB-S MPEG2-TS BPSK/QPSK (as per DVB-S) Convolution Code (rates 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 6/7, 7/8) Concatenated with Reed-Solomon (188/204) -65 to -35 dBm
Modulation	
Coding	
Signal Level	

Outdoor Unit

RF Frequency Band	C, Extended C, Ku, Extended Ku, Ka
Transmit Level	C-band: 2-5 Watt, Ku band: 1-4 Watt Higher power available upon request
Receiver	Low-cost Standard DRO LNB
Power Supply	24 VDC /4.5A, Supplied via RF Cable
Frequency Reference	10 MHz, Supplied via RF Cable
LNB Power and Signaling	Switchable 13/18VDC up to 350 mA, 22 KHz

Environmental Conditions

Indoor Unit	
Operating Temperature	0° to +50° C
Storage Temperature	-25° to +85° C
Humidity	5% to 95% Non-Condensing
Altitude	Up to 10,000 Feet

Outdoor Unit	
Operating Temperature	-40° to +55° C
Storage Temperature	-40° to +70° C
Relative humidity	Up to 100%
Altitude	Up to 10,000 Feet
Standard Compliance	FCC, CE, CTUV
Standard Conformation	DVB-S, IESS-308, ETSI TBR

*Upgradeable

Headquarters:

Shiron Satellite Communications Ltd.
94 Derech Am Hamoshavot, P.O. Box 3115,
Azorim Park, Petach Tikva, 49130, Israel
Tel: +972 3 918 3900, Fax: +972 3 921 4547
e-mail: marketing@shiron.com

USA Office:

Shiron Satellite Communications Inc.
20801 Biscayne Blvd., Suite 403
Aventura, FL 33180, USA
Tel: +1 305 936 8940, Fax: +1 305 847 0476
e-mail: sales@shiron.us

Australia Office:

16 Sandilands St.
South Melbourne, Victoria 3205, Australia
Tel: +61 3 9690 7700
Fax: +61 3 9690 7522
e-mail: sales@shiron.com

Copyright © 2004 Shiron Satellite Communications (1996) Ltd. All rights reserved. SHIRON and INTERSKY are trademarks of Shiron Satellite Communications (1996) Ltd. All other company or product names are the trademarks or registered trademarks of their respective holders.

www.shiron.com

Technical Specifications

ANEXO 4

CARACTERÍSTICAS DE LOS CABLES

BELDENCable™

1694A Coax - Low Loss Serial Digital Coax



For more information please
call
1-800-Belden1

See Put-ups and Colors

Description:

RG-6/U Type, 18 AWG solid .040" bare copper conductor, gas-injected foam HDPE insulation, Duofoil® + tinned copper braid shield (95% coverage), PVC jacket.

PHYSICAL CHARACTERISTICS:

CONDUCTOR:

Number of Coax 1
 Total Number of Conductors 1
 RG Type 6/U
 AWG 18
 Stranding Solid
 Conductor Diameter .040 in.
 Conductor Material BC - Bare Copper

INSULATION:

Insulation Material Gas-injected FHDPE - Foam High Density Polyethylene
 Insulation Diameter .180 in.

OUTER SHIELD:

Outer Shield Material Trade Name Duofoil®
 Outer Shield Type Tape/Braid
 Outer Shield Material :

Layer Number	Trade Name	Type	Material	% Coverage (%)
1	Duofoil®	Tape	Aluminum Foil-Polyester Tape-Aluminum Foil	100
2		Braid	TC - Tinned Copper	95

Outer Shield %Coverage 100 %

OUTER JACKET:

Outer Jacket Material PVC - Polyvinyl Chloride

OVERALL NOMINAL DIAMETER:

Overall Nominal Diameter .274 in.

MECHANICAL CHARACTERISTICS:

BELDENCable

1694A Coax - Low Loss Serial Digital Coax

Operating Temperature Range	-30°C To +75°C
UL Temperature Rating	75°C
Bulk Cable Weight	40 lbs/1000 ft.
Max. Recommended Pulling Tension	69 lbs.
Min. Bend Radius (Install)	2.75 in.

APPLICABLE SPECIFICATIONS AND AGENCY COMPLIANCE:

APPLICABLE STANDARDS:

NEC/(UL) Specification	CMR
CEC/C(UL) Specification	CMG
EU CE Mark (Y/N)	Yes
EU RoHS Compliant (Y/N)	Yes
EU RoHS Compliance Date (mm/dd/yyyy):	01/01/2004

FLAME TEST:

UL Flame Test	UL1666 Vertical Shaft
---------------	-----------------------

SWEEP TEST:

Sweep Testing	100% Sweep tested 5 MHz to 4.5 GHz.
---------------	-------------------------------------

SUITABILITY:

Suitability - Indoor	Yes
Suitability - Outdoor	Yes - Black only
Suitability - Aerial	Yes - Black only, when supported by a messenger wire
Suggested Connectors	AMP 221185-1 Dual Crimp Gold Pin BNC (75 Ohms); Amphenol 31-70000 Dual Crimp Gold Pin BNC (75 Ohms); Kings 2065-10-9 Dual Crimp Gold Pin (75 Ohms); Trompeter UPL220-20 Dual Crimp Gold Pin BNC (75 Ohm); ADC BNC-1694D Dual Crimp Gold Pin BNC (75 Ohm)

PLENUM/NON-PLENUM:

Plenum (Y/N)	N
Plenum Number	1695A

ELECTRICAL CHARACTERISTICS:

Nom. Characteristic Impedance	75 Ohms
Nom. Inductance	0.106 μ H/ft
Nom. Capacitance Conductor to Shield	16.2 pF/ft
Nominal Velocity of Propagation	82 %
Nominal Delay	1.24 ns/ft
Nom. Conductor DC Resistance @ 20 Deg. C	6.4 Ohms/1000 ft
Nominal Outer Shield DC Resistance @ 20°C	2.8 Ohms/1000 ft
Minimum Structural Return Loss :	

BELDENCable

1694A Coax - Low Loss Serial Digital Coax

1694A 0021000	#18 PE/GIFHDPE SH FR PVC	1000	45	RED	C
1694A 0024500	#18 PE/GIFHDPE SH FR PVC	4500	202.5	RED	C
1694A 0031000	#18 PE/GIFHDPE SH FR PVC	1000	45	ORANGE	C
1694A 0034500	#18 PE/GIFHDPE SH FR PVC	4500	202.5	ORANGE	C
1694A 0041000	#18 PE/GIFHDPE SH FR PVC	1000	45	YELLOW	C
1694A 0044500	#18 PE/GIFHDPE SH FR PVC	4500	202.5	YELLOW	C
1694A 0061000	#18 PE/GIFHDPE SH FR PVC	1000	45	BLUE, LIGHT	C
1694A 0064500	#18 PE/GIFHDPE SH FR PVC	4500	202.5	BLUE, LIGHT	C
1694A 0071000	#18 PE/GIFHDPE SH FR PVC	1000	45	VIOLET	C
1694A 0074500	#18 PE/GIFHDPE SH FR PVC	4500	202.5	VIOLET	C
1694A 0081000	#18 PE/GIFHDPE SH FR PVC	1000	45	GRAY	C
1694A 0084500	#18 PE/GIFHDPE SH FR PVC	4500	202.5	GRAY	C
1694A 0091000	#18 PE/GIFHDPE SH FR PVC	1000	45	WHITE	C
1694A 0094500	#18 PE/GIFHDPE SH FR PVC	4500	202.5	WHITE	C
1694A 0101000	#18 PE/GIFHDPE SH FR PVC	1000	45	BLACK	C
1694A 0104500	#18 PE/GIFHDPE SH FR PVC	4500	202.5	BLACK	C
1694A 010500	#18 PE/GIFHDPE SH FR PVC	500	22.5	BLACK	C
1694A N3U1000	#18 PE/GIFHDPE SH FR PVC	1000	45	GREEN, MIL	C
1694A N3U4500	#18 PE/GIFHDPE SH FR PVC	4500	202.5	GREEN, MIL	C

C = CRATE REEL PUT-UP.

Revision Number: 8

Revision Date: 09-15-2005

BELDENCable

1694A Coax - Low Loss Serial Digital Coax

© 2005 Belden Wire & Cable Company
All Rights Reserved.

Although Belden Electronics Division ("Belden") makes every reasonable effort to ensure their accuracy at the time of this publication, information and specifications described herein are subject to error or omission and to change without notice, and the listing of such information and specifications does not ensure product availability.

Belden provides the information and specifications herein on an "AS IS" basis, with no representations or warranties, whether express, statutory or implied. In no event will Belden be liable for any damages (including consequential, indirect, incidental, special, punitive, or exemplary damages) whatsoever, even if Belden has been advised of the possibility of such damages, whether in an action under contract, negligence or any other theory, arising out of or in connection with the use, or inability to use, the information or specifications described herein.

All sales of Belden products are subject to Belden's standard terms and conditions of sale.

Belden CDT Electronics Division believes this product to be in compliance with the following environmental regulations: California Proposition 65 Consent Judgment For Wire & Cable Mfgs.(San Francisco Superior Court Nos. 312962 And 320342); EU RoHS (Directive 2002/95/EC, 27-Jan-2003); EU ELV (Directive 2000/53/EC, 18-Sept-2000); EU WEEE (Directive 2002/96/EC, 27-Jan-2003); And EU BFR (Directive 2003/11/EC, 6-Feb-2003). The information provided in this Product Disclosure, and the identification of materials listed as reportable or restricted within the Product Disclosure, is correct to the best of Belden's knowledge, information and belief at the date of its publication. The information provided in the Product Disclosure is designed only as a general guide for the safe handling, storage, and any other operation of the product itself or the one that it becomes a part of. This Product Disclosure is not to be considered a warranty or quality specification. Regulatory information is for guidance purposes only. Product users are responsible for determining the applicability of legislation and regulations based on their individual usage of the product.

Belden CDT Electronics Division declares this product to be in compliance with EU LVD (Low Voltage Directive 73/23/EEC), as amended by directive 93/68/EEC.

BELDENCable™

9913 Coax - RG-8/U Type

		<p>For more information please call 1-800-Belden1</p> <p><u>See Put-ups and Colors</u></p>
--	---	--

Description:
RG-8/U type, 10 AWG solid .108" bare copper conductor, semi-solid polyethylene insulation, Duobond II® + tinned copper braid shield (90% coverage), PVC jacket.

PHYSICAL CHARACTERISTICS:

CONDUCTOR:

Number of Coax	1
Total Number of Conductors	1
RG Type	8/U
AWG	10
Stranding	Solid
Conductor Diameter	.108 in.
Conductor Material	BC - Bare Copper

INSULATION:

Insulation Material	Semi-Solid PE - Semi-Solid Polyethylene
Insulation Diameter	.286 in.

OUTER SHIELD:

Outer Shield Material Trade Name	Duobond® II
Outer Shield Type	Tape/Braid
Outer Shield Material :	

Layer Number	Trade Name	Type	Material	% Coverage (%)
1	Bonded DuoFoil®	Tape	Bonded Aluminum Foil-Polyester Tape-Aluminum Foil	100
2		Braid	TC - Tinned Copper	90

OUTER JACKET:

Outer Jacket Material	PVC - Polyvinyl Chloride
-----------------------	--------------------------

OVERALL NOMINAL DIAMETER:

Overall Nominal Diameter	.405 in.
--------------------------	----------

MECHANICAL CHARACTERISTICS:

Operating Temperature Range	-40°C To +80°C
-----------------------------	----------------

BELDENCable®

9913 Coax - RG-8/U Type

Non-UL Temperature Rating	75°C
Bulk Cable Weight	97 lbs/1000 ft.
Max. Recommended Pulling Tension	292 lbs.
Min. Bend Radius (Install)	6 in.

APPLICABLE SPECIFICATIONS AND AGENCY COMPLIANCE:

APPLICABLE STANDARDS:

EU CE Mark (Y/N)	Yes
EU RoHS Compliant (Y/N)	Yes
EU RoHS Compliance Date (mm/dd/yyyy):	01/01/2004

SUITABILITY:

Suitability - Indoor	Yes
Suitability - Outdoor	Yes
Suitability - Aerial	Yes

PLENUM/NON-PLENUM:

Plenum (Y/N)	N
Plenum Number	89913

ELECTRICAL CHARACTERISTICS:

Nom. Characteristic Impedance	50 Ohms
Nom. Inductance	.059 μ H/ft
Nom. Capacitance Conductor to Shield	24.6 pF/ft
Nominal Velocity of Propagation	84 %
Nominal Delay	1.2 ns/ft
Nom. Conductor DC Resistance @ 20 Deg. C	.9 Ohms/1000 ft
Nominal Outer Shield DC Resistance @ 20°C	1.8 Ohms/1000 ft
Nom. Attenuation :	

BELDENCable

9913 Coax - RG-8/U Type

9913 0101000	RG-8/U TYPE COAX	1000	116	BLACK	C
9913 010250	RG-8/U TYPE COAX	250	31.75	BLACK	C
9913 010500	RG-8/U TYPE COAX	500	58.5	BLACK	C

C = CRATE REEL PUT-UP.

Revision Number: 1 Revision Date: 07-11-2005

© 2005 Belden Wire & Cable Company
All Rights Reserved.

Although Belden Electronics Division ("Belden") makes every reasonable effort to ensure their accuracy at the time of this publication, information and specifications described herein are subject to error or omission and to change without notice, and the listing of such information and specifications does not ensure product availability.

Belden provides the information and specifications herein on an "AS IS" basis, with no representations or warranties, whether express, statutory or implied. In no event will Belden be liable for any damages (including consequential, indirect, incidental, special, punitive, or exemplary damages) whatsoever, even if Belden has been advised of the possibility of such damages, whether in an action under contract, negligence or any other theory, arising out of or in connection with the use, or inability to use, the information or specifications described herein.

All sales of Belden products are subject to Belden's standard terms and conditions of sale.

Belden CDT Electronics Division believes this product to be in compliance with the following environmental regulations: California Proposition 65 Consent Judgment For Wire & Cable Mfgs.(San Francisco Superior Court Nos. 312962 And 320342); EU RoHS (Directive 2002/95/EC, 27-Jan-2003); EU ELV (Directive 2000/53/EC, 18-Sept-2000); EU WEEE (Directive 2002/96/EC, 27-Jan-2003); And EU BFR (Directive 2003/11/EC, 6-Feb-2003). The information provided in this Product Disclosure, and the identification of materials listed as reportable or restricted within the Product Disclosure, is correct to the best of Belden's knowledge, information and belief at the date of its publication. The information provided in the Product Disclosure is designed only as a general guide for the safe handling, storage, and any other operation of the product itself or the one that it becomes a part of. This Product Disclosure is not to be considered a warranty or quality specification. Regulatory information is for guidance purposes only. Product users are responsible for determining the applicability of legislation and regulations based on their individual usage of the product.

Belden CDT Electronics Division declares this product to be in compliance with EU LVD (Low Voltage Directive 73/23/EEC), as amended by directive 93/68/EEC.

ANEXO 5

OMT

SPECIFICATIONS

FREQUENCY BAND
 RX: 3.700 - 4.200 GHz
 TX: 5.925 - 6.425 GHz

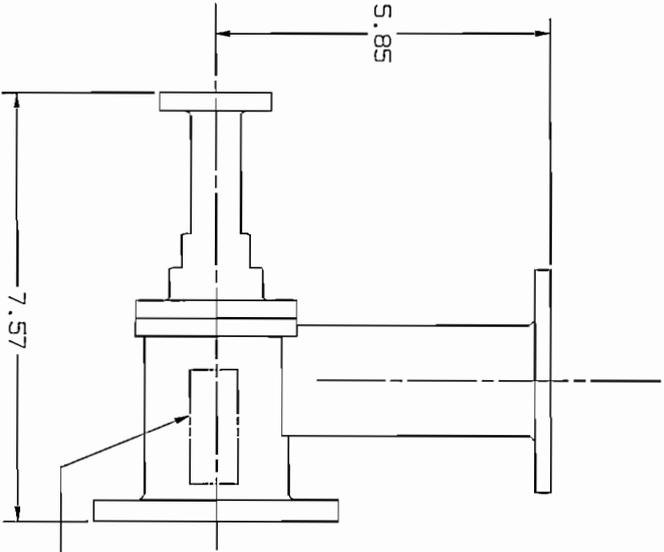
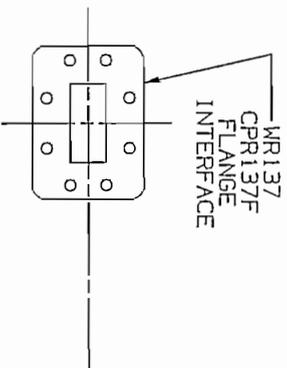
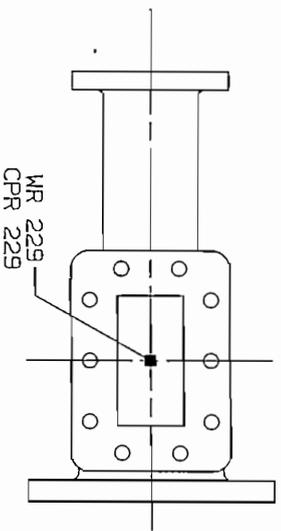
INSERTION LOSS
 RX: 0.2 dB MAX
 TX: 0.2 dB MAX

VSWR
 RX: 1.3:1 MAX
 TX: 1.5:1 MAX

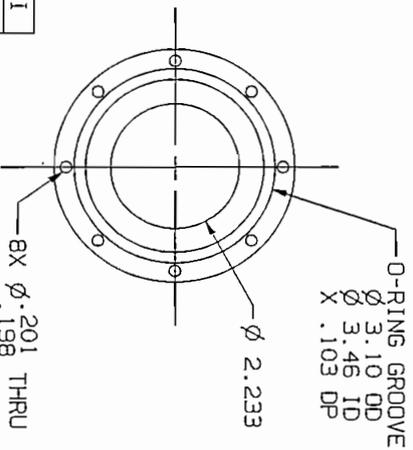
ISOLATION TX/RX: 70 dB MIN

PRESSURIZATION : PRESSURE TESTED TO 0.5 PSIG

FINISH
 FLANGE FACE: CHEM FILMED PER MIL-C-5541, TYPE 1A
 EXTERIOR: WHITE PAINT, COLOR No. 17875 PER FED-STD-595



VerteXRSI
 50478 XX-XX
 P/N 113279-3



-3 CONFIGURATION

REVISIONS			
REV	DESCRIPTION	DATE	APPROVED
-	INITIAL RELEASE	01-19-05	

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED			
DIMENSIONS ARE IN INCHES	TOLERANCES-	DATE	SIGNATURES
SURFACE	.XX ±.01	01-19-05	
	.XXX ±.005	01-19-05	
	.XXXX ±.005		
	ANGLES 10°-30°		

VerteXRSI™
 GENERAL DYNAMICS
 C4 Systems
 3111 Fujita St., Torrance, CA 90505, (310)539-6704

C-BAND OMT, X-POL

ANEXO 6

CÁLCULOS PARA APUNTAR LA ANTENA

CÁLCULO DEL AZIMUT Y DEL ÁNGULO DE ELEVACIÓN PARA APUNTAR LA ANTENA.

DATOS:

Satélite: NSS-806 319.5 ° Este

Estación Terrena

Longitud Oeste 78° 29' 10.3"

Latitud Sur 0° 11' 44.5"

1.- Conversiones

Longitud Oeste 78.486 °

Latitud Sur 0.1957°

2.- Cálculo del Azimut

En base a las fórmulas detalladas en el Capítulo 1 se tiene:

Para estaciones terrenas ubicadas en el hemisferio Sur

$$A = 360^\circ + \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{\operatorname{tg}(l_o - l_s)}{\operatorname{sen}(l_a)} \right) \text{grados}$$

Donde:

l_o = longitud de la estación terrena

l_s = longitud del satélite

l_a = latitud de la estación receptora

En las fórmulas anteriores hay que reemplazar los ángulos con las siguientes precauciones

Latitud Norte ángulo positivo

Latitud Sur ángulo negativo

Longitud Este ángulo positivo

Longitud Oeste ángulo negativo

$$A = 360^\circ + \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{(-78.486 - 319.5)}{\operatorname{sen}(-0.1957)}\right)$$

$$A = 360^\circ + 89.749^\circ$$

$$A = 89.749^\circ$$

3.- Cálculo del ángulo de elevación

$$E = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{\cos B - 0.15111}{\operatorname{sen} B}\right) \text{grados}$$

$$B = \cos^{-1}\{\cos la \cdot \cos(lo - ls)\} \text{grados}$$

$$B = \cos^{-1}\{\cos(-0.1957) * \cos(-78.48^\circ + 40.5^\circ)\}$$

$$B = 37.986^\circ$$

$$E = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{\cos(127.98^\circ) - 0.15111}{\operatorname{sen} 127.98^\circ}\right)$$

$$E = 45.988^\circ$$

ANEXO 7

CÁLCULO DE G/T DEL SISTEMA IMPLEMENTADO

CÁLCULO DE G/T DEL SISTEMA IMPLEMENTADO

En condiciones de cielo despejado en valor de E_b/N_o es:

$$\frac{E_b}{N_o} = 9.3dB$$

Al usar la fórmula (1.32) se obtiene el valor de C/N_o :

$$\frac{C}{N_o} = \frac{E_b}{N_o} + 10 \log(\text{digital rate}) \quad (1.32)$$

$$\frac{C}{N_o} = 9.3dB + 10 \log(59.526 \times 10^6)$$

$$\frac{C}{N_o} = 87.05dB$$

Considerando el enlace de bajada y al usar la fórmula (1.29). Teniendo en cuenta que el satélite NSS-806 tiene un PIRE de 38 dBW para la zona de interés y añadiendo 0.5 dBs de pérdidas por error de apuntamiento se tiene que:

$$\frac{C}{N_o} = PIRE - L + \frac{G}{T} - 10 \log(k) \quad (1.29)$$

$$\frac{G}{T} = \frac{C}{N_o} - PIRE + L + 10 \log(1.38 \times 10^{-23}) + 0.5dB$$

$$\frac{G}{T} = 87.05dB - 38dBW + 195.1dB - 228.6dB + 0.5dB$$

$$\frac{G}{T} = 16.05dB$$

Es de señalar que este valor de G/T es para condiciones de cielo despejado.

El valor de L (pérdidas de transmisión) se calcula de la siguiente manera:

$$L = L_o + L_{atm} + L_{rain} + L_{track} \quad (1.19)$$

Donde:

L_o = Pérdidas de espacio libre

L_{atm} = Pérdidas atmosféricas.

L_{rain} = Atenuación debida a los efectos de la lluvia.

L_{track} = Pérdidas debidas a errores de seguimiento.

De lo estudiado en el capítulo 1 de este trabajo se determina que las pérdidas atmosféricas y las seguimiento son despreciables para este caso.

$$L_o = 20 \log D + 20 \log f + 92.5 \text{ dB} \quad (1.23)$$

D = Distancia en km entre el transmisor y el receptor.

f = frecuencia en GHz.

Y para calcular la distancia entre el transmisor y el receptor se (estación terrena-satélite) se puede usar la fórmula (1.24)

$$D = 35787 (1.42 - 0.42 \cos \varphi * \cos \Lambda)^{1/2} \quad (1.24)$$

Donde:

φ = Latitud de la estación terrena.

Λ = diferencia entre la longitud del satélite y de la estación terrena.

Entonces:

$$L_o = 20 \log 37344 + 20 \log 3.597 + 92.5$$

$$L_o = 195.1 \text{ dB}$$

El valor final de L para este caso es igual a L_o ya que para la medición de E_b/N_o se realizó en condiciones de cielo despejado.