

Rubén Caruio
6/3/03.

ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL



DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA

DISEÑO DE UN SISTEMA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES POR
SATELITE "ECUASAT" UTILIZANDO LA ORBITA GEOESTACIONARIA
EN EL SEGMENTO ESPACIAL CORRESPONDIENTE AL ECUADOR

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD

ESPECIALIDAD ELECTRONICA

PRESENTADA POR:

MANUEL ROMERO PAZ

GUAYAQUIL - ECUADOR

A G R A D E C I M I E N T O

Al Ing. FREDDY VILLO QUEZADA
por su invaluable ayuda que
ha permitido la realización
de esta Tesis.

D E D I C A T O R I A

A MIS PADRES

A MI ESPOSA

A MI HIJA

Freddy Villao Q

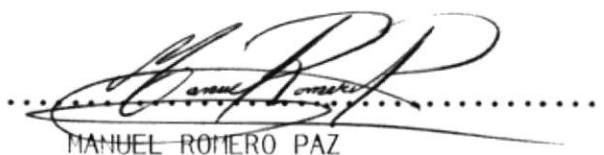
ING. FREDDY VILLOO QUEZADA

DIRECTOR DE TESIS

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la - ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).



MANUEL ROMERO PAZ

RESUMEN

El objetivo de esta tesis es diseñar un sistema doméstico de telecomunicaciones por satélite para satisfacer las necesidades nacionales de servicios públicos de telecomunicaciones, utilizando la órbita geoestacionaria.

En la primera parte de esta tesis se tratan en forma general aspectos relacionados con la órbita geoestacionaria, los satélites geoestacionarios, la frecuencia de radiocomunicaciones y la concepción, estudio e instalación de un sistema de telecomunicaciones por satélite.

En la segunda parte, se aplican los conceptos anteriores al caso particular del Ecuador: las etapas a seguir en el desarrollo de las telecomunicaciones en el Ecuador, las características del sistema satelital ecuatoriano, incluyendo programas para calculadora Hewlett Packard HP-41 para determinar los valores de los parámetros básicos de este sistema.

Además, se incluyen los aspectos reglamentarios a seguirse en un proyecto de telecomunicaciones por satélite y conceptos básicos sobre la transmisión digital que se utilizarían en el presente proyecto.

Como resultado de esta tesis se espera obtener el diseño del sistema ecuatoriano de telecomunicaciones por satélite: las características técnicas de los equipos a utilizarse, forma de transmisión aconsejable, los valores de los parámetros básicos del sistema y los aspectos reglamentarios a considerarse.

En síntesis, presentar un proyecto que pueda ser considerado en el plan de desarrollo de las telecomunicaciones en el Ecuador para cubrir la urgente necesidad de proveer servicios confiables y óptimos de telecomunicaciones a las poblaciones fronterizas, áreas de explotación hidrocarburífera y especialmente a la región insular del país, lo cual hace impostergable la creación del sistema doméstico de telecomunicaciones por satélite, al que se ha denominado "ECUASAT", en el Ecuador.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	VI
INDICE GENERAL.....	VIII
INDICE DE FIGURAS.....	XII
INDICE DE TABLAS.....	XIII
INDICE DE MAPAS.....	XIV
INDICE DE ABREVIATURAS.....	XV
INTRODUCCION.....	19
I CONCEPTOS BASICOS SOBRE LA ORBITA GEOESTACIONARIA Y LOS SATELITES GEOESTACIONARIOS.....	20
1.1 Definición de órbita geoestacionaria.....	20
1.2 Parámetros de la órbita geoestacionaria.....	20
1.3 Satélites geoestacionarios.....	22
1.4 Factores que limitan la utilización de la órbita geo- estacionaria.....	23
1.5 Aplicaciones de los satélites geoestacionarios.....	32
1.6 Países con órbita geoestacionaria.....	34
1.7 Satélites geoestacionarios puestos es órbita.....	34
II SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR SATELITE.....	35
2.1 Clasificación.....	35
2.2 Sistemas internacionales.....	35
2.3 Sistemas regionales.....	41
2.4 Sistemas domésticos con satélite propio en operación..	41

2.5 Sistemas domésticos con satélite alquilado a INTELSAT en operación.....	42
2.6 Sistemas domésticos con satélite propio planeados...	43
III EL ESPECTRO DE FRECUENCIAS DE RADIOCOMUNICACIONES.....	44
3.1 Frecuencia de radiocomunicaciones.....	44
3.2 Limitaciones de la frecuencia de radiocomunicaciones	45
3.3 Maximización de la capacidad de la órbita.....	50
IV CONCEPCION, ESTUDIO E INSTALACION DE UN SISTEMA DE TELE- COMUNICACIONES POR SATELITE.....	56
4.1 Revisión de las características principales de los sistemas de satélites.....	56
4.2 Utilización de los satélites para las necesidades de telecomunicaciones.....	57
4.3 Metodología.....	61
• 4.4 Diseño del sistema.....	62
• 4.5 Instalación de un sistema.....	65
V ASPECTOS REGLAMENTARIOS DE UN PROYECTO DE COMUNICACIONES POR SATELITE.....	71
5.1 Procedimientos establecidos por la Junta Internacio <u>n</u> nal de Registro de Frecuencias (IFRB) de la UIT....	71
5.2 Procedimientos a seguirse con INTELSAT.....	73
VI ETAPAS A SEGUIRSE EN EL DESARROLLO DE LAS TELECOMUNICA- CIONES ESPACIALES EN EL ECUADOR.....	75
6.1 Comunicaciones internacionales-Primera etapa.....	75
6.2 Comunicaciones nacionales utilizando segmento espa- cial alquilado-Segunda etapa.....	76

6.3 Comunicaciones por satélite propio-Tercera etapa...	77
VII PARAMETROS BASICOS DEL SISTEMA ECUASAT.....	82
7.1 Frecuencia de operación.....	82
7.2 Polarización.....	83
7.3 Cubrimiento.....	83
* 7.4 Características del satélite.....	84
* 7.5 Características de las estaciones terrenas.....	84
VIII TRANSMISION DIGITAL VIA SATELITE.....	87
8.1 Conceptos básicos.....	87
8.2 Probabilidad de error y diagrama de ojo.....	89
8.3 Tratamiento de las señales digitales en el sistema ECUASAT.....	92
8.4 Técnicas de modulación digital.....	96
8.5 Formación del pulso y modelo del canal satelital...	101
8.6 Cálculo de enlaces digitales via satélite.....	105
8.7 Cálculo del enlace digital aplicado al sistema ECUASAT.....	107
IX CALCULO DE LOS PARAMETROS BASICOS DEL SISTEMA ECUASAT..	110
9.1 Capacidad de canales para portadora única por repe- tidor.....	110
9.2 Comportamiento de un enlace por satélite.....	114
9.3 Operación multiportadora.....	117
9.4 Transmisión en la modalidad de canal único por por- tadora.....	123
• 9.5 Parámetros geométricos.....	125

4 X COSTO APROXIMADO DEL PROYECTO ECUASAT.....	129
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	137
APENDICES.....	141
BIBLIOGRAFIA.....	162

INDICE DE FIGURAS.

	PAG.
1.1 PARAMETROS DE LA ORBITA GEOESTACIONARIA.....	21
3.1 MAXIMIZACION DE LA CAPACIDAD DE LA ORBITA UTILIZANDO VA- RIAS BANDAS DE FRECUENCIA.....	51
3.2 MAXIMIZACION DE LA CAPACIDAD DE LA ORBITA UTILIZANDO PO- LARIZACION.....	52
3.3 MAXIMIZACION DE LA CAPACIDAD DE LA ORBITA UTILIZANDO LA SEPARACION GEOGRAFICA.....	52
8.1 RESPUESTA DE UN SISTEMA DE TRANSMISION EN DOMINIO TIEMPO Y FRECUENCIA.....	88
8.2 MODELO PRACTICO DE UN SISTEMA DE TRANSMISION.....	89
8.3 CANAL NYQUIST I DE ANCHO DE BANDA MINIMO.....	89
8.4 INTERFERENCIA ENTRE SIMBOLOS.....	90
8.5 GRAFICO DE $P_b(E)$ CONTRA E_b/N_o	91
8.6 DIAGRAMA DE OJO.....	91
8.7 ESQUEMA DE LA TRANSMISION PCM/TDM/DSI.....	95
8.8 MODULACION QPSK Y FORMAS DE ONDA (NO FILTRADAS).....	98
8.9 DENSIDAD ESPECTRAL DE UN CODIGO NRZ.....	100
8.10 CANALES NYQUIST I COSENOIDALES.....	102
8.11 MODELO DEL TRAYECTO DE TRANSMISION.....	103
8.12 PERDIDAS DE E_b/N_o EN FUNCION DE PARA QPSK.....	103

INDICE DE TABLAS.

	PAG.
1.- CARACTERISTICAS DEL SATELITE.....	85
2.- CARACTERISTICAS DE LAS ESTACIONES TERRENAS.....	85
3.- DEGRADACIONES DE E_b/N_o CON RESPECTO AL VALOR TEORICO...	107

INDICE DE MAPAS.

PAG.

1.- RED DE ESTACIONES TERRENAS.

86

INDICE DE ABREVIATURAS.

ACI	: Interferencia del canal adyacente.
AM	: Modulación de amplitud.
AMRT	: Acceso múltiple con distribución en el tiempo.
AMRF	: Acceso múltiple con distribución en frecuencia.
ASETA	: Asociación de Empresas Estatales de Telecomunicaciones del Acuerdo Subregional Andino.
b	: Bitios.
BER	: Tasa de errores de bitios.
BPSK	: Manipulación por desplazamiento de 2 fases.
CAMR	: Conferencia Admonistrativa Mundial de Radiocomunicaciones.
CCIR	: Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones.
CCITT	: Comité Consultivo Internacional de Telegrafía y Telefonía.
cm.	: centímetro.
DAMA	: Acceso múltiple con asignación por demanda.
dB	: Decibelio.
DEMUX	: Demultiplexor.
DM	: Modulación DELTA.
DSI	: Concentración digital de las conversaciones.
E	: Este.
ECS	: Sistema Europeo de Comunicaciones.
EEUU	: Estados Unidos de Norteamérica.
FACC	: Corporación Aeroespacial y de Comunicaciones FORD.
FCC	: Comisión Federal de Comunicaciones.
FDM	: Multiplexión por división de frecuencia.

FDMA	: Acceso múltiple por división de frecuencia.
FEC	: Control directo de error.
FM	: Modulación de frecuencia.
FSK	: Manipulación por desplazamiento de frecuencia.
GHz	: Gigahertz
HF	: Alta frecuencia.
HPA	: Amplificador de alta potencia.
Hz	: Hertz.
IETEL	: Instituto Ecuatoriano de Telecomunicaciones.
IF	: Frecuencia intermedia.
IFRB	: Junta Internacional de Registro de Frecuencias.
INMARSAT	: Corporación Internacional de Satélites Marítimos.
INTELSAT	: Corporación Internacional de Satélites de Telecomunicaciones.
ISI	: Interferencia entre símbolos.
°K	: Grados Kelvin.
Kg = Kgr	: Kilogramos.
KHz	: Kilohertz.
Km	: Kilómetro.
Kw	: Kilovatio.
Lb	: Libro.
LNA	: Amplificadores de bajo ruido.
Log	: Logaritmo.
m	: metro.
MHz	: Megahertz.
MIC	: Modulación por código de impulsos.

mm	: Milímetro.
MPSK	: Manipulación por desplazamiento de M fases.
mseg	: Milisegundos.
MSK	: Manipulación por desplazamiento mínimo.
MUX	: Multiplexor.
N	: Norte.
NASA	: Administración Nacional Aeronáutica y Espacial.
NIC	: Compresión cuasi-instantánea.
NRZ	: Sin retorno a cero.
O	: Oeste.
PBS	: Sistema de Radiodifusión Pública.
PCM	: Modulación por código de pulsos.
PIRE	: Potencia isotropa radiada equivalente.
PM	: Modulación de fase.
PSK	: Manipulación por desplazamiento de fase.
QPSK	: Manipulación por desplazamiento de 4 fases.
RF	: Radio frecuencia.
RPM	: Revoluciones por minuto.
Rx	: Receptor.
S	: Sur.
SBS	: Sistema de Satélites Comerciales.
SCPC	: Canal único por portadora.
S = seg	: Segundo.
SSB	: Modulación de banda lateral única.
SSPA	: Amplificador de estado sólido.
STS	: Sistema de transportación espacial.

TDM	: Multiplexión por división de tiempo.
TDMA	: Acceso múltiple por división de tiempo.
TT&C	: Telemando, telemetría y control.
TV	: Televisión.
Tx	: Transmisor.
TWT	: Tubo de ondas viajeras.
UIT	: Unión Internacional de Telecomunicaciones.
U.S.	: Estados Unidos de Norteamérica.
w	: Vatio.

INTRODUCCION

Este documento presenta el diseño general del sistema de telecomunicaciones por satélite geostacionario "ECUASAT" ubicado en el segmento orbital correspondiente al Ecuador y la justificación de sus principales parámetros técnicos.

Dicho proyecto ha sido ideado para prestar servicios de telefonía, televisión, telegrafía, télex, distribución de programas de radio y transmisión de datos a todo el territorio ecuatoriano.

La realización de un sistema satelital como el "ECUASAT", y su integración con la red terrestre, representará un esfuerzo técnico y humano de vastas proporciones y repercusiones para el Ecuador.

En particular, el uso de enlaces digitales de alta velocidad, involucrando nueva tecnología, requiere un cuidadoso análisis. Por esta razón, se describen los aspectos relacionados con la transmisión digital, sobre la cual, en razón de la escasa difusión que tiene en nuestro medio, se hacen algunas consideraciones teóricas fundamentales y sus aplicaciones al proyecto "ECUASAT".

Debido a que hacia 1985 las principales ciudades del país contarán con centros de conmutación digital, es claro que al tener la posibilidad de interconectar estas nuevas centrales por medio de un nuevo sistema de transmisión, este sea digital y utilizando lógicamente el sistema satelital "ECUASAT".

CAPITULO I

CONCEPTOS BASICOS SOBRE LA ORBITA GEOESTACIONARIA Y LOS SATELITES GEOESTACIONARIOS

1.1 DEFINICION DE ORBITA GEOESTACIONARIA

La órbita geoestacionaria pertenece al sistema de órbitas geosincrónicas. La órbita geosincrónica tiene igual periodo que la rotación de la Tierra (23 horas, 56 minutos y 4 segundos), pero se -
desplaza en una órbita que es elíptica y/o está inclinada con res_pecto al ecuador. La órbita sincrónica sobre el ecuador se denomi_ na geoestacionaria. En consecuencia, la órbita geoestacionaria se define como una órbita terrestre circular en el plano del ecuador a una altura de aproximadamente 36.000 Km sobre la superficie de la Tierra.

1.2 PARAMETROS DE LA ORBITA GEOESTACIONARIA

La zona de la superficie de la Tierra visible desde un satélite - geoestacionario es un círculo de 9.050 Km de radio alrededor del punto en el ecuador situado al pie de la vertical que pasa por el centro del satélite; es decir un círculo que va de los 81.3° N. a los 81.3° S. y de los 81.3° E. a los 81.3° O. medidos desde el - pie de la vertical que pasa por el centro del satélite. El satéli_ te es visible desde cada uno de los puntos de ese círculo y apare_ ce como si estuviese en el zenit al verlo desde el centro y en el horizonte al verlo desde la circunferencia. En la práctica, por -

la atenuación atmosférica, el satélite debe ubicarse encima del horizonte para que la comunicación sea segura. Una elevación mínima de 10° corresponde a un círculo de 71.43° , o sea aproximadamente 7.952 Km de radio. Este círculo es la zona de visibilidad del satélite. La "zona abarcada" es la zona efectivamente cubierta por las antenas o mecanismos de detección de los satélites de comunicación. La "zona de servicio" es la zona donde se ubican las estaciones terrenas. Si el ancho de la zona de servicio es igual al de la zona de visibilidad, el satélite solo puede ubicarse en la longitud central de la zona de servicio. Si la zona de servicio es mucho más pequeña que la de visibilidad, el satélite puede ubicarse en cualquier lugar dentro de una zona de longitudes desde el punto central. Por eso, los satélites al servicio de zonas extensas como los de comunicaciones intercontinentales, deben tener posiciones muy determinadas dentro de la órbita geoestacionaria, y los satélites al servicio de zonas pequeñas como los satélites nacionales de países pequeños, pueden emplazarse con más flexibilidad, lo cual puede ser importante para evitar interferencias entre satélites. La figura 1.1 muestra los parámetros de la órbita geoestacionaria.

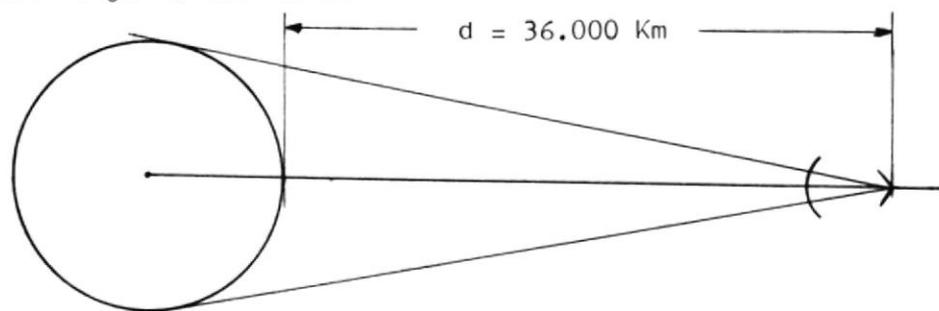


FIGURA 1.1 PARAMETROS DE LA ORBITA GEOESTACIONARIA

1.3 SATELITES GEOESTACIONARIOS

Un satélite artificial es un objeto colocado por el hombre en órbita alrededor de un cuerpo celeste, de modo provisional o permanente, mediante lanzamiento a propulsión y proporcionándole la velocidad necesaria para hacerlo girar.

Los satélites terrestres se desplazan en una órbita alrededor de la Tierra con un periodo determinado por el radio de la órbita. Para un radio de 42.165 Km correspondiente a una altura de aproximadamente 36.000 Km un satélite tiene un periodo de 23 horas, 56 minutos y 4 segundos y es sincrónico con la rotación de la Tierra. Si el satélite se desplaza en el mismo sentido que la Tierra, de Oeste a Este, y su órbita está sobre el ecuador, un observador en la superficie de la Tierra tendrá la impresión de que el satélite está detenido en un punto fijo del cielo, vale decir que es geoestacionario. Con respecto a las coordenadas geográficas, la posición de un satélite geoestacionario se define por su longitud. La ventaja de esa órbita es que un satélite geoestacionario tiene bajo observación constante una amplia zona de la Tierra y es visible en todo momento desde cualquier punto ubicado en esa zona y no es necesario reorientar constantemente una antena terrestre fija para rastrear el satélite.

Esta definición es ideal pues las fuerzas naturales cambian la órbita del satélite: hacen que el satélite derive en el sentido de la longitud y la latitud, describiendo una traza en forma de 8. Para mantener el satélite en la posición deseada en la órbita, se u

utilizan sistemas de "mantenimiento de la estación" a bordo del satélite. Los satélites geoestacionarios recientes pueden mantener su posición con una exactitud de $\pm 0,1^{\circ}$ con respecto tanto a la longitud como a la latitud, lo que corresponde a un cuadrado de 150 Km en sentido Norte-Sur y en sentido Este-Oeste. La altura del satélite también varía en unos 60 Km. La órbita geoestacionaria, en lugar de ser una línea en el espacio, es en realidad un anillo con un ancho de 150 Km en el sentido Norte-Sur y un espesor de 60 Km.

1.4 FACTORES QUE LIMITAN LA UTILIZACION DE LA ORBITA GEOESTACIONARIA

Hay dos factores que afectan el funcionamiento y limitan el número de satélites en la órbita geoestacionaria:

El primero son las fuerzas que actúan sobre un satélite geoestacionario que pueden ser producidas por el hombre o de origen natural, y en general impiden que los satélites estén ubicados en posiciones fijas de manera permanente en la órbita geoestacionaria.

El segundo factor son las restricciones físicas a que está sujeta la órbita geoestacionaria, de lo cual depende la capacidad de la órbita en función del número de satélites.

1.4.1 FUERZAS QUE ACTUAN SOBRE UN SATELITE GEOESTACIONARIO

Ya se anotó que las fuerzas que actúan sobre un satélite geoestacionario pueden ser naturales o producidas por el -

hombre, pero en cualquier caso impiden que el satélite tenga una posición fija en la órbita geostacionaria. Tales - fuerzas son:

- La propulsión de lanzamiento y de mantenimiento de la posición.
- La atracción de la masa total de la Tierra.
- El achatamiento de la Tierra.
- La forma elíptica del ecuador.
- La atracción de la luna y el sol.
- La presión de la radiación solar.

1.4.1.1 LA PROPULSION DE LANZAMIENTO Y DE MANTENIMIENTO DE LA POSICION.

La posición inicial del satélite en la órbita es - determinada por el lanzamiento y los posteriores - impulsos adicionales aplicados con cohetes. Aún si no se alcanza la posición nominal deseada, se necesitan correcciones de mantenimiento para conservar al satélite en una zona determinada alrededor de - la posición nominal. Esas correcciones se realizan periódicamente durante la vida activa del satélite o las fuerzas naturales desviarán al satélite fuera de la región prevista inicialmente.

1.4.1.2 LA ATRACCION DE LA MASA TOTAL DE LA TIERRA.

Esta atracción, aplicada en su centro, es la fuerza natural más importante que actúa sobre un satélite geoestacionario. La atracción a una distancia r del centro de la Tierra se calcula por la tercera ley de Kepler:

$$r^3 = \frac{GE}{4\pi^2} \times P^2$$

Donde: $GE = 398.600,5 \text{ Km}^3/\text{s}^2$ es la constante gravitatoria multiplicada por la masa terrestre.

El periodo P de rotación sidereo es de 23 horas 56 minutos y 4 segundos (86.164,0982 seg.) lo que conduce a un valor de 42.164,175 Km para el radio de la órbita geoestacionaria.

1.4.1.3 EL ACHATAMIENTO DE LA TIERRA

Su principal efecto es aumentar el radio de la órbita geoestacionaria a:

$$r_g = 42.164,697 \text{ Km.}$$

Restando el radio ecuatorial de la Tierra:

$$r_o = 6.378,140 \text{ Km.}$$

La altura nominal de la órbita geoestacionaria sobre el ecuador es de:

$$h = 35.786,557 \text{ Km.} \approx 36.000 \text{ Km.}$$

1.4.1.4 LA FORMA ELIPTICA DEL ECUADOR

La diferencia entre los radios máximo y mínimo del ecuador no supera los 70 m. pero es suficiente para provocar en un satélite geostacionario importantes oscilaciones en torno del eje menor del ecuador, cuyas amplitudes pueden llegar a los 90° y su periodo supera los 2,3 años. Los satélites derivan con respecto a la Tierra en rotación a una velocidad de hasta $0,4^{\circ}$ por día. Si derivan al Oeste, se elevan hasta 34 Km sobre la órbita geostacionaria; si derivan al Este, descienden hasta 34 Km por debajo de la misma. Los satélites ubicados en la prolongación del eje menor del ecuador, situado aproximadamente en 105° O. y 75° E. no resultan afectados por estar en equilibrio estable y los ubicados sobre el eje mayor, a los 15° O. y 165° E. están en equilibrio inestable.

1.4.1.5 LA ATRACCION DE LA LUNA Y EL SOL

Esta atracción y el achatamiento de la Tierra, ejercen sobre el satélite una fuerza que lo desplaza del plano ecuatorial, y la inclinación de la órbita del satélite, inicialmente igual a cero, aumenta en $0,85^{\circ}$ por año hasta alcanzar la inclinación máxima de $14,6^{\circ}$ al cabo de 26,5 años. Luego la inclinación disminuye a cero. Esto causa tam -

bién un leve cambio en la altura y ligeras oscilaciones en la longitud. La proyección de la órbita sobre la superficie de la Tierra tendrá la forma de un 8, con una amplitud igual a la inclinación.

1.4.1.6 LA PRESION DE LA RADIACION SOLAR

Esta presión provoca una oscilación anual de la excentricidad de la órbita y su magnitud depende de la superficie del satélite que se halle orientada al sol. La excentricidad aumentará durante 6 meses y disminuirá al valor inicial durante el resto del año.

1.4.2 RESTRICCIONES FISICAS

El empleo de un satélite geostacionario está sujeto a varias restricciones físicas que se deben considerar en el diseño de un sistema de satélite. Es importante mencionar que no tiene sentido expresar el límite de la capacidad de la órbita exclusivamente en función del número de satélites puesto que las características de los satélites varían en gran medida, es más provechoso expresar las limitaciones de la órbita en función de los siguientes parámetros:

- La saturación de la órbita.
- La saturación del espectro de frecuencias.
- La interrupción de las comunicaciones debido a la interferencia solar.

- La privación de la energía solar.
- La falta de combustible para el mantenimiento de la posición del satélite.

1.4.2.1 LA SATURACION DE LA ORBITA

Esta será la restricción menos grave mientras se usen satélites pequeños. La órbita geoestacionaria se saturaría si fuese imposible ubicar en ella un nuevo satélite sin aumentar excesivamente la probabilidad de choque entre satélites.

Ya se señaló que los satélites requieren actividades de fijación de posición para mantenerse en la ubicación asignada y que los satélites actuales lo pueden hacer con una variación de $\pm 0,1^{\circ}$ de longitud, entonces hay en la órbita 1.800 "lugares" de $0,2^{\circ}$ de ancho cada uno cuyo uso eliminaría todo riesgo de colisión entre satélites en funcionamiento. Si se colocan 2 o más satélites en la misma posición nominal, hay un riesgo que depende del tamaño de los satélites. En un estudio reciente se llegó a la conclusión de que 2 satélites de 100 m^2 de sección transversal cada uno tendrían una probabilidad de choque de 9×10^{-7} al año y si fueran 10 satélites la probabilidad aumentaría a 4×10^{-5} al año, es decir habría un promedio de una colisión entre satélites cada 400.000 años.

El mayor peligro de colisión es entre satélites activos e inactivos a la deriva. Debido a que las fuerzas naturales producen un cambio de longitud, inclinación y excentricidad de la órbita de los satélites, un satélite inactivo tiene una órbita neosin crónica que cruza la órbita geostacionaria 2 veces al día. El peligro de colisión ocurre durante el pa so de los satélites inactivos por el anillo que ocu pan los satélites activos. Las colisiones entre sa télites solo son importantes porque pueden producir más objetos que crucen el anillo geostacionario.

En el estudio citado, se calculó la probabilidad de colisión con la densidad proyectada de satélites ac tivos e inactivos en los próximos 2 decenios, se su pone que el aumento de la demanda de utilización de la órbita geostacionaria se satisfará en gran medi da con un incremento del tamaño, y no del número, de los satélites, y la superficie de la sección trans versal es un factor determinante en la probabilidad de colisión. Según estos resultados la probabilidad de colisión seguirá siendo baja durante el futuro - previsible, a menos que se lancen satélites de ener gía solar u otras estructuras de tamaño comparable. Como el riesgo principal de colisión de los satéli tes activos es con los satélites inactivos, una so lución sería retirar esos satélites al final de su

vida útil. Como los satélites inactivos permanecen a una altura que varía hasta un máximo de 100 Km, al elevar los satélites a órbitas circulares estables de 100 a 200 Km sobre la órbita geoestacionaria, se elimina el riesgo de colisión; esto requeriría unos 0,2 o 0,4 Kg de propulsor de hidracina por 100 Kg de masa del satélite. En la actualidad el Transbordador Espacial ofrece una solución más segura pues permite el retiro de los satélites inactivos de la órbita geoestacionaria. Esta solución está en etapa experimental, mientras que la primera ya ha sido aplicada por INTELSAT.

1.4.2.2 SATURACION DEL ESPECTRO DE FRECUENCIAS

Por acuerdos celebrados en el marco de la UIT, las comunicaciones con satélites solo disponen de zonas restringidas del espectro de frecuencias y se estableció procedimientos para asignar frecuencias que se deben satisfacer antes de aprobar un nuevo sistema de satélite.

1.4.2.3 LA INTERRUPCION DE LAS COMUNICACIONES DEBIDO A LA INTERFERENCIA SOLAR.

Tal interrupción, llamada también corte solar, se produce cuando, visto desde una estación terrestre,

el satélite pasa tan cerca del disco solar que sus comunicaciones se interrumpen por la interferencia solar. Ocurre en todas las estaciones, pero en diferentes momentos del año y del día. La interrupción dura máximo 6 minutos y ocurre 2 veces al año alrededor de la época de los equinoccios vernal y otoñal, durante 4 días consecutivos. Si no es posible tolerar una interrupción de las comunicaciones, se debe usar un segundo satélite durante esos periodos.

1.4.2.4 PRIVACION DE LA ENERGIA SOLAR

Los satélites geostacionarios están sujetos a eclipses de sol por interposición de la Tierra 2 veces al año, alrededor de los equinoccios de primavera y otoño. El satélite queda eclipsado durante 44 noches consecutivas, alrededor de cada equinoccio por un lapso de hasta 72 minutos. Ocurre antes de la medianoche si el satélite está al Este de la zona de servicio y después de la medianoche si está al Oeste.

Como los satélites utilizan células solares como fuente de energía, esto puede interrumpir el servicio. Hay varios modos de resolver este problema: usar baterías que proporcionen energía durante los eclipses; o emplazar el satélite de modo que las interrupciones ocurran en momentos aceptables; o usar

2 satélites cuyos eclipses ocurran en periodos distintos.

1.4.2.5 LA FALTA DE COMBUSTIBLE PARA EL MANTENIMIENTO DE LA POSICION DEL SATELITE

Este hecho limitaría severamente el uso de un satélite geostacionario, aún si las otras funciones del satélite permanecieran intactas, debido a variaciones en su longitud, como ya se explicó.

1.5 APLICACIONES DE LOS SATELITES GEOESTACIONARIOS

Los satélites geostacionarios son utilizados en las siguientes ramas:

- Comunicaciones
- Meteorología
- Investigaciones espaciales
- Sistemas propuestos

1.5.1 COMUNICACIONES

Es la principal esfera de utilización de la órbita geostacionaria, tanto por la calidad de los satélites como por el ancho de banda de radiocomunicaciones que se emplea. Esta órbita es especialmente apropiada para mantener comunicación constante entre estaciones terrenas mediante un solo satélite.

1.5.2 METEOROLOGIA

Los satélites de observación meteorológica generan información mediante los sensores que llevan a bordo y la transmiten a estaciones terrestres fijas. Se envía al satélite un volumen reducido de datos de mando y control y desde este se transmite un volumen mucho mayor de datos meteorológicos. Estos satélites pueden efectuar observaciones frecuentes de la atmósfera terrestre, en cambio los satélites que están a menor altitud solo dan información sobre una zona cada 12 horas.

1.5.3 INVESTIGACIONES ESPACIALES

Actualmente hay 2 satélites de investigación espacial en esta órbita: el explorador ultravioleta internacional, que es un observatorio astronómico y el satélite geoestacionario de órbita terrestre (GEOS-2), que observa la magnetosfera. Estos satélites facilitan el contacto permanente con la estación terrestre.

1.5.4 SISTEMAS PROPUESTOS

Se ha propuesto usar satélites de rastreo y retransmisión de datos en esta órbita para mantener contacto permanente con los satélites cuya función requiere que estén en órbitas bajas, como los satélites de teleobservación. Dos satélites geoestacionarios podrían rastrear casi permanentemente los satélites en órbita baja y retransmitir los datos a

una central terrestre única.

Además, se considera a los satélites geoestacionarios como medio de estudiar fenómenos terrestres de rápida variación, como la humedad del suelo y de observar zonas de desastre. Por último, se han propuesto los satélites de energía solar como medios eficientes para aprovechar esa energía. Esos satélites se podrían orientar para recibir plena luz solar - las 24 horas del día y transmitir esa energía continuamente en forma de microondas a una antena receptora en la superficie terrestre.

1.6 PAISES CON ORBITA GEOESTACIONARIA

Los siguientes son los países que tienen territorios en el plano ecuatorial (latitud 0^0) y por consiguiente órbita geoestacionaria:

- | | |
|----------|-------------|
| - GABON | - SOMALIA |
| - CONGO | - INDONESIA |
| - ZAIRE | - BRASIL |
| - UGANDA | - COLOMBIA |
| - KENYA | - ECUADOR |

1.7 SATELITES GEOESTACIONARIOS PUESTOS EN ORBITA

En el apéndice A se presenta el listado de los satélites geoestacionarios puestos en órbita entre 1.963 y 1.980.

CAPITULO II

SISTEMAS DE COMUNICACIONES POR SATELITE

2.1 CLASIFICACION

Los sistemas de comunicaciones por satélite pueden ser clasificados en 5 grupos:

- Sistemas Internacionales
- Sistemas Regionales
- Sistemas Domésticos con satélite propio en operación
- Sistemas Domésticos con satélite alquilado a INTELSAT en operación
- Sistemas Domésticos con satélite propio planeados

2.2 SISTEMAS INTERNACIONALES

En la actualidad hay 2 sistemas internacionales que son: INMARSAT e INTELSAT.

La Organización INMARSAT provee el segmento espacial necesario para perfeccionar las comunicaciones de socorro y las destinadas a la seguridad de la vida humana en el mar, el rendimiento y la explotación de los barcos, los servicios marítimos de correspondencia pública y los medios de radiodeterminación.

La International Telecommunications Satellite Corporation (INTELSAT) tiene la finalidad de diseñar, desarrollar, construir, establecer y mantener la operación del segmento espacial de un -

sistema global de comunicaciones por satélite.

INTELSAT comprende 2 elementos principales: el segmento espacial, integrado por los satélites, propiedad de INTELSAT y el segmento terrestre, compuesto por las estaciones terrenas, propiedad de las Entidades de Telecomunicaciones de los países donde se hallan situadas. En la actualidad el segmento espacial lo constituyen 10 satélites situados en órbita geoestacionaria. El servicio mundial se presta mediante una combinación de satélites INTELSAT IV - A, INTELSAT IV e INTELSAT V emplazados sobre las regiones del Atlántico, Indico y Pacífico. El segmento terrestre comprende 274 antenas de telecomunicaciones ubicadas en 224 estaciones terrenas situadas en 125 países y territorios. El sistema de satélites y estaciones terrenas atiende en conjunto más de 760 trayectos de telecomunicaciones de estación terrena a estación terrena. En el Apéndice B se presenta un listado de los países miembros de INTELSAT.

A continuación se detallan las características generales de los satélites lanzados por la Organización INTELSAT:

INTELSAT I	Pájaro Madrugador.
Fecha de lanzamiento	Abril 16 de 1965
Tamaño	28.4 pulgadas de diámetro y 23.5 pulgadas de alto.
Peso	150 libras al lanzamiento; 85 libras después del encendido del motor de apogeo.
Antenas	Orientada para alto tráfico entre Norteamérica y Europa.

Vida esperada	18 meses. Operó satisfactoriamente 3.5 años y ahora está en reserva orbital.
Acceso	Dió comunicaciones punto a punto. No tenía capacidad para acceso múltiple por parte de estaciones terrestres.
Vehículo lanzador	Mc Donnell/Douglas de 3 etapas.
Contratista	Hughes Aircraft de los EEUU.

INTELSAT II

Periodo de lanzamiento	Año de 1967
Tamaño	56 pulgadas de diámetro; 26.5 pulgadas de alto.
Peso	357 libras al lanzamiento; 190 libras después de encendido el motor de apogeo.
Antenas	De cubrimiento global (hemisferios Norte y Sur).
Acceso	Introdujo la capacidad de acceso múltiple de las estaciones terrenas en su area de cubrimiento.
Vida esperada	3 años.
Vehículo lanzador	Mc Donnell/Douglas de 3 etapas.
Contratista	Hughes Aircraft Company de EEUU.

INTELSAT III

Periodo de lanzamiento	Años 1.968 - 1.970.
Tamaño	56 pulgadas de diámetro; 41 pulgadas de alto.

Peso	647 libras al lanzamiento ; 334 libras - después de encendido el motor de apogeo.
Capacidad	1.200 circuitos, 4 canales de TV.
Vida esperada	5 años.
Antenas	Orientadas constantemente hacia la super <u>f</u> icie terrestre.
Acceso	Tiene una capacidad expandida para la - transmisión de todas las formas de comunicación simultaneamente: Telefonía, Telegrafía, Televisión, Transmisión de datos de alta velocidad y facsímiles. Provee servicios de TV. sin interrupción - del servicio de telefonía o mensajes.
Vehículo lanzador	Mc Donnell/Douglas de 3 etapas.
Contratista	TRW Systems Inc. de los EEUU.
INTELSAT IV	
Fecha de lanzamiento	El primero se lanzó en Enero de 1.971.
Tamaño	93.7 pulgadas de diámetro; 111 pulgadas de altura del tambor solar.
Peso	3.090 libras al lanzamiento; 1.587 li - bras después del encendido del motor de apogeo.
Capacidad	3.000 circuitos de transpondedores en mo <u>d</u> o global y 9.000 circuitos con transpon <u>d</u> edores en cubrimiento puntual, o 12 ca-

	nales de TV. Tiene 12 transpondedores cada uno con ancho de banda de 36 MHz.
Antena	2 antenas transmisoras globales; 2 antenas receptoras globales; 2 antenas transmisoras de cubrimiento puntual orientables y 2 antenas receptoras de cubrimiento puntual orientables.
Vida esperada	7 años.
Acceso	Múltiple y capacidad de transmisión simultanea.
Contratista	Hughes Aircraft de los EEUU.
INTELSAT IV-A	
Fecha de lanzamiento	29 de Enero de 1976.
Tamaño	6.98 m. de altura.
Peso	1.515 Kgr en el momento del despegue; 825.5 Kgr después de encenderse el motor de apogeo.
Capacidad	Mayor capacidad al aumentar de 12 a 20 el número de transpondedores operativos y utilizando sistema perfeccionado de antenas. Es superior en 2 tercios a los satélites de la serie INTELSAT IV ya que pueden suministrar aproximadamente 6.250 circuitos de voz además de canales de TV.
Antenas	Nuevo sistema de antenas que permite un -

mejor aprovechamiento del ancho de banda, gracias a la reutilización de frecuencias mediante la separación de haces.

Vida esperada	Vida útil de diseño de 7 años y capacidad suficiente para satisfacer las necesidades de las comunicaciones internacionales por satélite hasta fines del presente decenio.
Acceso	Múltiple con reuso de frecuencia.
Vehículo lanzador	Cohete Atlas Centauro.
Contratista	Hughes Aircraft Company.

INTELSAT V

Fecha de lanzamiento	6 de Diciembre de 1980.
Tamaño	6.4 m de altura; 6.8 m de anchura (totalmente desplegado).
Peso	1.928 Kgr en el momento de lanzamiento y 1.011 Kgr en órbita.
Capacidad	12.000 circuitos telefónicos y 2 canales de TV. es decir casi el doble de la capacidad del INTELSAT IV-A. Reutiliza la <u>f</u> recuencia mediante polarización cruzada y <u>a</u> demás cuenta con transpondedores en la <u>b</u> anda de 11/14 GHz.
Vida esperada	7 años.
Estabilización	Triaxial.

Acceso	Múltiple con reuso de frecuencia por discriminación espacial y mediante polarización cruzada.
Vehículo lanzador	Cohete Atlas Centauro.
Contratista	Ford Aerospace and Communications Corporation (FACC) de los EEUU.
Antenas	Cuenta con antenas de cobertura terrestre en la banda de 6/4 GHz. 6 antenas de telemetría, telemando y medición de distancia. 2 antenas de baliza de 11 GHz. 2 antenas de haz pincel en la banda de 14/11 GHz.
Potencia	Cuenta con paneles de forma de ala de conglomerados solares que producen un total de 1.241 vatios de energía eléctrica al cabo de 7 años en órbita.

2.3 SISTEMAS REGIONALES

Los sistemas regionales de comunicaciones por satélite son los siguientes:

MOLNIYA-STATSIONAR	Unión Soviética.
ECS	Sistema Europeo de Comunicaciones.
ARABSAT	Sistema Árabe de Comunicaciones.

2.4 SISTEMAS DOMESTICOS CON SATELITE PROPIO EN OPERACION

Un sistema doméstico es una red satelital que cubre todo el terri-

torio nacional. Los sistemas domésticos con satélite propio en operación son los siguientes:

ANIK	Canadá.
WESTAR	(Western Union) EEUU.
SATCOM	(RCA) EEUU.
COMSTAR	(COMSAT, ATT, GTE) EEUU.
PALAPA	Indonesia.
SBS	(Satellite Business System-IBM-COMSAT) EEUU.

2.5 SISTEMAS DOMESTICOS CON SATELITE ALQUILADO A INTELSAT EN OPERACION

Son sistemas domésticos que alquilan a INTELSAT un transpondedor (transmisor-receptor del satélite) o una sección de este, sujeto a interrupción, para satisfacer las necesidades nacionales de servicios públicos de telecomunicaciones. Los países que tienen este tipo de servicio satelital son:

ARGELIA	NORUEGA
PERU	COLOMBIA
ESPAÑA	ARABIA SAUDITA
BRASIL	INDIA
CHILE	OMAN
FRANCIA	SUDAN
MALASIA	ZAIRE
NIGERIA	

2.6 SISTEMAS DOMESTICOS CON SATELITE PROPIO PLANEADOS

Hay países que han efectuado ya los estudios sobre la factibilidad de adquirir y operar un sistema doméstico de comunicaciones por satélite y que están cumpliendo los aspectos reglamentarios con la UIT e INTELSAT y realizando las licitaciones y contratos respectivos; tales sistemas domésticos con satélite propio planeados son:

<u>SISTEMA</u>	<u>PAIS</u>
INSAT	INDIA
SATCOL	COLOMBIA
SBTS	BRASIL
SATMEX	MEXICO

CAPITULO III

EL ESPECTRO DE FRECUENCIAS DE RADIOCOMUNICACIONES

3.1 FRECUENCIA DE RADIOCOMUNICACIONES

Las radiocomunicaciones se utilizan para dirigir y controlar al satélite y transmitir o retransmitir información. Las limitaciones del espectro de frecuencias de radiocomunicaciones son el mayor problema que afecta el uso eficaz de la órbita geostacionaria.

La UIT define el espectro de frecuencias de radiocomunicaciones como la sección del espectro electromagnético cuyas frecuencias son inferiores a 3.000 GHz. La Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones de la UIT asigna esas frecuencias a diversos servicios, entre ellos los de satélites, a los que ha asignado muchas bandas de frecuencia de hasta 175 GHz. La mayoría de los satélites utilizan las frecuencias inferiores a 10 GHz; unos pocos en funcionamiento pleno o en etapa experimental usan frecuencias de hasta 14.5 GHz y otros hasta 31 GHz.

A medida que las frecuencias inferiores se congestionen y la tecnología de las frecuencias más altas evolucione, más satélites emplearán las frecuencias más elevadas. En las frecuencias sobre 10 GHz la atenuación de la señal por la lluvia y en frecuencias más altas los gases de la atmósfera, son la principal limitación de su uso. La información que se transmite por radiocomunicación ocu

pa una cierta gama de frecuencias o ancho de banda del espectro - de frecuencias de radiocomunicaciones que depende de la cantidad de información que se transmite y de la forma en que se modulen - las ondas radioeléctricas para portar la información.

En un satélite de comunicaciones típico, hay un canal telefónico o de voz que ocupa aproximadamente 40 KHz. Los canales de voz se agrupan y se retransmiten mediante retransmisores. Un retransmisor típico con un ancho de banda de 40 MHz puede portar unos mil canales de voz o un canal de TV. La banda de frecuencia más usada para la transmisión de un satélite a una estación en tierra es la de 3,4 GHz a 3,9 GHz. Un satélite puede llevar 12 retransmisores de 40 MHz de ancho de banda cada uno dentro de esta banda lo que le dá una capacidad total de 12.000 canales de voz o 12 canales - de TV.

3.2 LIMITACIONES DE LA FRECUENCIA DE RADIOCOMUNICACIONES

Hay limitaciones naturales y artificiales al uso del espectro de frecuencias de radiocomunicaciones. Las primeras incluyen la atenuación debida a los gases constituyentes de la atmósfera y la atenuación más localizada por la lluvia. Las artificiales se deben a la interferencia entre sistemas de comunicación por satélite y otros usos del espectro y a la interferencia entre sistemas de sa télites.

3.2.1 ATENUACION ATMOSFERICA

La atenuación de la radiación electromagnética por los gases especialmente el vapor de agua, aumenta con la frecuencia. Además, se superponen estrechas bandas de atenuación muy alta, por ejemplo, en torno a 22 GHz y 183 GHz por el vapor de agua y en torno a 60 GHz y 118 GHz por el oxígeno. Sobre los 500 GHz la atenuación se hace prohibitivamente elevada, luego se reduce a valores que permitirían su uso sobre los 10.000 GHz.

La atenuación por la lluvia y las nubes varía mucho con el espacio y el tiempo. En general, es insignificante a frecuencias bajo los 10 GHz y aumenta al aumentar la frecuencia sobre los 10 GHz. La atenuación por los gases de la atmósfera y la lluvia aumenta a medida que disminuye el ángulo de elevación del satélite, o ángulo desde un emplazamiento. El cuadro siguiente es un ejemplo de la atenuación por lluvia en función de la frecuencia y del ángulo de elevación.

FACTOR DE ATENUACION PARA UNA PRECIPITACION PLUVIAL DE 50 mm/hora		
FRECUENCIA	ANGULO DE ELEVACION	
	30°	10°
11 GHz	3 (4.7 dB)	6 (7.8 dB)
30 GHz	1.200 (31 dB)	160.000 (52 dB)

En zonas húmedas, las estaciones terrenas lejanas al punto directamente bajo el satélite, (ángulo de elevación bajo) son más susceptibles a la interrupción del servicio por llu-

via que las que forman con el satélite ángulos altos de elevación. Para evitar la interrupción se usan antenas más grandes, de mayor potencia y más sensibilidad, o 2 o más estaciones terrestres a cierta distancia entre sí (diversidad de espacio), pues la probabilidad de lluvia simultánea en 2 estaciones es menor que en una sola.

3.2.2 INTERFERENCIA

La interferencia es una degradación del rendimiento de un sistema de comunicaciones debido a señales ajenas al sistema, puede provenir de señales destinadas a una zona de servicio diferente o a una frecuencia diferente. como todos los sistemas de comunicación irradian algo de energía fuera de la zona de servicio y de la banda de frecuencias escogida, la interferencia no se puede eliminar por completo, pero se puede reducir a un mínimo y considerarlo en el diseño del sistema. Por consiguiente, la zona geográfica abarcada y la gama de frecuencias ocupada por un satélite de comunicaciones incluye la superficie de servicio mínima y el ancho de banda mínimo necesarios para que el satélite transmita sus señales a la estación terrestre, y una zona geográfica y un ancho de banda de frecuencias adyacentes en los cuales la energía transmitida se reduce a un nivel que no interfiera con otros sistemas. La capacidad de la órbita geostacionaria se puede aumentar reduciendo el ancho de banda

necesario para transmitir una cantidad de información dada y reduciendo la superficie y el ancho de banda adyacentes - necesarios para evitar la interferencia.

Uno de los mecanismos para evitar la interferencia entre - los sistemas de comunicaciones es la UIT y sus órganos subsidiarios, el CCIR, la IFRB, y la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones, cuyas funciones son: elaborar normas y asignar bandas de frecuencias para los dis - tintos servicios de comunicaciones. Las frecuencias asignadas al servicio fijo de satélite más comunes son:

BANDA	ANCHO DE BANDA	DIRECCION	FRECUENCIA
6/4 GHz	500 MHz	Descendente <u>a/</u>	3,7-4,2 GHz
		Ascendente <u>b/</u>	5,925-6,425 GHz
14/11 GHz	500 MHz	Descendente <u>a/</u>	10,95-11,2 GHz
			11,45-11,7 GHz
		Ascendente <u>b/</u>	14-14,5 GHz

a/ Descendente indica transmisiones desde el satélite hacia la estación terrestre

b/ Ascendente indica transmisiones desde la estación terrestre hacia el satélite.

La transmisión ascendente y descendente se efectúa en frecuencias distintas, así la gran cantidad de energía transmitida no interfiere con la pequeña cantidad de energía recibida. Además, continúa asignada un ancho de banda de 3.500 MHz en la banda de 30/20 GHz (17,7 a 21,2 GHz en dirección descendente y 27,5 a 31 GHz en dirección ascendente); esta banda solo se ha usado experimentalmente por los problemas tecnológicos que entrañan esas frecuencias tan altas. Se han hecho asignaciones en varias frecuencias hasta 241 GHz, pero al momento no hay planes para usar esas frecuencias por los problemas tecnológicos y la atenuación atmosférica como ya se explicó.

Las frecuencias mencionadas no se asignan exclusivamente al servicio por satélite, sino que se comparten con otros servicios, en particular con la comunicación terrestre fija y móvil. Esto plantea especiales problemas en la banda de 6/4 GHz, muy usada en las transmisiones terrestres de microondas. Como una estación terrestre transmite señales de muy alta potencia al satélite y recibe de estas señales muy débiles, es posible que la radiación desviada de una estación terrestre interfiera con los receptores de microondas cercanos o que los haces de microondas de origen terrestre interfieran con la recepción en la estación terrestre. Por eso, se escoge cuidadosamente el sitio de la estación terrestre, posiblemente a cierta distancia de las grandes ciudades. La interferencia es un problema menor a altas frecuencias, como 14/11

GHz, pues hay mucho menos tráfico terrestre en esas frecuencias, y es más fácil ubicar las antenas de los usuarios en las ciudades.

Además, los satélites de comunicaciones deben evitar interferir con otros satélites. La mayoría de los satélites de comunicaciones actuales son geostacionarios, pero hay satélites de comunicaciones fuera de esta órbita, como el sistema MOLNIYA, que comparten la misma asignación de frecuencias.

3.3 MAXIMIZACION DE LA CAPACIDAD DE LA ORBITA

Hay varias formas de maximizar la capacidad de la órbita geostacionaria y al mismo tiempo evitar la interferencia:

- Utilizando varias bandas de frecuencia.
- Utilizando polarización.
- Utilizando la separación geográfica.
- Utilizando antenas de haz delgado.

3.3.1 UTILIZANDO VARIAS BANDAS DE FRECUENCIA

Como ya se anotó, la UIT ha asignado varias bandas de frecuencia al servicio de comunicaciones por satélite como la de 6/4 GHz, 14/12 GHz y 30/20 GHz, así se separa los satélites en frecuencia y se evita la interferencia.(Figura 3.1).

3.3.2 UTILIZANDO POLARIZACION

Las ondas electromagnéticas se pueden polarizar de 2 maneras:

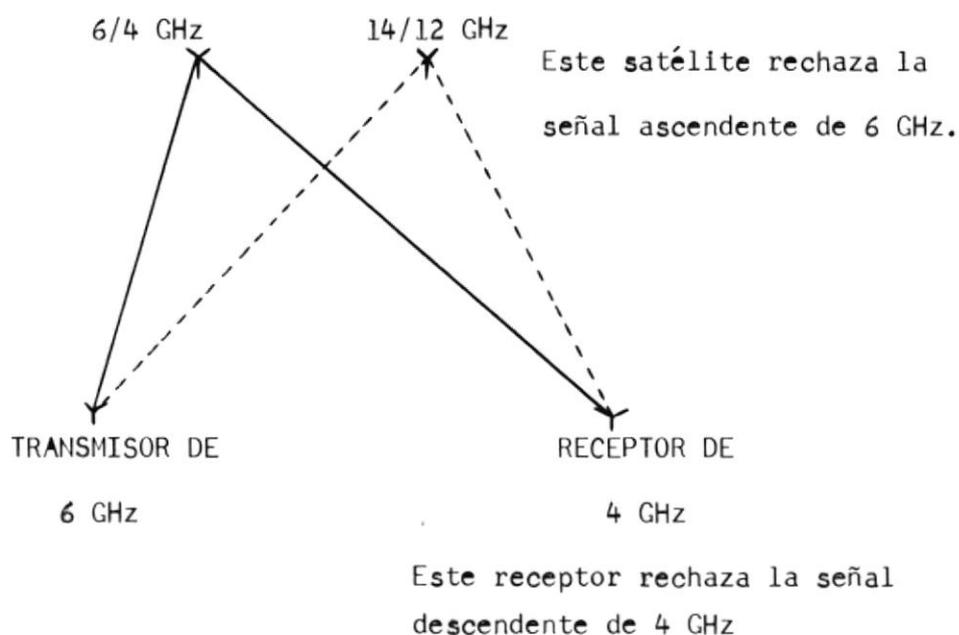


FIG. 3.1 MAXIMIZACION DE LA CAPACIDAD DE LA ORBITA UTILIZANDO VARIAS BANDAS DE FRECUENCIA

en forma lineal, de manera que los campos eléctricos y magnéticos se orienten en planos fijos, y en forma circular, de manera que esos campos rotan. En los dos casos se puede transmitir y recibir 2 señales independientemente en la misma frecuencia, aumentando la información que se puede transmitir en un determinado ancho de banda. (Figura 3.2).

3.3.3 UTILIZANDO LA SEPARACION GEOGRAFICA

Si se apuntan diversos haces a zonas geográficas bien separadas, se puede transmitir información independientemente en cada haz usando la misma frecuencia, aumentando la información que se puede transmitir en un determinado ancho de banda. (Figura 3.3).

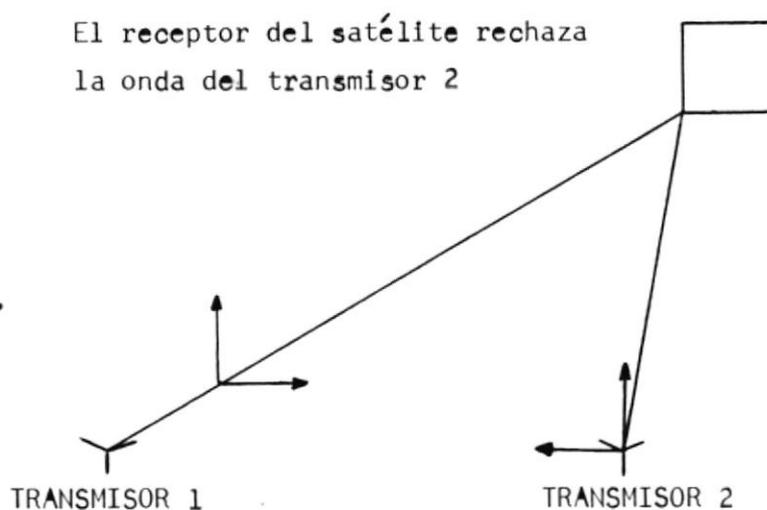


FIG. 3.2 MAXIMIZACION DE LA CAPACIDAD DE LA ORBITA UTILIZANDO POLARIZACION.

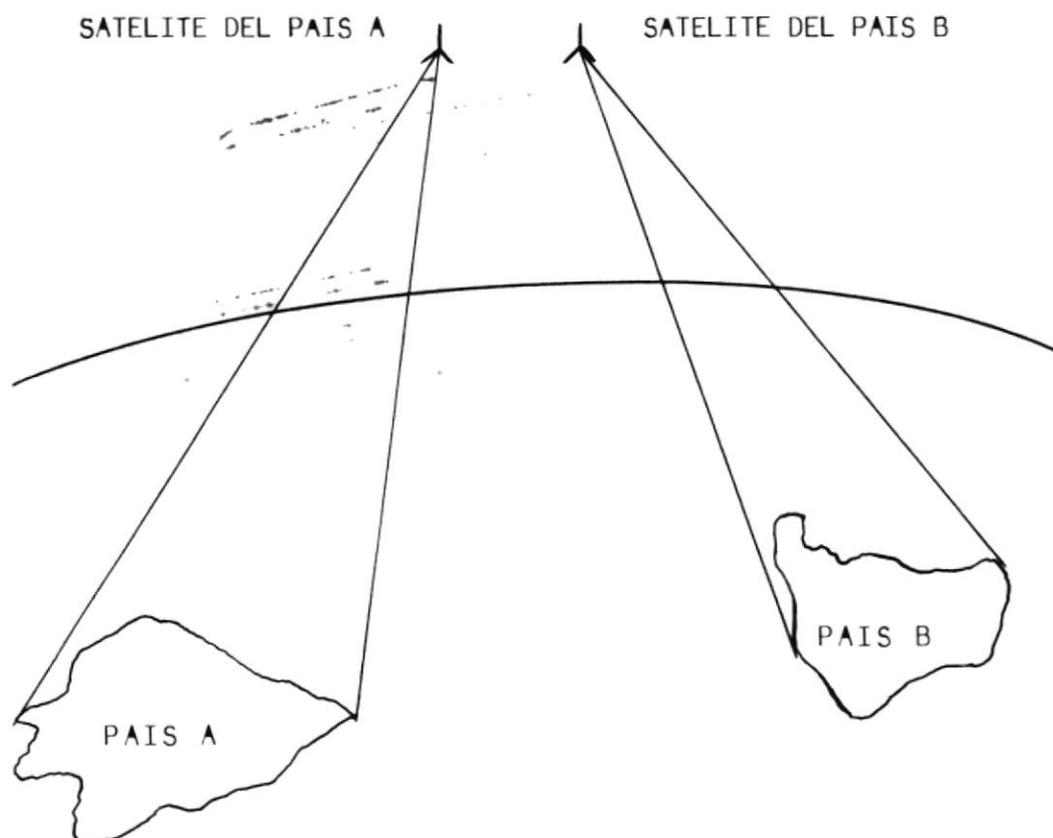


FIG. 3.3 MAXIMIZACION DE LA CAPACIDAD DE LA ORBITA UTILIZANDO LA SEPARACION GEOGRAFICA.

3.3.4 UTILIZANDO ANTENAS DE HAZ DELGADO

Las antenas que se emplean en las comunicaciones mediante satélite, para recepción y transmisión, en el satélite y en las estaciones terrenas, tienen una amplitud de haz o campo de visión que depende de la frecuencia de la radiación y de la disposición geométrica de la antena y se calcula según la fórmula:

$$\alpha = 1,2 \frac{\lambda}{D}$$

Donde: α = ángulo de divergencia del haz en radianes.

λ = longitud de onda de la radiación

D = Diámetro de la antena.

La amplitud del haz disminuye a medida que aumente el diámetro y disminuye la longitud de onda (aumenta la frecuencia). Consideremos algunos ejemplos de amplitud de haz calculados con esa fórmula:

<u>FRECUENCIA</u>	<u>λ</u>	<u>D</u>	<u>α</u>
6 GHz	5 cm	2 m	1,72°
		10 m	0,34°
		30 m	0,11°
14 GHz	2,1 cm	2 m	0,74°
		10 m	0,15°

La antena de un satélite puede tener un haz muy amplio que abarque toda la zona de visibilidad, o uno muy estrecho o "dirigido" que abarque una zona geográfica pequeña.

Las antenas de tierra están normalmente previstas para la -

comunicación con un solo satélite y, por eso, la amplitud del haz es pequeña, para evitar que la transmisión llegue a satélites cercanos.

Aunque una antena circular normalmente transmite un haz circular, se pueden producir haces perfilados, modificando la configuración de la antena o usando varias líneas de alimentación de la antena para generar estos haces dirigidos superpuestos que se combinan para poder abarcar la zona prevista.

Una antena perfecta radiaría energía solo al haz según esta descripción, pero las antenas transmiten importantes cantidades de energía en otras direcciones, especialmente a los lóbulos laterales adyacentes al haz principal. Por eso, la distribución angular de la energía que irradia una antena se divide entre el haz principal, en que la energía es suficiente para efectuar comunicaciones de buena calidad, la zona de los lóbulos laterales, en que la energía es insuficiente para las comunicaciones pero puede interferir con estas, y el resto del círculo, donde el nivel de energía es suficientemente bajo para que no haya interferencia. Así, en una determinada frecuencia, la distancia mínima entre satélites o entre estaciones terrestres en comunicación con diferentes satélites, no solo se determina por la amplitud del haz, sino también por los niveles de energía de los lóbulos laterales y la sensibilidad del sistema a la interferencia. La distancia entre

satélites se puede reducir disminuyendo los niveles de energía de los lóbulos laterales o reduciendo la sensibilidad del sistema a la interferencia. Actualmente, en la banda de 6/4 GHz la distancia entre satélites es de 3° a 5° para evitar la interferencia.

CAPITULO IV

CONCEPCION, ESTUDIO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE COMUNICACION POR SATELITE

4.1 REVISION DE LAS CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS DE SATELITES

Aquí se exponen las características y conclusiones más importantes de un sistema de satélites que se desprenden de los conceptos vertidos en los capítulos anteriores.

Los satélites son relevadores activos que reexpiden las señales recibidas después de amplificarlas y cambiar de frecuencias. Los satélites utilizados son de dos clases:

- Satélites no geoestacionarios; y
- Satélites geoestacionarios.

En general, los satélites de comunicaciones son geoestacionarios.

Estos satélites, están en una órbita ecuatorial a 36.000 Km de altura aproximadamente. Dicha posición tiene las siguientes ventajas:

- La zona de cobertura es extensa por la situación elevada del satélite. Se puede cubrir casi el mundo entero usando solo 3 de estos satélites, pudiendo cubrir igualmente amplias zonas rurales.
- Con las nuevas técnicas se ha podido conseguir capacidades muy grandes y de gran alcance.
- Las posibilidades de uso son muy flexibles, se puede adaptar a la evolución o a una nueva configuración del sistema.
- Las características de propagación permiten atenuar las perturbaciones producidas por la atmósfera y por los obstáculos, con lo

cual se obtiene un servicio muy estable.

Esas propiedades implican también cierto número de defectos:

- Con un solo satélite para atender a un gran número de abonados, la configuración nodal hace que la fiabilidad y la continuidad del servicio se conviertan en un problema crucial.
- Debido a su gran visibilidad el satélite es sensible a las interferencias, razón por la cual hay que dar mucha atención a los problemas de coordinación.
- Como la órbita geostacionaria reúne unas características sumamente exclusivas, las ubicaciones disponibles son limitadas.
- Al aumentar la capacidad hay que usar frecuencias muy altas, cuya tecnología es más reciente y más sensible a las atenuaciones atmosféricas.

No obstante, el incremento de la demanda de servicios por satélite y el número cada vez mayor de estos últimos ponen de manifiesto que las ventajas son mucho más grandes que los inconvenientes.

4.2 UTILIZACION DE LOS SATELITES PARA LAS NECESIDADES DE TELECOMUNICACIONES.

Con estos satélites se pueden obtener los siguientes servicios:

- Telecomunicaciones de punto a punto con las cuales se pueden establecer entre estaciones enlaces telefónicos, telegráficos y transmisiones de datos.
- Transmisión de televisión.
- Televisión educativa.

- Control del tráfico aéreo.
- Etc....

Con vistas a lo anterior se usan varias técnicas. Con respecto al acceso al satélite, entre las técnicas más importantes se pueden citar las siguientes:

- AMRT Acceso múltiple con distribución en el tiempo.
- AMRF Acceso múltiple con distribución en frecuencia.

Con respecto a los sistemas de modulación:

- FDM/FM Multiplexaje de los canales telefónicos en frecuencia.
- SPADE Transmisión de canales analógicos preasignados a la demanda.
- SCPC/MIC Transmisión digital de canales preasignados.
- SCPC/FM Transmisión en modulación de frecuencia de canales preasignados.

Las redes domésticas pueden optimizar sus necesidades de circuitos con un sistema DAMA (acceso múltiple con asignación por demanda). Los enlaces se establecerán mediante un satélite y estaciones terrenas; el satélite actúa como un relé hertziano, recibiendo las emisiones terrestres (enlace ascendente) y retransmitiéndolo hacia la tierra (enlace descendente) después del cambio de frecuencia y amplificación.

Las estaciones deben asegurar el transporte de las informaciones hacia el satélite con un nivel de potencia suficiente y recibir toda o parte de la información transmitida por el satélite.

Las estaciones terrenas comprenden 4 partes principales:

- La antena emisora/receptora, cuyas dimensiones pueden oscilar -

- entre 32 m y varios metros de diámetro. Las grandes antenas están equipadas con un dispositivo de autoseguimiento para estar constantemente orientadas hacia el satélite; las antenas medianas disponen de un sistema de seguimiento simplificado (control programado o paso a paso); y, las antenas pequeñas no necesitan dispositivo de seguimiento y por consiguiente son fijas.
- El receptor que determina la sensibilidad de la estación de acuerdo con las necesidades.
 - El transmisor cuya potencia puede oscilar entre varios kilovatios y varios vatios, según la naturaleza de las señales que hay que transmitir (TV o unos cuantos circuitos telefónicos).
 - Los equipos de telecomunicaciones que sirven para modular y demodular las diferentes señales transmitidas y cuya importancia y número depende de la capacidad de la estación (número de canales).

Las estaciones terrenas pueden estar conectadas e integradas con la red terrestre de telecomunicaciones o instaladas directamente en casa del usuario (recepción directa de TV, por ejemplo).

A continuación se detallan los múltiples servicios que brindan las misiones nacionales típicas de satélites:

- Telefonía: Telefonía Interurbana.
Telefonía rural.
Télex.
- Servicios de teledifusión: Distribución de TV y radio.
Televisión educativa.
Reportajes.

- Nuevos servicios.

TELEFONIA

- Telefonía interurbana.
 - Enlaces por satélite entre los centros regionales y la capital.
 - Como complemento de los enlaces de microondas o como aplicación.
 - Estaciones terrenas con antenas de 6 a 10 m de diámetro.
- Telefonía rural.
 - Circuitos entre abonados o localidades aisladas y los centros regionales u otros pueblos.
 - Posibilidad de cobertura total del territorio nacional.
 - Estaciones terrenas con antenas de 3 a 4,8 m de diámetro.
- Télex.
 - Un canal telefónico equivalente a 24 canales de télex.

APLICACIONES TELEFONICAS PARTICULARES

- Comunicaciones con las localizaciones industriales de acceso difícil y con las plataformas petroleras.
- Comunicaciones administrativas y comerciales entre centros regionales.
- Reserva a distancia entre centros nacionales para las compañías aéreas.
- Transmisión de informaciones meteorológicas.
- Regulación del tráfico de datos.

NUEVOS SERVICIOS (Que utilizan estaciones pequeñas)

- Videoconferencia.
 - Permite a 2 grupos de usuarios, cada uno de los cuales equipado con un receptor y un equipo de telecopia, hablar entre sí,

verse e intercambiar documentos.

- Teleimpresión.

- Permite imprimir localmente periódicos preparados a escala nacional, lo cual evita los gastos y retrasos de transporte.

- Telemedicina.

- Las informaciones e imágenes relativas a un enfermo son transmitidas a un hospital central para que aconseje sobre el tratamiento que hay que recetar.

- Servicios de seguridad.

- Con estas estaciones con antenas de pequeño diámetro transportables, las zonas siniestradas pueden comunicarse con un centro nacional o regional.

- Las estaciones pequeñas especializadas, ubicadas cerca del usuario, pondrán a su servicio un sistema de transmisión completamente independiente del sistema nacional, excepto en lo tocante al satélite.

4.3 METODOLOGIA

La metodología a seguirse en el diseño e instalación de un sistema de comunicaciones por satélite se puede dividir en 2 fases: la fase de diseño y la fase de instalación.

La fase de diseño consiste en los estudios cuantitativo y cualitativo de las necesidades; los estudios de diseño que incluyen los aspectos técnicos, reglamentarios y económicos; y la optimización y elección del sistema determinada por factores externos e internos.

La fase de instalación comprende el procedimiento de adquisición, el seguimiento o control en planta, el lanzamiento y colocación - en puesto, las pruebas del sistema, la puesta en servicio operativo y la capacitación del personal.

4.4 DISEÑO DEL SISTEMA

En esta fase se incluyen los siguientes aspectos:

- Estudio de las necesidades.
- Estudios de diseño.
- Optimización y elección del sistema.

4.4.1 ESTUDIO DE LAS NECESIDADES

Cuando un país decide dotarse de un sistema de telecomunicaciones por satélite, uno de los primeros pasos es efectuar los estudios de las necesidades para definir la misión.

4.4.1.1 ESTUDIO CUANTITATIVO DE LAS NECESIDADES

Tiene por objeto reunir el máximo de datos e informaciones sobre el tráfico, los medios existentes y los proyectos, para hacer una evaluación de las necesidades y planificar la distribución del tráfico entre los diferentes medios de telecomunicaciones. Una vez efectuado ese trabajo, se establecerán las matrices de tráfico de los diferentes servicios de telecomunicaciones, determinando asimismo las necesidades de servicios de radiodifusión sonora y vi -

sual.

4.4.1.2 ESTUDIO CUALITATIVO DE LAS NECESIDADES

En este trabajo se determinan los criterios de calidad y disponibilidad de los diferentes servicios.

4.4.2 ESTUDIOS DE DISEÑO

En esta etapa se redactan las especificaciones de la misión y se analizan varias configuraciones posibles. En estos estudios hay que distinguir los siguientes aspectos: técnicos, reglamentarios y económicos.

4.4.2.1 ASPECTOS TECNICOS

Para empezar se hace el estudio de los parámetros básicos del sistema: bandas de frecuencia, posiciones orbitales, zonas de cobertura, técnicas de acceso y modulación. Después, se establecen los balances de enlace que determinan las características técnicas del segmento espacial y terrestre respectivamente.

Los parámetros esenciales del segmento espacial son: el número de transpondedores, diseño de las antenas, balances de masa y potencia del satélite, la vida útil y las configuraciones de redundancia, el diseño del conjunto de los medios de telemetría, telecontrol, localización y el análisis preliminar de compatibilidad con los lanzadores.

Los parámetros esenciales del segmento terrestre son: potencia de transmisión y ganancia de las antenas, la conexión con la red existente y la consideración de las limitaciones locales.

4.4.2.2 ASPECTOS REGLAMENTARIOS

Estos aspectos se deben considerar desde el principio de los estudios de diseño por las limitaciones que imponen a nivel de las características de transmisión. Una vez determinados los parámetros esenciales, es conveniente empezar el proceso de notificación anticipada cuyo resultado será una primera serie de limitaciones que habrá que respetar.

4.4.2.3 ASPECTOS ECONOMICOS

Simultáneamente se llevarán a cabo estudios económicos para mejorar el modelo económico del sistema e irse orientando hacia la solución más interesante. Esto permitirá ir planificando sin demora las modalidades de financiación, especialmente la parte que será financiada con empréstitos exteriores.

4.4.3 OPTIMIZACION Y ELECCION DEL SISTEMA

Terminados los estudios de diseño, el país o la administración interesada podrán elegir la mejor solución entre las diferentes configuraciones posibles. Elección en que intervienen factores internos y externos.

4.4.3.1 FACTORES EXTERNOS

Son limitaciones externas entre las cuales cabe distinguir:

- Las exigencias prioritarias de la misión.
- Las disposiciones reglamentarias y los acuerdos particulares.
- Determinadas características técnicas.
- El contexto financiero.

4.4.3.2 FACTORES INTERNOS

Son parámetros que influyen en el costo del proyecto y se derivan de la elección hecha por el usuario; entre esos factores se pueden citar:

- La vida útil.
- La fiabilidad y disponibilidad del servicio.
- Los objetivos de calidad.

Los cuales influyen en los costos conforme aumenta la masa y potencia de los satélites, así como el número y complejidad de los equipos de las estaciones terrenas. Adviértase asimismo que los ingresos producidos por un sistema satelital aparecen sobre todo al final de su vida útil.

4.5 INSTALACION DE UN SISTEMA.

Esta fase comprende el procedimiento de adquisición, el seguimiento o control en planta, el lanzamiento y colocación en puesto, las

pruebas del sistema, la puesta en servicio operativo y la capacitación del personal.

4.5.1 PROCEDIMIENTO DE ADQUISICION

Una vez elegida la configuración, se puede empezar la redacción de las especificaciones técnicas de los diferentes componentes del sistema. Esas especificaciones junto con las cláusulas administrativas y financieras permitirán llevar a cabo el respectivo concurso de precios o licitación.

Las ofertas industriales serán evaluadas de acuerdo con el principio del análisis multicriterios: criterios técnicos, financieros y administrativos.

4.5.2 SEGUIMIENTO O CONTROL EN PLANTA

Por la importancia del proyecto, inmediatamente después del contrato se organizarán reuniones con el (o los) fabricante(s) para preparar: los primeros programas de realización, el desarrollo complementario de los equipos necesarios para el proyecto, las modalidades y proyectos de recepción en planta de todos los equipos. Durante la fabricación será conveniente crear un equipo encargado del seguimiento de la fabricación en planta de los equipos y proceder a la evaluación de los procedimientos de mediciones.

4.5.3 LANZAMIENTO Y COLOCACION EN PUESTO

Para conseguir el posicionamiento de un satélite de telecomunicaciones en un punto determinado de la órbita geostacionaria es necesario pasar previamente por las operaciones de lanzamiento y de colocación en puesto del satélite.

4.5.3.1 LANZAMIENTO

Esta operación corre por cuenta de la agencia de lanzamiento, cuyo vehículo será elegido en función de sus características técnicas (capacidad de despegue, fiabilidad, etc) y económicas (costo y seguros).

4.5.3.2 COLOCACION EN PUESTO

La responsabilidad de la colocación en puesto del satélite incumbe al usuario o al fabricante.

En general, el satélite es colocado en una órbita de transferencia por el vehículo lanzador (elipse no ecuatorial cuyo apogeo se halla a la altura de la órbita geostacionaria). Habrá que efectuar por lo tanto las siguientes operaciones:

- Una maniobra de apogeo (efectuada con el motor de apogeo) para circularizar la órbita y convertirla en ecuatorial (órbita de deriva).
- Correcciones de la altitud del satélite hasta que sus antenas tengan una orientación correcta.
- Correcciones de la órbita de deriva para que el satélite se vuelva geosincrónico.
- Un deslizamiento del satélite sobre su propia órbita para colocarlo en la ventana designada.

Durante tales operaciones se debe supervisar los equipos del satélite (temperatura, potencia disponible, etc).

Durante la fase de colocación en puesto se necesitan varias estaciones de control repartidas correctamente por el globo terrestre. Estas estaciones están encargadas de la transmisión y recepción de las señales de telemando, telemida y localización. Una vez que el satélite está en posición, la supervisión y el control de los elementos se efectúan desde una estación terrestre afectada con tal fin.

4.5.4 PRUEBAS DEL SISTEMA

Cuando el satélite alcanza la posición que le ha sido designada hay que llevar a cabo las pruebas oportunas para cerciorarse de la conformidad de las características técnicas con las especificaciones establecidas. Se trata de una etapa primordial desde el punto de vista técnico (los resultados obtenidos determinarán la utilización futura del satélite) y desde el punto de vista del contrato (con el fabricante).

Las medidas anteriores afectan también a todos los subsistemas, tanto de la plataforma como de la carga útil y de los servicios.

Con respecto a la carga útil, habrá que comprobar especialmente las características de transmisión como: PIRE, sensibilidad del receptor, distorsiones lineales y no lineales, es-

tabilidad de los parámetros de transmisión.

4.5.5 PUESTA EN SERVICIO OPERATIVO

Antes de proceder a la puesta en servicio operativo, hay que cerciorarse de que el sistema es compatible con las limitaciones impuestas por los reglamentos internacionales. Tales limitaciones intervienen sobre todo en las condiciones de admisión de las estaciones terrenas de transmisión (limitación de la PIRE en la dirección principal y fuera del eje). Después de hacer las comprobaciones anteriores, se puede efectuar la puesta en servicio operativo en función de la evolución de las necesidades.

4.5.6 CAPACITACION DEL PERSONAL

El personal encargado de la explotación y mantenimiento futuros del sistema deberá recibir una formación directamente relacionada con las técnicas utilizadas en el sistema elegido. La capacitación se hará en los servicios del proveedor y/o en organismos especializados en esta clase de servicios.

CAPITULO V

ASPECTOS REGLAMENTARIOS DE UN PROYECTO DE COMUNICACIONES POR SATELITE

5.1 PROCEDIMIENTOS ESTABLECIDOS POR LA JUNTA INTERNACIONAL DE REGIS - TRO DE FRECUENCIAS (IFRB) DE LA UIT.

Con el propósito de que un sistema de comunicaciones por satélite sea reconocido internacionalmente, debe cumplir con los siguientes procedimientos:

5.1.1 PUBLICACION ANTICIPADA.

Durante esta etapa, la Administración o Administraciones responsables del proyecto, envían a la Junta Internacional de Registro de Frecuencias (IFRB) de la UIT, los datos fundamentales del proyecto con una antelación no superior a 5 años de la fecha de puesta en servicio del sistema (ni inferior a 2 años).

Dichos datos son los solicitados en el apéndice 4 (*) del Reglamento de Radiocomunicaciones.

La IFRB, después de recibir dicha información la publica a todos los países miembros, quienes en un período de 120 -

(*): Los aspectos más importantes de los artículos del Reglamento de Radiocomunicaciones mencionados en este capítulo, se detallan en el apéndice C.

días enviarán sus comentarios a la Administración responsable del proyecto, en el sentido de que estiman que podrían existir interferencias que puedan resultar inaceptables para sus servicios de radiocomunicación espacial existentes o previstos, con copia de dichos comentarios a la IFRB. Los comentarios son efectuados por las Administraciones - cuando al aplicar el apéndice 29 del Reglamento de Radiocomunicaciones, dichas entidades detectan un incremento porcentual de temperatura de ruido en su sistema, mayor del - 4 %.

5.1.2 COORDINACION.

Si después de dicho plazo prudencial, no se presentan comentarios de difícil solución, la Administración responsable, procederá a solicitar coordinación (acuerdo de coexistencia de los dos sistemas sin problemas de interferencia mutua), según lo prevee el número 1060 del Reglamento, con todas - las Administraciones a cuyos sistemas de comunicación por - satélite, el proyecto publicado introduzca un incremento - porcentual de temperatura de ruido, mayor al umbral vigente permitido. Este acuerdo de coordinación solo es posible - cuando las Administraciones involucradas han evaluado mediante cálculos detallados, portadora por portadora, la gravedad de la interferencia que detectó inicialmente mediante los procedimientos del apéndice 29 del Reglamento de Radio-

comunicaciones ya mencionado.

En caso de presentarse comentarios de difícil solución, la Administración responsable podrá esperar hasta 5 meses después de la fecha de la publicación anticipada del proyecto antes de hacer la solicitud de coordinación a que se refiere el número 1061 del Reglamento de Radio. De subsistir dicha dificultad la Administración podrá solicitar la asistencia de la IFRB en la solución de controversias.

Es importante anotar que los derechos de protección de los sistemas por satélite de una Administración, comienzan únicamente después de la publicación a que se refiere el número 1060 (solicitud de coordinación), si es necesaria, o después de la notificación del sistema ante la IFRB.

Durante el proceso de coordinación, la Administración responsable, debe enviar una información más detallada del proyecto, en un formato adecuado denominado apéndice 4 del reglamento de radio.

5.1.3 NOTIFICACION Y REGISTRO.

Solo una vez logrado el acuerdo de coordinación que la Administración responsable solicite a otras administraciones, la Administración responsable podrá notificar su sistema a la Junta para que ella a su vez registre las frecuencias asociadas a las posiciones orbitales.

Debe tenerse en cuenta que lo anterior se aplica al segmen-

to espacial o satélite y que lo referente a las estaciones terrenas está contemplado en el número 1107 que establece las pautas de coordinación con las redes terrenales de microondas, u otras redes, que pueden quedar dentro del contorno de coordinación que con ese método se obtiene. Una vez logrados estos acuerdos se podrá proceder a la notificación y registro ante la IFRB en igual forma en que se hizo para las estaciones espaciales.

5.1.4 PLAZO DE PUESTA EN SERVICIO.

Las disposiciones del Reglamento de Radiocomunicaciones en vigor permiten la prolongación del plazo de puesta en servicio de una asignación a una estación de radiocomunicaciones espaciales, por un período máximo de 18 meses, a partir de la fecha de operación notificada a la IFRB.

5.2 PROCEDIMIENTOS A SEGUIRSE CON INTELSAT.

El artículo XVI (C) del Acuerdo Relativo a la Organización Internacional de Telecomunicaciones por Satélite establece lo siguiente:

"En la medida en que cualquier Parte, Signatario o Persona bajo la jurisdicción de una Parte, tenga la intención de establecer, adquirir o utilizar instalaciones de segmento espacial separadas de las del segmento espacial de INTELSAT para satisfacer sus necesidades en materia de servicios públicos de telecomunicaciones

nacionales, dicha Parte o dicho Signatario, antes de establecer, adquirir o utilizar tales instalaciones, deberá consultar con la Junta de Gobernadores la cual expresará en forma de recomendaciones sus conclusiones respecto de la compatibilidad técnica de tales instalaciones y de su operación con el uso de INTELSAT del - espectro de frecuencias radioelétricas del segmento orbital para un segmento espacial existente o proyectado".

Por ser el Ecuador uno de los países miembros de INTELSAT se deberán establecer consultas con dicha organización con el propósito de alcanzar la compatibilidad mencionada.

CAPITULO VI

ETAPAS A SEGUIRSE EN EL DESARROLLO DE LAS TELECOMUNICACIONES ESPACIALES EN EL ECUADOR

6.1 COMUNICACIONES INTERNACIONALES - PRIMERA ETAPA

Esta etapa está caracterizada por la propiedad por parte del país del segmento terrestre o estaciones terrenas. Su relación con el segmento espacial o satélite es indirecta desde el punto de vista administrativo de este recurso y se limita a su utilización mediante el cumplimiento de estrictas especificaciones técnicas en su segmento terrestre. Dichas especificaciones las impone y vigila su cumplimiento la organización INTELSAT, propietaria del segmento espacial y de la cual Ecuador forma parte. Ecuador inauguró su primera estación terrena en Agosto de 1972.

La estación terrena del Instituto Ecuatoriano de Telecomunicaciones (IETEL) constituye el elemento principal de las Comunicaciones Internacionales del Ecuador. Forma parte de la Región del Atlántico de INTELSAT. Se denomina "Quito" (QU) y está ubicada en el Valle de Los Chillos aledaño a la capital ecuatoriana. Su posición geográfica es: Latitud $0^{\circ}16'11''S$, y Longitud $78^{\circ}28'11''O$, y está a 2.562 m sobre el nivel del mar.

INTELSAT ha recomendado ya al Ecuador que instale una segunda antena para proveer a INTELSAT de una mayor flexibilidad para el enrutamiento de tráfico y la descongestión de satélites. Ecuador a-

nunció a INTELSAT que su segunda antena será activada a mediados de 1985. Su ubicación aún no ha sido establecida.

6.2 COMUNICACIONES NACIONALES UTILIZANDO SEGMENTO ESPACIAL ALQUILADO - SEGUNDA ETAPA

El Ecuador aún no ingresa en esta etapa; al hacerlo deberá solicitar a la Junta de Gobernadores de INTELSAT la asignación de un transpondedor o una sección de este en haz global (cobertura mundial), por un periodo mínimo de 5 años, sujeta a interrupción, para satisfacer las necesidades nacionales de servicios públicos de Telecomunicaciones.

Además, IETEL deberá crear estaciones terrenas en los sitios que se desee cubrir con este sistema (ciudades principales, región insular, áreas fronterizas e hidrocarburíferas). Considerando que INTELSAT ha programado la introducción de la técnica TDMA/DSI a partir de 1983 lo más conveniente es que las estaciones terrenas que IETEL cree sean digitales y utilicen esa técnica.

El alquiler del segmento espacial de INTELSAT proporcionará un medio de transmisión que sustituirá la transmisión HF (alta frecuencia) caracterizada por su baja capacidad de tráfico, con una calidad sujeta a variables no controladas por el hombre (condiciones atmosféricas, radiación solar, manchas solares, etc) que afectan la capa reflectora natural situada a aproximadamente 200 Km sobre la cual rebotan las ondas HF mencionadas para enlazar 2 puntos de interés. Los parámetros y variables técnicas del satélite (reflector artificial) son absolutamente controlables por el hombre y per

miten una calidad en las comunicaciones domésticas igual a la de las comunicaciones internacionales.

Cuando INTELSAT apruebe dicho alquiler, Ecuador entrará en la segunda etapa de su desarrollo de las comunicaciones espaciales, teniendo a su disposición a tiempo completo una parte del satélite con un grado de libertad mayor en cuanto a su administración se refiere; por ejemplo, IETEL puede recurrir a sus propios cálculos de enlace y tomar decisiones operativas para obtener el mayor tráfico posible de esta fracción del segmento espacial con la res - tricción de no interferir a los usuarios que comparten el satéli - te. Esta es una etapa intermedia, de preparación, en el ascenso - hacia la red propia de telecomunicaciones por satélite, situación esta en que IETEL es propietaria y responsable de administrar su segmento espacial y terrestre para dar comunicaciones de gran ca - lidad en igualdad de condiciones a todo el territorio nacional.

6.3 COMUNICACIONES POR SATELITE PROPIO - TERCERA ETAPA

En esta etapa el Gobierno Nacional por intermedio del Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones deberá solicitar a IETEL que - realice un estudio sobre la factibilidad de adquirir y operar un sistema doméstico de comunicaciones por satélite.

IETEL deberá presentar al Ministerio de Obras Públicas y Comunica - ciones el esquema de la publicación anticipada del proyecto de sa - télite ecuatoriano para que sea enviado al IFRB de acuerdo a los

aspectos reglamentarios detallados en el capítulo V. Entonces se determinará si el proyecto ecuatoriano interfiere o no con otros sistemas y de ser así, entrará en una etapa de coordinación con las administraciones afectadas. Superada dicha etapa, se inician los trámites de registro del sistema ecuatoriano ante la UIT y establecer los contactos con INTELSAT como se detalló en el capítulo V.

6.3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO ECUSAT

El proyecto de satélite ecuatoriano "ECUSAT" para comunicaciones domésticas consiste en el establecimiento de una red satelital que cubra todo el territorio nacional. Esta red constará de un satélite, estaciones de control y estaciones terrenas localizadas en las distintas regiones de nuestra geografía y permitirá llevar los servicios de telecomunicaciones a todo el país.

Los servicios que podrá brindar este sistema son:

- Televisión: transmisión de 2 programas de TV simultáneamente prácticamente a todo el territorio ecuatoriano, incluyendo emisión desde diferentes sitios del país (donde estén ubicadas estaciones terrenas para alta densidad de tráfico).
- Radiodifusión: Se podrá prestar este servicio a todo el territorio nacional, con emisión prácticamente desde cualquier punto del país y hacia todas las estaciones.
- Telefonía: la red satelital actuará como red complementa-

ria de la red de microondas del IETEL cursando vía satélite los tráficos originados en los centros en donde se genera el mayor volumen y a la vez actuará como red básica de transmisión hacia y desde los territorios nacionales - con el resto del país.

- Telegrafía y Télex: tendrán una aplicación y cubrimiento similar al de telefonía.
- Transmisión de datos: se podrá prestar este servicio a todo el país.
- Comunicaciones estratégicas para el Ministerio de Defensa Nacional.

6.3.1.1 SEGMENTO ESPACIAL

Comprende un satélite ubicado dentro del segmento - de órbita geoestacionaria perteneciente al Ecuador. Los segmentos de la órbita geoestacionaria correspondientes a la República del Ecuador están ubicados en las siguientes coordenadas (latitud 0°0'0"):

- Segmento continental:

Longitud 75°34'0" 0. hasta 84°12'0" 0.

- Segmento insular:

Longitud 85°58'30" 0. hasta 95°06'30" 0.

El satélite ecuatoriano podría estar ubicado en la siguiente posición orbital: Longitud 79°0.

El satélite se diseña para que tenga una vida útil

mínima de 7 años. Si la capacidad de este satélite no es suficiente para suplir la demanda, se puede ubicar otro satélite con una separación de 5° de longitud para que operen simultáneamente, permaneciendo dentro del segmento orbital ecuatoriano.

6.3.1.2 LANZAMIENTO

El lanzamiento puede efectuarse en lanzadores DELTA SERIE 3900 o en ARIANE en la modalidad de lanzamiento compartido o en el Transbordador Espacial como se ha hecho con los últimos satélites puestos en órbita.

6.3.1.3 SEGMENTO TERRESTRE

El complemento indispensable de la red satelital de telecomunicaciones son las estaciones terrenas. Dada una potencia disponible en el satélite, el tamaño de las antenas depende del volumen de tráfico que se cursa:

- Estaciones tipo A con antenas para alta densidad de tráfico: se preveen 3 antenas de este tipo ubicadas en Quito, Guayaquil y Cuenca que permitirán prestar, además del servicio telefónico y telegráfico, la transmisión de programas de TV desde estas ciudades hacia el resto del país. El diámetro

de estas antenas es de 10 a 12 m ya que por ser un sistema doméstico la densidad de potencia radiada es mayor y no se requieren antenas tan grandes como las que se utilizan con el haz global de INTELSAT.

- Estaciones tipo B con antenas para mediana densidad de tráfico: se utilizarán en los lugares que por su localización no pueden conectarse económicamente mediante redes de microondas. El diámetro de estas antenas es de 6 a 8 m.
- Estaciones tipo C con antenas para baja densidad de tráfico: localizadas en unos 100 sitios correspondientes especialmente al programa de telefonía rural; su diámetro es de 4 a 5 m.

6.3.1.4 RED DE CONTROL

La red de control del satélite consta de 2 estaciones terrenas de TT&C (Telemando, Telemetría y Control) para la transmisión y recepción de señales de control. Las estaciones deben estar separadas geográficamente ya que la una suministrará el respaldo a la estación primaria en caso de falla catastrófica en esta. Su ubicación será: Quito y Guayaquil.

CAPITULO VII

PARAMETROS DEL SISTEMA "ECUASAT"

7.1 FRECUENCIA DE OPERACION

La escogencia de la banda de 6/4 GHz para el sistema ECUASAT se efectuó después de considerar aspectos técnicos y económicos, entre ellos: ancho de banda disponible, propagación, interferencia, disponibilidad y costo de los dispositivos asociados, complejidad de los satélites y de las estaciones terrenas.

El mayor inconveniente de la banda 6/4 GHz es la coordinación con las estaciones de la red terrestre que utilizan esta misma banda para los enlaces de microondas. Sin embargo desarrollando extensos programas con ayuda de computador y efectuando mediciones en los posibles sitios de ubicación de las estaciones terrenas, se puede garantizar la compatibilidad de los sistemas satelital y terrestre.

El mayor inconveniente para usar la banda de 14/11 GHz es causado por la considerable atenuación de la señal por la lluvia, que puede ser muy alta en una región como la nuestra, y que tendría un severo impacto sobre el costo de las estaciones terrenas.

Así, mientras para la banda de 6/4 GHz durante el 0,01 % del tiempo tenemos una atenuación de aproximadamente 0,4 dB, para la banda de 14/11 GHz sería de 8,7 dB. Para un enlace típico SCPC, se requiere un margen de 8,0 dB en la banda de 14/11 GHz contra 0 dB

en la banda de 6/4 GHz para cumplir las recomendaciones del CCIR. El mayor impacto de estos márgenes se refleja en el mayor costo de las estaciones terrenas en la banda de 14/11 GHz, aproximadamente 14 mil dólares por estación rural. El satélite en ambas bandas sería aproximadamente de igual dimensión.

7.2 POLARIZACION

La técnica del doble uso de una frecuencia utilizando polarización ortogonal consiste en transmitir 2 señales separadas en la misma banda de frecuencias mediante el uso de 2 haces de antena coincidentes, esto es polarización lineal, vertical y horizontal o polarización circular, dextrógira y levógira.

La escogencia de uno u otro tipo de polarización depende de consideraciones técnicas y económicas. En el caso del sistema ECUASAT el uso de la polarización lineal presenta las siguientes ventajas con relación a la polarización circular:

- Menor costo y complejidad de los alimentadores, lo cual es importante por el gran número de antenas a instalarse.
- Mayor pureza de discriminación, es decir menos ruido ocasionado en el canal co-polarizado.
- Menor influencia de la lluvia.

7.3 CUBRIMIENTO

Este sistema satelital prestará servicios al territorio continental del Ecuador y su territorio insular. Mediante estudios efec -

tuados con ayuda de computador para estimar la ganancia de antena de un sistema de antena real recurriendo a una conformación óptima del haz, se ha encontrado que un solo reflector de 2,18 m de diámetro, trabajando a modo dual puede, a una frecuencia de 3,7 GHz dar una ganancia en el borde del haz de 30 dB.

7.4 CARACTERISTICAS DEL SATELITE

En la tabla 1 aparecen los parámetros de comunicación más sobresalientes del ECUASAT. Hay 24 canales de RF, 12 en cada polarización, que utilizarán como amplificadores de salida ya sea TWT o amplificadores de estado sólido (SSPA) dejándose la redundancia abierta para satisfacer el requisito de que la probabilidad de supervivencia calculada del satélite completo, después de estar 7 años en órbita, sea superior a 0.7, entendiéndose por esto que por lo menos 19 transpondedores satisfagan las especificaciones en condiciones de funcionamiento continuo.

7.5 CARACTERISTICAS DE LAS ESTACIONES TERRENAS

Las principales características de las estaciones terrenas para el sistema ECUASAT aparecen resumidas en la Tabla 2. Las estaciones tipo A operarán en las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca utilizando para comunicarse entre ellas la modalidad : PCM/TDM/QPSK. Las estaciones tipo B ubicadas en ciudades intermedias utilizarán SCPC/CFM o FDM/FM de acuerdo a las necesidades de tráfico y las tipo C utilizarán SCPC/CFM. En el Mapa 1 se da la

ubicación de las poblaciones que se integrarían mediante el sistema ECUASAT.

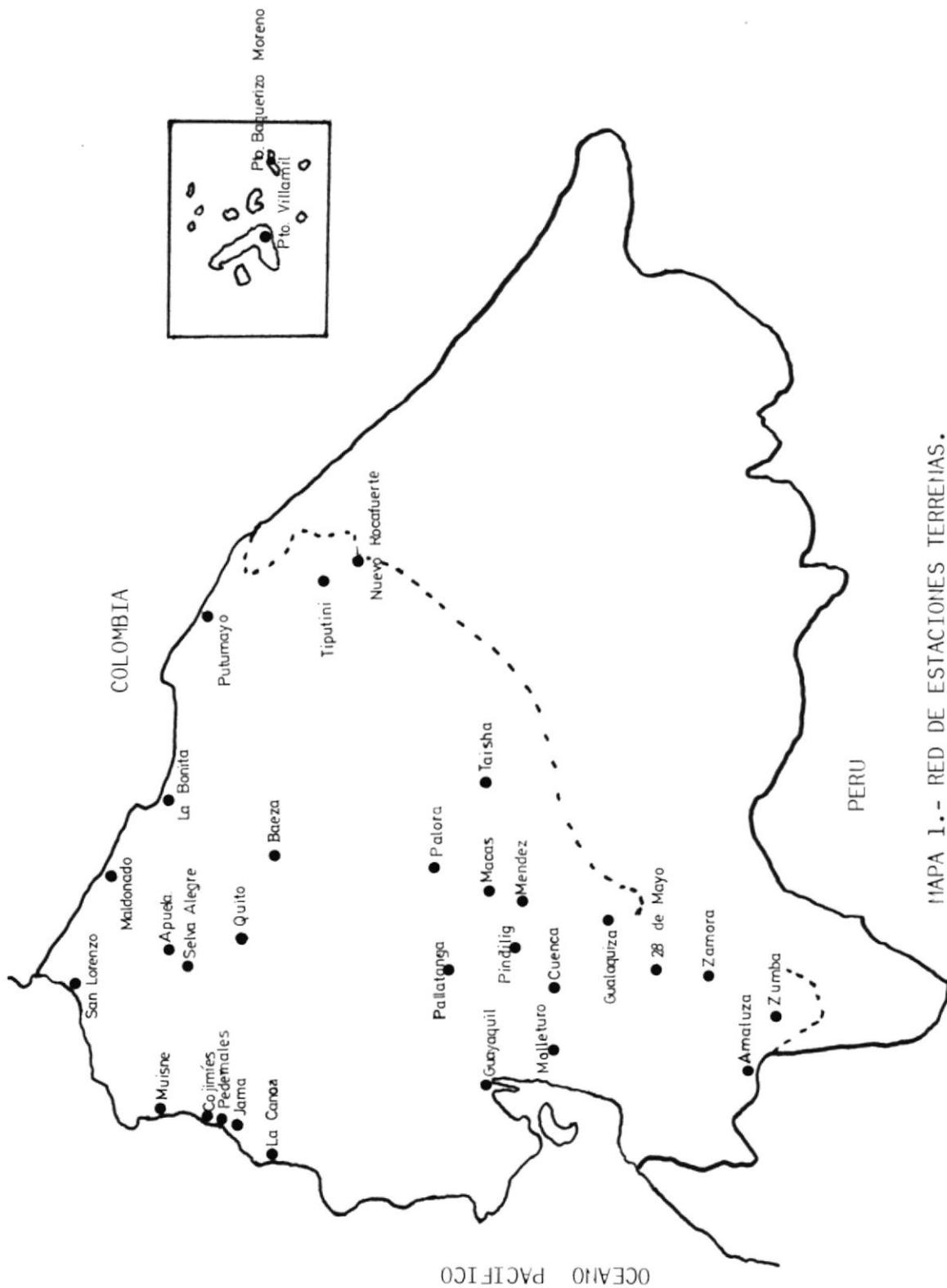
TABLA 1.- CARACTERISTICAS DEL SATELITE.

Número de canales de RF.....	24
Amplificador de salida.....	TWT o SSPA
PIRE.....	35.0 dBw (borde del haz)
G/T.....	-1.5 dB/°K
Densidad de flujo de saturación.....	-87.0 dBw/m (máxima ganancia.)
Ancho de banda utilizable por canal...	36.0 MHz
Espaciamiento entre canales.....	40.0 KHz
Aislamiento de polarización cruzada...	30.0 dB mínimo
Banda de Frecuencia de Rx.....	5900 - 6400 MHz
Banda de frecuencia de Tx.....	3700 - 4200 MHz

TABLA 2.- CARACTERISTICAS DE LAS ESTACIONES TERRENAS.

Tipo de antena	A	B	C
Diámetro (m)	12.0	7.5	4.5
G/T (dB/°K)	33.7	27.8	21.7
HPA (Kw)	3.0	3.0	*
Ganancia (dBi) Tx	55.3	51.9	46.3
Ganancia (dBi) Rx	52.5	48.3	42.4

* Depende del número de canales.



MAPA 1.- RED DE ESTACIONES TERRENIAS.

CAPITULO VIII

TRANSMISION DIGITAL VIA SATELITE

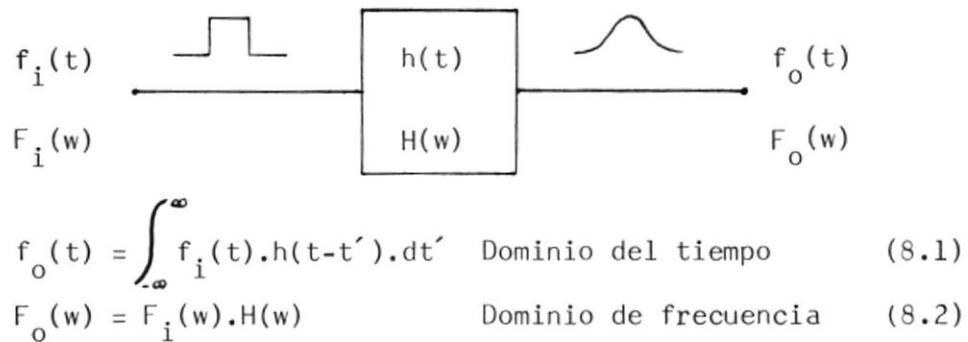
8.1 CONCEPTOS BASICOS

Transmitir una señal a través de un canal satelital con el mínimo de degradación es una tarea difícil por las restricciones que pesan sobre el canal. Por eso, al diseñar un sistema digital es necesario conocer las señales disponibles a la entrada, las señales deseables a la salida, y a partir de esto, sintetizar la función de transferencia del sistema para obtener la respuesta deseada.

La figura 8.1 muestra el análisis en el dominio del tiempo y frecuencia al aplicar una función de excitación $f_i(t)$ a un sistema con respuesta en el tiempo $h(t)$ para obtener una salida $f_o(t)$. En la práctica y para el análisis es conveniente separar los elementos del sistema de transmisión, como se indica en la figura 8.2, en filtro de transmisión, medio de transmisión y filtro de recepción, y considerando el ruido Gaussiano (elemento perturbador del canal).

El filtro de transmisión limita el espectro de la señal transmitida para evitar interferencias en otros canales o sistemas, y el filtro de recepción minimiza el ruido recibido y se acopla con el espectro transmitido. Las relaciones de los espectros son claras de la figura 8.2.

Al transmitir por el espectro de la figura 8.2 un tren de pulsos a intervalos de T segundos, deseamos que en la recepción, en el -



$f_i(t)$: señal de entrada.

$f_o(t)$: señal de salida.

$F_i(w)$: espectro de frecuencia de la señal de entrada.

$F_o(w)$: espectro de frecuencia de la señal de salida.

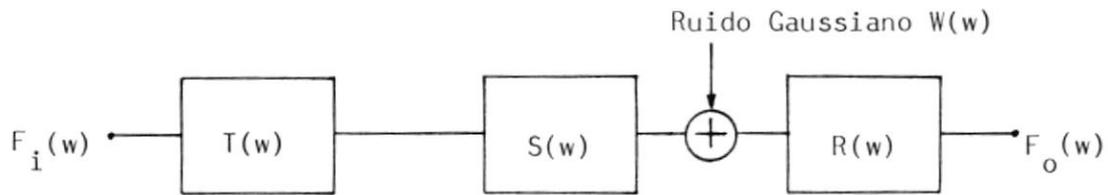
$h(t)$: respuesta en el tiempo del sistema de transmisión.

$H(w)$: respuesta de frecuencia del sistema de transmisión.

FIGURA 8.1 RESPUESTA DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN EN DOMINIO TIEMPO Y FRECUENCIA.

momento normal de muestreo, la amplitud A de la señal recibida en un intervalo dado sea resultado unicamente del mensaje transmitido en ese intervalo. Matemáticamente deseamos: $f_o(0) = A$ y $f_o(KT) = 0$ para todo K entero, diferente de cero. Una función $F_o(w)$ con esa respuesta en el tiempo es una función Nyquist tipo I. Un filtro pasabajo ideal con frecuencia de corte $1/2T$ satisface ese criterio y se llama filtro Nyquist de mínimo ancho de banda cuya respuesta en frecuencia y tiempo se muestran en la figura 8.3.

En la figura 8.3 (b) la respuesta en el tiempo es cero en los puntos nominales de muestreo, o sea que la máxima velocidad de transmisión es 2 símbolos/seg/Hz; si este criterio no se satisface, el



$T(w)$: filtro de transmisión.

$S(w)$: respuesta de frecuencia del canal de transmisión.

$R(w)$: filtro de recepción.

$W(w)$: espectro del ruido.

$$F_o(w) = [F_i(w) \cdot T(w) \cdot S(w) + W(w)] \cdot R(w) \quad (8.3)$$

FIGURA 8.2 MODELO PRACTICO DE UN SISTEMA DE TRANSMISION.

valor de amplitud en el momento del muestreo se debe al símbolo transmitido y a los precursores y posteriores, como en la figura 8.4. Esta es la INTERFERENCIA ENTRE SIMBOLOS (ISI) muy importante en el diseño de enlaces digitales.

8.2 PROBABILIDAD DE ERROR Y DIAGRAMA DE OJO.

Una de las figuras de mérito más importantes en un sistema digital es la tasa de errores de bitios (BER), que es comparable a la

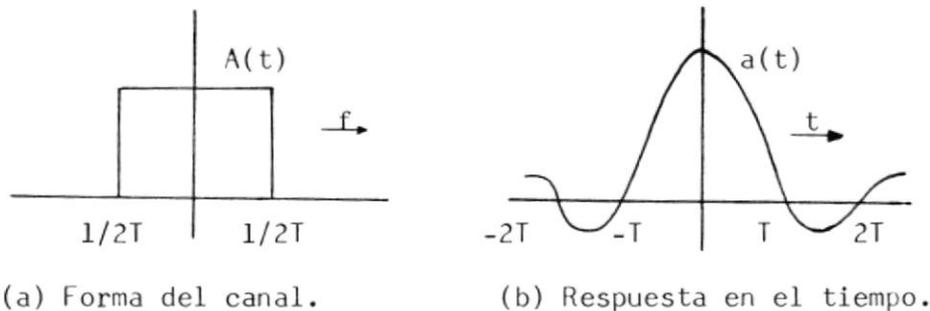


FIGURA 8.3 CANAL NYQUIST I DE ANCHO DE BANDA MINIMO.

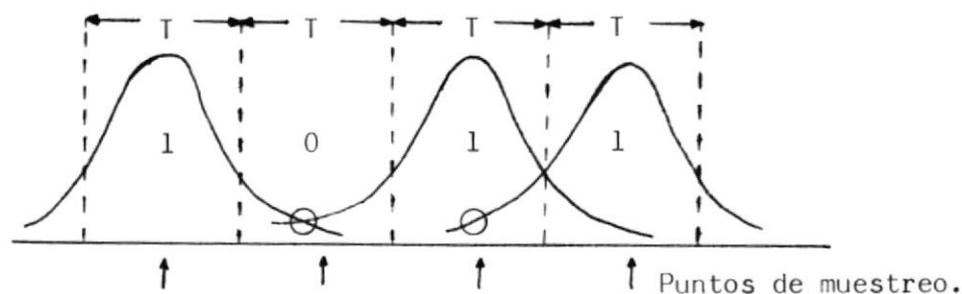


FIGURA 8.4 INTERFERENCIA ENTRE SIMBOLOS.

relación señal/ruido que se usa como figura de mérito en un sistema análogo FDM/FM. La BER se da para una relación E_b/N_0 dada, donde E_b es la energía por bitio y N_0 es la densidad espectral de ruido. Se escoge E_b y no C , potencia de la señal, para obtener una relación independiente de R , tasa de transmisión de bitios.

La probabilidad de error para una señal binaria es:

$$P_b(E) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right) \quad (8.4)$$

donde:

$$\operatorname{erfc}(x) = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-y^2} \cdot dy \quad (8.5)$$

es la función de error complementaria.

Una aproximación de (8.4) se obtiene por expansión de (8.5):

$$P_b = \frac{e^{-z}}{2\sqrt{\pi z}} \quad z \gg 1 \quad (8.6)$$

donde $z = E_b/N_0$. Para $z > 3$ dB se obtiene una aproximación aceptable. Un gráfico de $P_b(E)$ contra E_b/N_0 aparece en la figura 8.5.

En general, las degradaciones del sistema se comparan con esta curva teórica. Así, una degradación de 2 dB en E_b/N_0 para una probabilidad de error de 10^{-6} , significa que debe incrementarse E_b/N_0

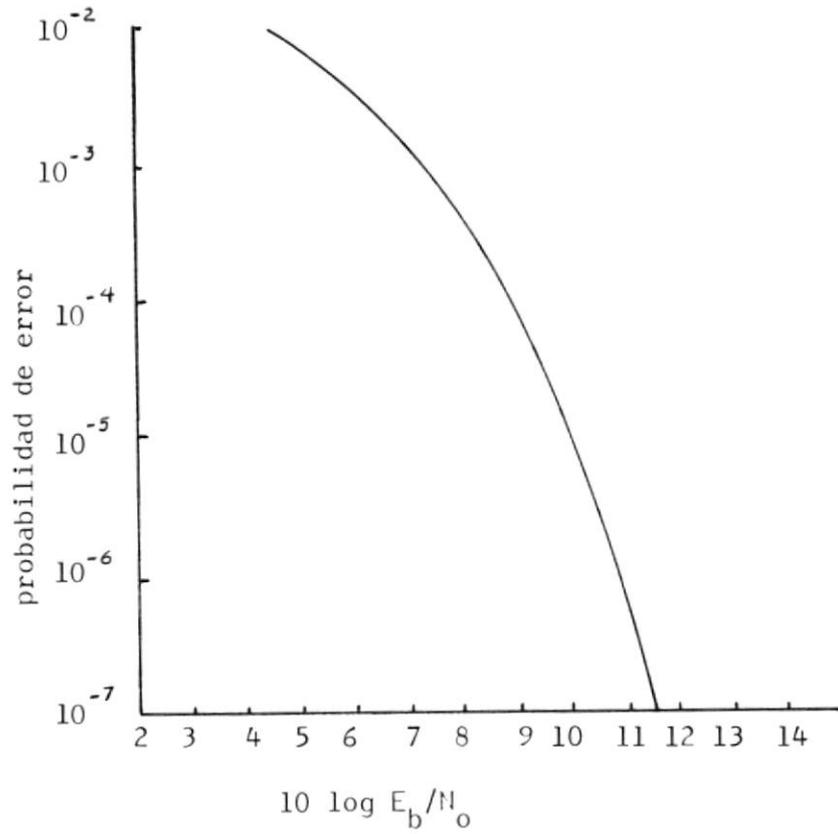


FIGURA 8.5 GRAFICO DE $P_b(E)$ CONTRA E_b/N_0 .

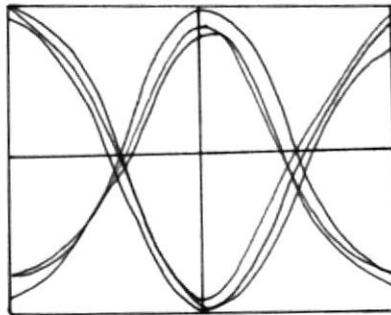


FIGURA 8.6 DIAGRAMA DE OJO.

en 2 dB para que la proporción de bitios erroneos se mantenga en 10^{-6} .

Una técnica gráfica muy conveniente para determinar los efectos

de degradaciones prácticas introducidas en los pulsos es el DIAGRAMA DE OJO; es la superposición de todos los pulsos posibles - durante 2 intervalos de tiempo. La figura 8.6 es el diagrama de ojo para una señal binaria. El efecto práctico de la degradación de los pulsos es reducir el tamaño del ojo ideal.

8.3 TRATAMIENTO DE LAS SEÑALES DIGITALES EN EL SISTEMA ECUASAT.

8.3.1 CODIFICACION (PCM).

El sistema ECUASAT operará con centrales digitales cuya salida básica es el tren normalizado europeo PCM de 2048 Mbps formado por 30 canales de voz más 2 utilizados para señalización, sincronización, etc. La conformación de este tren se rige por las recomendaciones del CCITT. Los procedimientos de muestreo, cuantificación y codificación son bien conocidos.

8.3.2 MULTIPLEXAJE (TDM).

El TDM o multiplexaje digital por división en el tiempo es una conversión paralelo-serie y serie-paralelo de trenes de bitios independientes. Un sistema sincrónico elemental tendría la velocidad del tren de bitios en serie igual a la suma de las velocidades de los trenes paralelos. Pero, esta operación no puede acomodar variaciones en las velocidades de los trenes paralelos ni suministrar el entrelazado

correcto, hechos necesarios en la práctica.

Los principales problemas en TDM son la sincronización de los diferentes trenes de pulsos para que sean adecuadamente entrelazados, y el entramado de la señal de alta velocidad para que las componentes sean identificadas en el receptor; esto requiere registros elásticos, parte importante del multiplexador. El tren básico de 2048 Mbps de 120 canales se usará para formar los trenes de más alta velocidad. En el ECUASAT, por el ancho de banda de los transpondedores del satélite, se puede transmitir un máximo de aproximadamente 60 Mbps en un ancho de banda de 36 MHz, como la jerarquía europea TDM tiene velocidades normalizadas de aproximadamente 2, 8, 34 y 139 Mbps para transmitir una portadora de 60 Mbps será necesario multiplexar los trenes de modo diferente al normalizado. Esto implica cambios en el diseño de los equipos TDM normales, que serán particulares del ECUASAT.

8.3.3 PROCESAMIENTO (DSI y/o NIC).

La señal PCM permite usar 2 técnicas que en una etapa avanzada del ECUASAT permitirán aproximadamente cuadruplicar la capacidad del sistema: la COMPRESION CUASI-INSTANTANEA (NIC) y la CONCENTRACION DIGITAL DE LAS CONVERSACIONES (DSI).

La técnica DSI se refiere al proceso de compartir en el tiempo un sistema de transmisión multicanal entre un número de conversaciones telefónicas.

En general, en una conversación, uno de los abonados habla y el otro escucha, por eso en un canal la voz está presente solo una fracción del tiempo total de conversación. Además, cuando solo uno de los abonados habla, hay pausas y momentos en que el circuito está en reposo. En promedio, en un canal telefónico típico, la voz está presente aproximadamente el 40% del tiempo. Así, M canales de transmisión satelital pueden llevar las conversaciones de N troncales, donde $N > M$ y N/M es la ganancia del DSI, que se aproxima a 2.5 si N es grande. Como siempre hay una posibilidad finita de que no se consiga un canal satelital, se fija como objetivo de diseño para mantener una buena calidad, que la probabilidad de bloquear la voz por más de 50 mseg (perceptibles al oído) sea inferior a 0.02. Las unidades DSI vienen para ser usadas en grupos de 240 canales.

La técnica NIC consiste en el procesamiento de un bloque de muestras digitales; su premisa fundamental es que el rango de amplitud de un pequeño conjunto de muestras de voz es, en promedio, considerablemente menor que el rango completo disponible para la voz. La figura 8.7 muestra una conformación PCM/TDM/DSI; si el número de canales es superior a 240 (unidad básica DSI) se requiere nuevo multiplexaje.

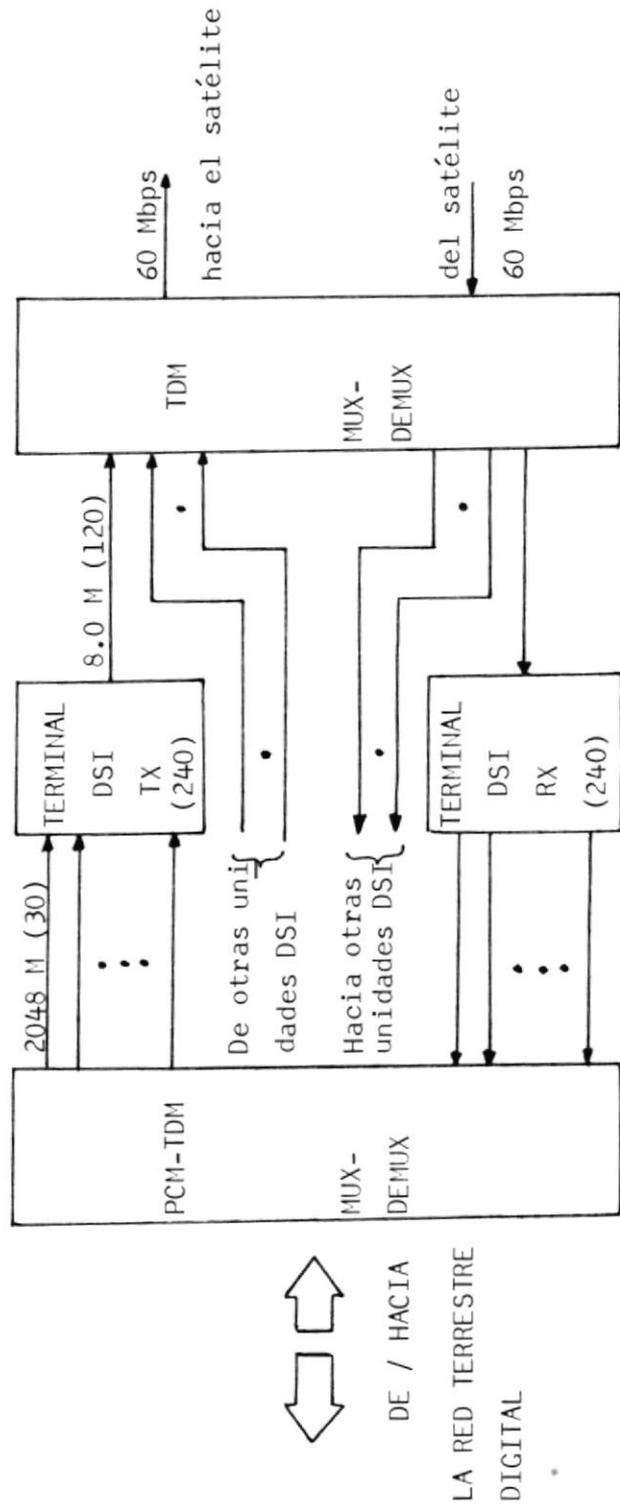


FIGURA 8.7 ESQUEMA DE LA TRANSMISION PCM/TDM/DSI.

8.4 TECNICAS DE MODULACION DIGITAL.

8.4.1 ESQUEMAS DE MODULACION.

A menudo es necesario modular una señal digital para que sea apropiada para ser transmitida por el canal. Dependiendo de factores como la velocidad de transmisión, ancho de banda y potencia disponible, linealidad del canal, etc, se escoge el esquema de modulación adecuado.

Se puede transmitir información digital vía satélite modulando: amplitud, frecuencia o fase de la portadora de radiofrecuencia (RF). Para una proporción de bitios erroneos dada, la modulación de fase es la más eficiente pues requiere la mínima relación E_b/N_o . Por otra parte, por la no linealidad satelital, no es aconsejable usar técnicas de modulación que involucren variaciones de amplitud. Entonces, las técnicas de modulación de mayor interés son las de MPSK (manipulación por desplazamiento de M fases), y una versión de FSK (manipulación por desplazamiento de frecuencia) conocida como MSK (manipulación por desplazamiento mínimo), que presenta una envolvente constante de amplitud a los amplificadores no lineales, a diferencia de la señal MPSK que presenta fluctuaciones de amplitud. Pero, al considerar el comportamiento total de estos esquemas frente a los diferentes parámetros del sistema, la técnica QPSK (manipulación por desplazamiento de 4 fases) resulta

la que, en conjunto, presenta las mayores ventajas.

8.4.2 MODULACION BPSK Y QPSK.

En un sistema BPSK las señales moduladas tienen solo 2 fases relativas a la portadora no modulada. Estas fases están 180° aparte. Si la portadora no modulada es $\text{Cos } \omega_0 t$ la señal $V_{\text{BPSK}}(t)$ es:

$$V_{\text{BPSK}}(t) = K \cdot \text{Cos}(\omega_0 t + \theta) \quad (8.7)$$

donde θ es θ_1 o θ_2 , $|\theta_1 - \theta_2| = 180^\circ$

y K es la amplitud pico de la señal modulada.

Si $\theta_1 = 0^\circ$, entonces $\theta_2 = 180^\circ$ y:

$$V_{\text{BPSK}}(t) = \pm K \cdot \text{Cos } \omega_0 t \quad (8.8)$$

En la modulación QPSK, se codifica cada par de bits en una de 4 fases posibles o en un cambio de fase. La figura 8.8 muestra el modulador y las formas de onda típicas para el sistema QPSK. La señal digital de entrada al modulador NRZ (sin retorno a cero) es transformada por un convertidor serie-paralelo en 2 trenes NRZ: $I(t)$ y $Q(t)$ cuyas velocidades de transmisión son la mitad de la velocidad de la señal de entrada. I y Q se aplican a mezcladores balanceados. La segunda entrada al mezclador I es la portadora $\text{Cos } \omega_0 t$ y al mezclador Q es la portadora desplazada 90° , $\text{Sen } \omega_0 t$. Las salidas de los mezcladores son señales BPSK. La señal de salida del mezclador I tiene fases relativas

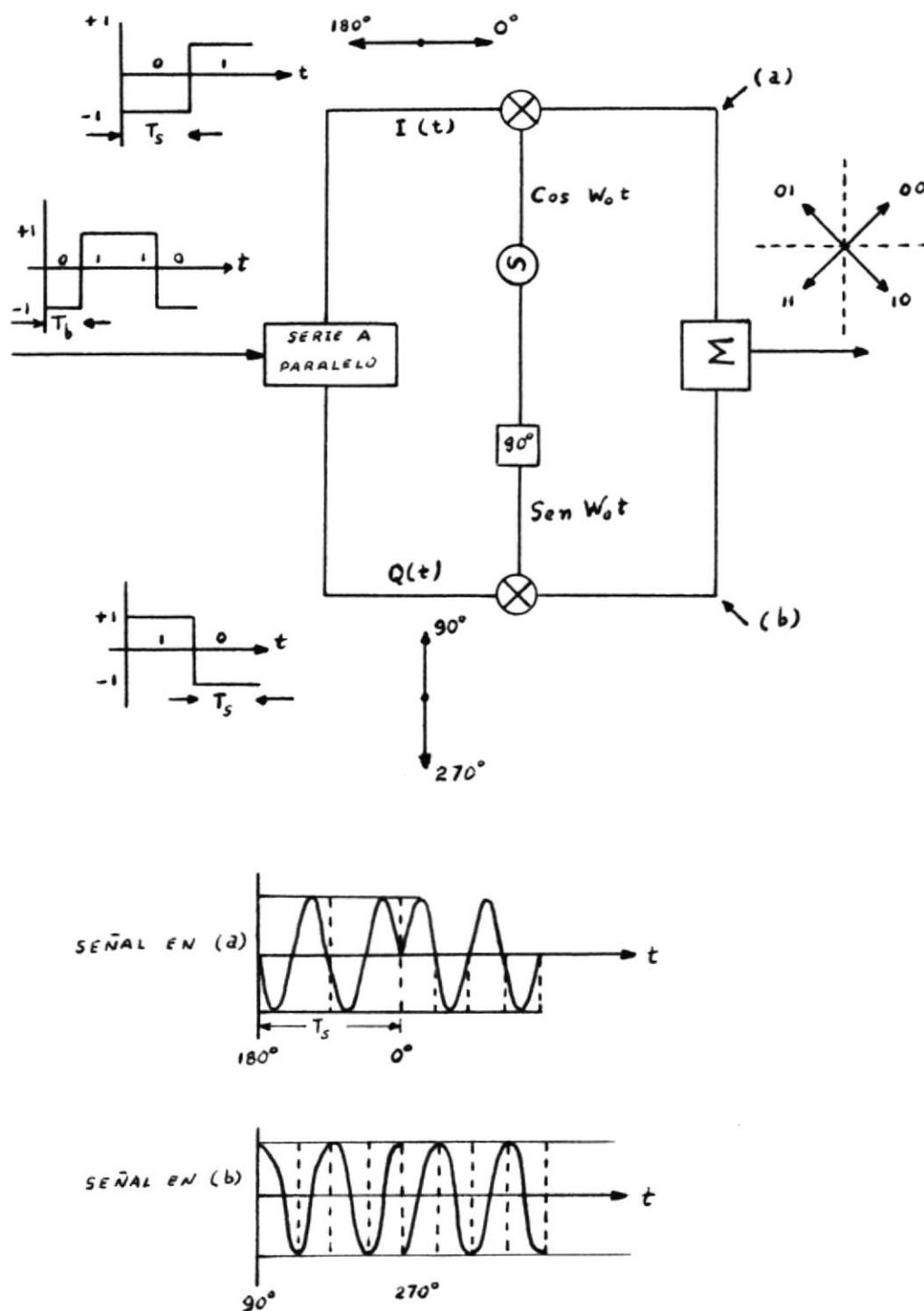


FIGURA 8.8 MODULACION QPSK Y FORMAS DE ONDA (NO FILTRADAS).

de 0° o 180° respecto a la portadora y la del mezclador Q de 90° o 270° .

Estas salidas se suman para tener una señal de salida de 4 fases $\pm 45^\circ$ y $\pm 135^\circ$. Se puede tener cambios en fase de 90° o 180° . Por ejemplo cuando la combinación de dígitos IQ cambie de 11 a 00 hay una transición de fase de 180° . En una señal QPSK no filtrada, las transiciones de fase son instantáneas y la señal tiene una envolvente de amplitud constante; pero los cambios de fase de una señal QPSK filtrada resultan en una variación de la amplitud de la envolvente. En particular, un cambio de fase de 180° resulta en un cambio momentáneo a cero de la amplitud de la envolvente. Estas fluctuaciones de amplitud son indeseables pues la amplificación de los elementos no lineales ocasiona el crecimiento de la energía en las bandas laterales del espectro y la interferencia en el canal adyacente causando efectos de distorsión AM/PM. Como las señales I y Q están en cuadratura, el receptor es capaz de demodular y regenerar los 2 canales independientemente, operando en la práctica como 2 receptores BPSK. Los 2 trenes se recombinan en un convertidor paralelo-serie para formar el tren original. La probabilidad de error para el sistema QPSK es igual a la del BPSK considerada para cada canal independiente, y dada por (8.4). Entonces, para un ancho de banda dado, el sistema QPSK es 2 veces más eficiente que el BPSK, sin pérdida en el comportamiento de la probabilidad de error. La

máxima eficiencia espectral del QPSK es 2 b/seg/Hz.

En la figura 8.9 se muestra la densidad espectral de una señal QPSK (o BPSK si $T_s = T_b$) no filtrada. La característica del espectro G_{QPSK} es:

$$G_{\text{QPSK}} = P_c \cdot T_s \cdot \left(\frac{\text{Sen} (f - f_o) \cdot T_s}{(f - f_o) \cdot T_s} \right)^2 \quad (8.9)$$

donde:

f_o : frecuencia de la portadora.

P_c : potencia de la forma de onda modulada.

T_s : duración de un símbolo.

T_b : duración de un bitio.

En la señal BPSK los ceros del espectro ocurren a $1/T_b$ - pues $T_s = T_b$, y en la señal QPSK a $R_s = 1/T_s$ o tasa de transmisión en baudios, o lo que es igual a $R_s = 1/2T_b$. Entonces para una velocidad de transmisión de 60 Mbps el primer cero de BPSK ocurre a 60 MHz y de QPSK a 30 MHz.

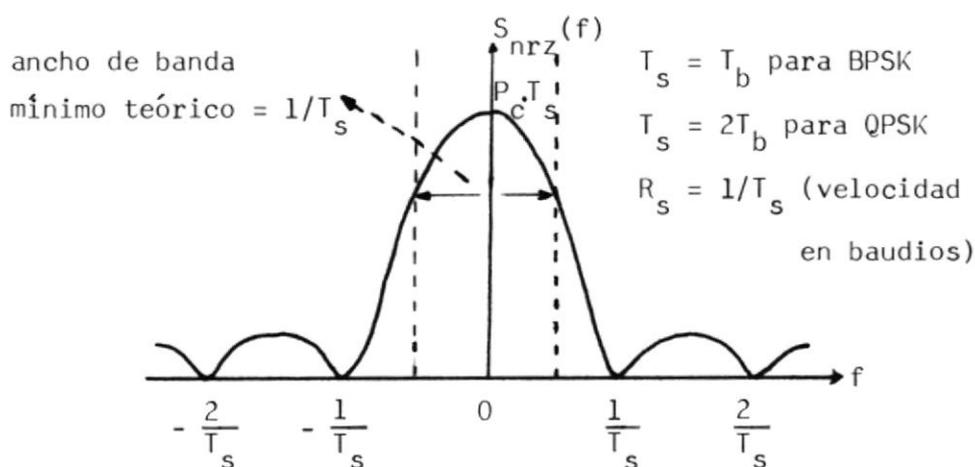


FIGURA 8.9 DENSIDAD ESPECTRAL DE UN CODIGO NRZ.

(PATRON DE BITIOS AL AZAR)

8.5 FORMACION DEL PULSO Y MODELO DEL CANAL SATELITAL.

8.5.1 FILTROS NYQUIST PARA FORMACION DEL PULSO.

Ya mencionamos que un filtro pasabajo ideal con frecuencia de corte $1/2T$ permite que la ISI sea cero. En la práctica, su aproximación presenta problemas pues la magnitud del rizado es elevada y es muy sensible a las desviaciones en la velocidad de transmisión, frecuencia de corte y momento de muestreo. Afortunadamente, hay otras formas de filtros que satisfacen el primer criterio de Nyquist, cero ISI, como la llamada forma cosenoidal con factor de decaimiento α (roll-off). La figura 8.10 (a) muestra varias respuestas en frecuencia según sea el valor de α . Se observa que $\alpha = 0$ corresponde al filtro pasabajo ideal, cero decaimiento. A mayor α , mayor es el ancho de banda ocupado y menor es la magnitud del rizado, según las correspondientes respuestas en el tiempo como se indica en la figura 8.10 (b).

8.5.2 MODELO DEL CANAL SATELITAL.

Para comprender los fenómenos que se presentan en el canal satelital no lineal, la figura 8.11 muestra el camino de transmisión para la señal digital. Este modelo corresponde al de la figura 8.2 y en él aparecen los elementos no lineales HPA de la estación y TWT del satélite.

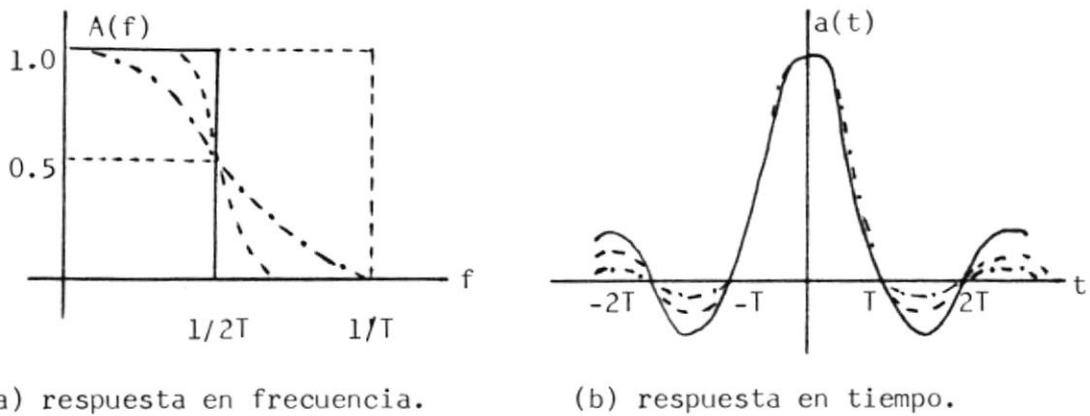


FIGURA 8.10 CANALES NYQUIST I COSENOIDALES.

8.5.3 FILTRO DE TRANSMISION (F_1).

El espectro de una señal QPSK tiene un ancho de banda ilimitado y un nivel considerable de lóbulos laterales. En un sistema de transmisión de varios canales, si la señal QPSK que sale del modulador no se filtra con F_1 , el efecto de un canal se traslapará con el del canal adyacente, creando la interferencia del canal adyacente (ACI). Además, por las características de la señal transmitida, es necesario tener alguna formación del pulso con F_1 para evitar la ISI. Hay un compromiso entre la ACI y la ISI para diseñar F_1 , pues a mayor ancho de banda será mayor la ACI y menor la ISI. Finalmente, la señal filtrada por F_1 , que como ya se mencionó presenta variaciones de amplitud en la envolvente, se aplica al elemento no lineal HPA, con el consiguiente incremento en el nivel de los lóbulos laterales, fenómeno llamado regeneramiento del espectro. La figura 8.12 muestra el de -

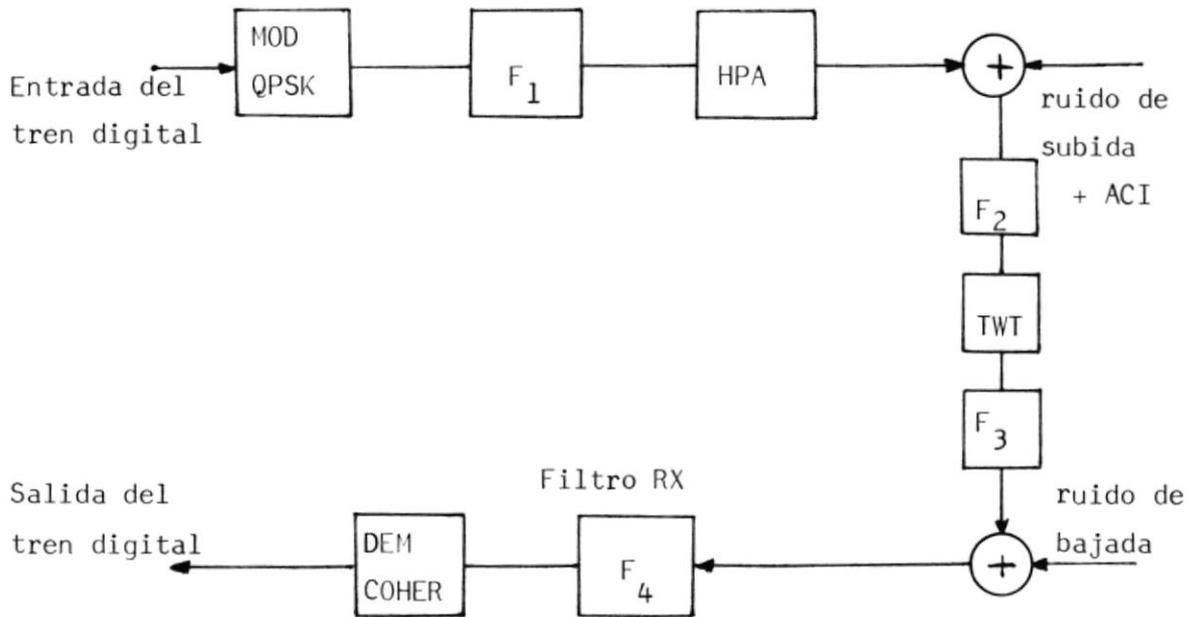
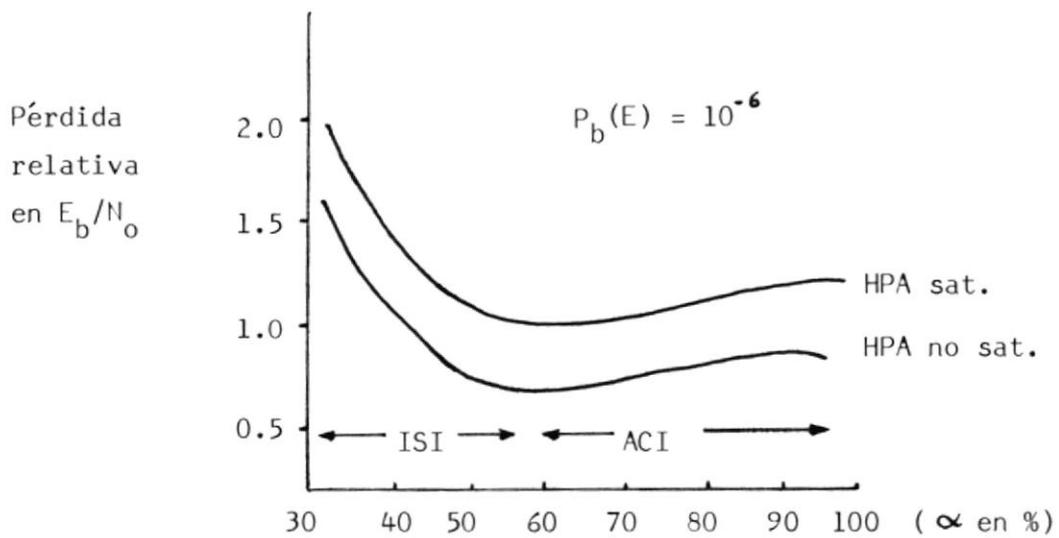


FIGURA 8.11 MODELO DEL TRAYECTO DE TRANSMISION.

FIGURA 8.12 PERDIDAS DE E_b/N_0 EN FUNCION DE α PARA QPSK.

gradamiento sufrido en E_b/N_0 para diferentes valores de α del filtro F_1 para $P_b(E)$ dada de 10^{-6} ; a menor α mayor es la degradación debido a la ISI y al incrementarse α se aumenta la ACI, alcanzándose un punto óptimo para $\alpha = 60\%$.

8.5.4 FILTRO DE ENTRADA DEL SATELITE (F_2).

El espectro con lóbulos regenerados a la salida del HPA es alimentado a la antena y enviado al satélite. Se podría evitar la ACI si se efectuara un filtraje posterior al HPA. Pero, si la potencia que se transmite es alta, y si se requiere agilidad de frecuencia, esto no es aconsejable. El filtro F_2 controla la ACI en el enlace ascendente, y en general un filtro de 8 secciones más la ecualización puede ser suficiente para conseguir la protección requerida.

8.5.5 FILTRO DE SALIDA DEL SATELITE (F_3).

Una vez filtrada la señal en F_1 , pasa a través del TWT no lineal y nuevamente se presenta la regeneración de las bandas laterales del espectro. El filtro de salida F_3 sirve para controlar la ACI en el enlace descendente. Un filtro de 4 a 5 secciones satisface generalmente los requisitos de su presión del canal adyacente.

8.5.6 FILTRO DE RECEPCION (F_4).

La combinación ideal de filtros para un canal QPSK en un me

dio lineal es un filtro cosenoidal Nyquist en el modulador y un filtro acoplado, ecualizado en retardo y de respuesta plana en el demodulador. Es decir, F_4 debe tratar de maximizar la relación señal/ruido (filtro acoplado) y asegurar que la ISI sea mantenida al mínimo. En otros términos, el ancho de banda no puede ser muy grande debido al ruido térmico, ni muy pequeño pues se aumenta la ISI.

8.6 CALCULO DE ENLACES DIGITALES VIA SATELITE.

8.6.1 RELACION E_b/N_o Y C/N.

Como ya se mencionó, el parámetro que define finalmente la calidad del enlace digital, es la tasa de errores de bits (BER) para un valor E_b/N_o dado. Por definición, la potencia es la energía por unidad de tiempo, entonces:

$$E_b = C \cdot T \quad (8.10)$$

donde: E_b : energía por bitio (julios)

C : potencia (vatios)

T : periodo del bitio (segundos)

por tanto:

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{C \cdot T}{N_o} \quad (8.11)$$

Siendo $1/T = R$ (tasa de transmisión de bitios) y $N = N_o \cdot B$

donde B es el ancho de banda total del canal, tenemos que:

$$\frac{C}{N} \text{ (dB)} = \frac{E_b}{N_o} \text{ (dB)} + 10 \log \frac{R \text{ (bps)}}{B \text{ (Hz)}} \quad (8.12)$$

8.6.2 OBJETIVOS DE TRANSMISION.

Los enlaces digitales a través del ECUASAT deberán cumplir con la recomendación G-552 del CCIR que establece los objetivos para la BER así:

$< 1 \times 10^{-6}$	80 % del peor mes
$< 1 \times 10^{-4}$	99,7 % del peor mes
$< 1 \times 10^{-3}$	99,99 % del peor año

8.6.3 PROCEDIMIENTO DE CALCULO.

En base a los valores dados en 8.6.2 se calcula el valor teórico de E_b/N_o requerido, dado por la fórmula (8.4). Los valores teóricos de E_b/N_o para las 3 tasas de error mencionadas son:

<u>BER</u>	<u>E_b/N_o</u> (dB)
10^{-3}	7.2
10^{-4}	8.4
10^{-6}	10.4

Luego se determina la degradación en dB, que con respecto al valor teórico, causan cada uno de los fenómenos ya mencionados: no linealidad, implementación del modem, ACI, efectos de propagación, etc. La suma de estas degradaciones al valor teórico constituyen el valor final E_b/N_o requerido. Los valores siguientes constituyen un primer estimativo:

TABLA 3. DEGRADACIONES DE E_b/N_0 CON RESPECTO AL VALOR TEORICO

$P_b(E)$	CENTELLEO	LLUVIA	CAMINOS MULTIPLES	NO LINEALIDAD	E_b/N_0 REQUERIDO (dB)
10^{-3}	7.3	0.4	1.5	1.2	17.6
10^{-4}	0.4	-	1.5	1.5	11.8
10^{-6}	-	-	2.5	2.5	15.4

De estos valores se desprende que para tener una confiabilidad del 99,99% se necesita un E_b/N_0 de 17,6 dB.

8.7 CALCULO DEL ENLACE DIGITAL APLICADO AL SISTEMA ECUASAT.

8.7.1 PARAMETROS DEL SATELITE.

Para el ECUASAT, por consideraciones del diseño del satélite se escoge un ancho de banda por transpondedor de 36.0 MHz. En principio, un valor aceptable del producto $B.T_s$, como compromiso entre la ISI y la ACI, es de 1,2 esto significa que se puede transmitir hasta $R_s = 36/1.2 = 30$ Mbps es decir 60 Mbps en QPSK. La PIRE del satélite es de 35,6 dBw. Pero, para disminuir los efectos de regeneración del espectro en el TWT, es aconsejable no trabajar en saturación, por eso se reduce la potencia de salida (back-off de salida B_{00}) en 0.6 dB lo que corresponde, para unas características típicas de potencia de entrada contra potencia de salida, a una reducción de la entrada (back-off de

entrada B_{oi}) de 4.0 dB. Si el flujo de saturación es de -78 dBw/m² (paso de mínima ganancia), tendremos que la ganancia de la señal, en el satélite, G_s , será de 154,0 dB.

8.7.2 DEGRADAMIENTO POR POLARIZACION CRUZADA Y CANAL ADYACENTE.

Teniendo en cuenta el aislamiento de polarización de las antenas de la estación terrena y satélite, se obtiene un valor de portadora a interferencia $(C/I)_p = 26.2$ dB. La contribución debida a la ACI se estima como un valor $(C/I)_a = 27.8$ dB. Entonces, la contribución total es de 23.9 dB.

8.7.3 VALOR DISPONIBLE DE E_b/N_o .

El valor disponible de E_b/N_o a la entrada del demodulador, puede calcularse por:

$$\frac{E_b}{N_o} = P_s - R - K - 10 \log \left(\frac{G_s}{(G/T)_s} + \frac{L_d}{(G/T)_E} + T_i \right) \quad (8.13)$$

Donde:

P_s : PIRE del satélite = 35.0 dB.

R : Tasa de transmisión de bitios = 77.8 dB-Hz.

K : Constante de Boltzman = - 228.6 dBw/°K-Hz.

G_s : Ganancia de la señal a través del repetidor satelital = 154.0 dB.

$(G/T)_s$: Factor de mérito del satélite = 1.5 dB/°K.

L_d : Pérdida del enlace de bajada más pérdidas por

apuntamiento.

$(G/T)_E$: Factor de mérito de la estación terrena = 33.7
dB/°K.

T_i : Temperatura de ruido equivalente debida a los degradamientos por polarización cruzada más ACI =
 $10^{16.4}$ °K.

Entonces $E_b/N_0 = 19.2$ dB, lo cual da un margen sobre el valor requerido de 1.6 dB.

CAPITULO IX

CALCULO DE LOS PARAMETROS BASICOS DEL SISTEMA ECUASAT MEDIANTE PROGRAMAS PARA CALCULADORA HEWLETT PACKARD HP-41

9.1 CAPACIDAD DE CANALES PARA PORTADORA UNICA POR REPETIDOR.

La capacidad de un sistema FM se puede definir a partir de 2 relaciones básicas:

- La ecuación que relaciona el valor S/N detectado al C/N de pre detección.
- La ecuación que determina el ancho de banda requerido para un determinado número de canales, según la regla de Carson.

La relación S/N viene dada por la fórmula:

$$\frac{S}{N} = \frac{C}{N} \times \frac{B}{b} \times \frac{f_r^2}{f_m} \times P \times W \quad (9.1)$$

O en forma logarítmica:

$$\frac{S}{N} = \frac{C}{N} + 10 \log \frac{B}{b} + 20 \log \frac{f_r}{f_m} + P + W \quad (9.2)$$

Donde:

S/N : relación entre la potencia de la señal de prueba (1 mW en un punto de nivel relativo a cero) y la potencia de ruido (valor sofométrico en el canal telefónico más elevado).

C/N : relación de portadora a ruido antes de la detección.

P : mejora por preénfasis.

W : factor de ponderación sofométrica.

b : ancho de banda del canal de voz = 3,1 KHz.

f_m : máxima frecuencia de la banda base

f_r : desviación RMS de la señal S.

El ancho de banda requerido para un determinado número de canales viene dado por:

$$B = 2.f_d + 2.f_m \quad (9.3)$$

$$f_d = \frac{B - 2.f_m}{2} \quad (9.4)$$

$$f_d = f_{rms} \cdot \ell \cdot g \quad (9.5)$$

$$f_{rms} = \frac{B - 2.f_m}{2 \cdot \ell \cdot g} \quad (9.6)$$

Con estos términos la ecuación (9.2) se convierte en:

$$\frac{S}{N} = \frac{C}{N} + 10 \log \frac{B}{b} + 20 \frac{\log B - 2f_m}{2 \cdot \ell \cdot g \cdot f_m} + P + W \quad (9.7)$$

Donde:

ℓ : relación de voltaje RMS multicanal al voltaje de tono de prueba.

$$L = 20 \cdot \log(\ell) \quad (9.8)$$

g : relación de voltaje pico a RMS de la carga multicanal.

$$G = 20 \cdot \log(g) = -15 + 10 \log(n) \quad n \geq 240 \text{ canales} \quad (9.9)$$

$$= -15 + 4 \log(n) \quad n < 240 \text{ canales} \quad (9.10)$$

f_d : desviación pico de frecuencia de señal multicanal.

$$f_{mc} : \text{desviación multicanal RMS} = f_{rms} \times g \quad (9.11)$$

$$m = f_{mc} / f_m \quad (9.12)$$

Asumiendo los siguientes valores típicos:

$$b = 3.1 \text{ KHz}$$

$$n \cong \frac{f_m \text{ (KHz)}}{4.2} \quad (9.13)$$

$$P = 4 \text{ dB.}$$

$$\frac{C}{N_{\min}} = 10 \text{ dB.}$$

$$L = 10 \text{ dB (recomendación del CCIR) por lo tanto: } L^{10/20} = 3.16$$

$$B = 2 \times (3.16 \times f_{\text{rms}} \times g + f_m) \quad (9.14)$$

Combinando las ecuaciones anteriores y utilizando los valores mencionados, se tendrá:

$$\frac{S}{N} = \frac{C}{N} + 10 \log \left(\frac{B}{3.1} \right) + 20 \log \frac{B - 2f_m}{6.32 \times g \times f_m} \quad (9.15)$$

Si definimos como S/N objetivo del diseño una relación igual a 51.2 dB (recomendación del CCIR) esto es, un ruido de 7.500 picovatios aproximadamente, podemos obtener el C/N objetivo necesario del diseño para diferentes capacidades de canales utilizando la ecuación anterior.

Los valores de f_{rms} , f_{mc} y C/N se pueden obtener con el programa descrito en el apéndice D.

A manera de ejemplo se detallan a continuación determinados valores típicos que se han utilizado como datos de entrada en dicho programa y los resultados obtenidos:

<u>REGISTRO</u>	<u>VARIABLE</u>	<u>VALORES SUPUESTOS</u>
0	n	24
1	f_m (KHz)	108
3	b_o (KHz)	2000
4	S/N obj. (dB)	51.2

DATOS DE SALIDA

24.00	n
1.6828	G (dB)
108.00	f _m (KHz)
2000.00	b _o (KHz)
167.7433	f _{rms}
51.2	S/N obj. (dB)
12.7789	C/N obj. (dB)
282.2784	f _{mc} (KHz)
891.9998	f _d (KHz)
2.6137	m
22.4771	W _e (dB/4 KHz)
-152.8108	C/T obj.

W_e = relación potencia de portadora no modulada/densidad máxima de -
potencia de portadora, bajo condiciones de carga completa calculada según la fórmula:

$$W_e = -10 \log \frac{4}{f_{mc} \sqrt{2\pi}}$$

9.2 COMPORTAMIENTO DE UN ENLACE POR SATELITE

El comportamiento de un sistema de comunicaciones por satélite - que permite lograr el C/N objetivo de que se habla en el numeral 9.1 se puede dividir en las siguientes partes:

- Comportamiento del enlace ascendente, determinado por las características de transmisión de la estación terrena, las características de recepción del satélite y la atenuación por es pacio libre en la frecuencia del enlace entre las antenas de las estaciones terrenas y el satélite.
- Comportamiento del enlace descendente, determinado por las características de transmisión del satélite, las características de recepción de la estación terrena y la atenuación por espa cio libre en la frecuencia del enlace entre las antenas del sa télite y la estación terrena.
- El comportamiento total del enlace no considera los problemas de intermodulación que se tratan en 9.3 ya que se asume portadora única por ancho de banda del amplificador asignado, por lo que las relaciones C/N ascendente, descendente y total se denominan como de referencia.

9.2.1 COMPORTAMIENTO DEL ENLACE ASCENDENTE.

La relación que mide el comportamiento de este enlace es $(C/N_o)_u$ y es la relación de portadora a ruido medida en dB-Hz y viene dada por la expresión:

$$(C/N_o)_{refu} = PIRE(ET) + (G/T)_s - L_u + 228.6 \quad (9.15)$$

$$(C/T)_{\text{refu}} = \text{PIRE(ET)} - L_u + (G/T)_s \quad (9.16)$$

El valor de PIRE(ET) o potencia efectiva de radiación de la estación terrena no es un valor que podemos considerar libremente. Por el contrario su valor está limitado por la potencia de saturación del amplificador de la estación espacial. Considerando que los tubos se saturan, dada su potencia de salida limitada, el PIRE(max) de la estación terrena, será el que corresponda a la máxima potencia de entrada del sistema amplificador del satélite, esto es, su valor de potencia de saturación de entrada. Es posible operar los amplificadores en, o, cerca de saturación cuando la operación es de la modalidad portadora única por transpondedor caso en el cual no se generan productos de intermodulación. Al analizar la operación multiportadora se verá la necesidad de sacrificar potencia de salida, resultante de una reducción en el PIRE de la estación terrena para asegurar una operación del amplificador del satélite en la región lineal del tubo. Esta reducción se llama Back-off del tubo.

El parámetro determinante del nivel de saturación del amplificador del satélite se denomina ψ o "densidad de flujo de saturación" y está definida como:

$$\psi = \frac{\text{PIRE}}{4\pi D^2} \quad (9.17)$$

En dB la PIRE de la estación terrena viene dada por:

$$\text{PIRE} = \psi \frac{\text{dBw}}{\text{m}^2} + 10 \log 4\pi D^2 \quad (9.18)$$

D = distancia tierra-satélite.

Además, la expresión numérica L_u está dada por la relación entre la potencia transmitida por la estación terrena y la potencia recibida en el satélite, así:

$$L_u = \frac{P_{\text{transm.}}}{P_{\text{recib.}}} \quad (9.19)$$

$$P_r = \frac{G_t \times P_t}{4\pi D^2} \times \frac{G_r \times \lambda^2}{4\pi} = \psi \times A_{\text{eff}} \quad (9.20)$$

$$A_{\text{eff}} = \frac{G_r \times \lambda^2}{4\pi} \quad (9.21)$$

$$L_u = \frac{(4\pi)^2}{G_t \times G_r} \times \frac{D^2}{\lambda^2} \quad (9.22)$$

Combinando estas ecuaciones con (9.15), tendremos:

$$(C/N_o)_{\text{refu}} = \psi + (G/T)_s + 10 \log \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (9.23)$$

Se utiliza en forma más general la expresión $4\pi/\lambda^2$ definida como $G(1 \text{ m}^2)$ de la antena, en una frecuencia dada, puesto que:

$$\frac{4\pi}{\lambda^2} = \frac{G}{A_{\text{eff}}}$$

Entonces el comportamiento ascendente viene dado por:

$$(C/N_o)_{\text{refu}} = \psi + (G/T)_s + 228.6 - 10 \log \frac{4\pi}{\lambda^2} \quad (9.24)$$

$$(C/N)_{\text{refu}} = \psi + G/T - G(1 \text{ m}^2) - K - B(\text{dB-Hz}) \quad (9.25)$$

9.2.2 COMPORTAMIENTO DEL ENLACE DESCENDENTE.

$$(C/N_o)_{\text{refd}} = (\text{PIRE})_s + (G/T)_{\text{ET}} - L_D + 228.6 \quad (9.26)$$

$$(C/N)_{\text{refd}} = (\text{PIRE})_s + (G/T)_{\text{ET}} - L_D - K - B(\text{dB-Hz}) \quad (9.27)$$

$$(C/T)_{\text{refd}} = (PIRE)_s - L_D + (G/T)_{\text{ET}} \quad (9.28)$$

donde:

$(PIRE)_s$: potencia efectiva de radiación respecto a la isotrópica del satélite.

$(G/T)_{\text{ET}}$: ganancia respecto a la temperatura de ruido de la estación terrena receptora.

L_D : pérdida por espacio libre del trayecto descendente.

K : constante de Boltzman en dB = -228.6

9.2.3 COMPORTAMIENTO DEL ENLACE TOTAL

$$(C/N_o)_{\text{refT}}^{-1} = (C/N_o)_{\text{refu}}^{-1} + (C/N_o)_{\text{refd}}^{-1} \quad (9.29)$$

$$(C/N)_{\text{refT}}^{-1} = (C/N)_{\text{refu}}^{-1} + (C/N)_{\text{refd}}^{-1} \quad (9.30)$$

$$(C/T)_{\text{refT}}^{-1} = (C/T)_{\text{refu}}^{-1} + (C/T)_{\text{refd}}^{-1} \quad (9.31)$$

9.3 OPERACION MULTIPORTADORA.

Al compartir un ancho de banda disponible de un amplificador por varias portadoras, será necesario operar el tubo amplificador en un valor en dB por debajo del nivel de saturación con el propósito de reducir al mínimo los productos de intermodulación que generan las portadoras, dada la no linealidad de dichos amplificadores.

9.3.1 DEFINICION DE TERMINOS.

Back-off de salida (Boo) : valor en dB respecto al nivel de saturación en que se opera el tubo. El subíndice se refiere al valor en dB de la salida del tubo.

Back-off de entrada (Boi) : valor en dB respecto al nivel de saturación en que se opera el tubo. El subíndice se refiere al valor en dB de la entrada del tubo respecto al valor de entrada que lo sature.

Relación entre Boi y Boo:

$$\text{Boi} = -2 \log \left[10^{-1.2 \text{ Boo} + 6.525} + 10^{-0.5 \text{ Boo} - 2.5} \right] \quad (9.32)$$

0:

$$\begin{aligned} \text{Boo} = & 3.4143 \times 10^{-6} (\text{Boi})^5 - 1.819423 \times 10^{-4} (\text{Boi})^4 + \\ & 3.0686732 \times 10^{-3} (\text{Boi})^3 + 0.0123653636 (\text{Boi})^2 - \\ & 0.0056522108 (\text{Boi}) + 1.500373229 \end{aligned} \quad (9.33)$$

Ecuación que relaciona la relación de portadora a intermodulación $(C/N)_{IM}$ y el Boi :

$$\begin{aligned} (C/N)_{IM} = & 8.2777 + 0.526489 \text{ Boi} - 0.04931118 (\text{Boi})^2 + \\ & 0.00770044 (\text{Boi})^3 - 0.00017874 (\text{Boi})^4 \\ & 0 \leq \text{Boi} \leq 16 \text{ dB} \end{aligned} \quad (9.34)$$

Las ecuaciones dadas que relacionan Boi y Boo son simples

modelos matemáticos resultantes del ajuste a unas características de amplificador dadas. Otro tanto se puede decir de las características de intermodulación en función del B_o . Pero el comportamiento exacto resultará de las características concretas de cada caso en particular. Hay programas de computador que empleando series de Bessel simulan diferentes características de no linealidad, sin embargo no es objetivo de este trabajo su análisis.

9.3.2 CALCULO DE LA POTENCIA DE TRANSMISION DE LA ESTACION TERRESTRE.

$$P_{ETref} = \psi + 10 \log (4 \times \pi \times D^2) - G_t + LAD \quad (9.35)$$

Esto es, la potencia de transmisión de la estación terrena en antena:

$$P_{ET} = P_{ETref} - B_{oi} \quad (9.36)$$

LAD = pérdidas adicionales.

9.3.3 CALCULO DE LA POTENCIA DE TRANSMISION DEL SATELITE.

$$P_{TS} = P_T - B_{oo} - LAD \quad (9.37)$$

Donde:

P_{TS} : potencia de transmisión del satélite en antena.

P_T : potencia del tubo del satélite.

9.3.4 OPTIMIZACION DEL PUNTO DE OPERACION DEL TUBO AMPLIFICADOR.

Al reducir la potencia de salida del amplificador para mejorar el factor $(C/N_o)_{IM}$ se reducirá el $(C/N_o)_u$ y el $(C/N_o)_d$. Será entonces necesario buscar un punto óptimo de operación del $(C/N_o)_T$.

$$\text{Siendo: } (C/N_o)_T = (C/N_o)_u + (C/N_o)_d + (C/N_o)_{IM} \quad (9.38)$$

$$\text{Donde: } (C/N_o)_u = (C/N_o)_{refu} - B_{oi} - 10 \log \alpha N \quad (9.39)$$

= factor de actividad.

$$(C/N_o)_d = (C/N_o)_{refd} - B_{oo} - 10 \log \alpha N \quad (9.40)$$

N = número de portadoras.

La figura 9.1 representa lo que sucede con estos diferentes parámetros en la búsqueda del punto óptimo. Se puede ver que el parámetro dominante es: $(C/N_o)_d$.

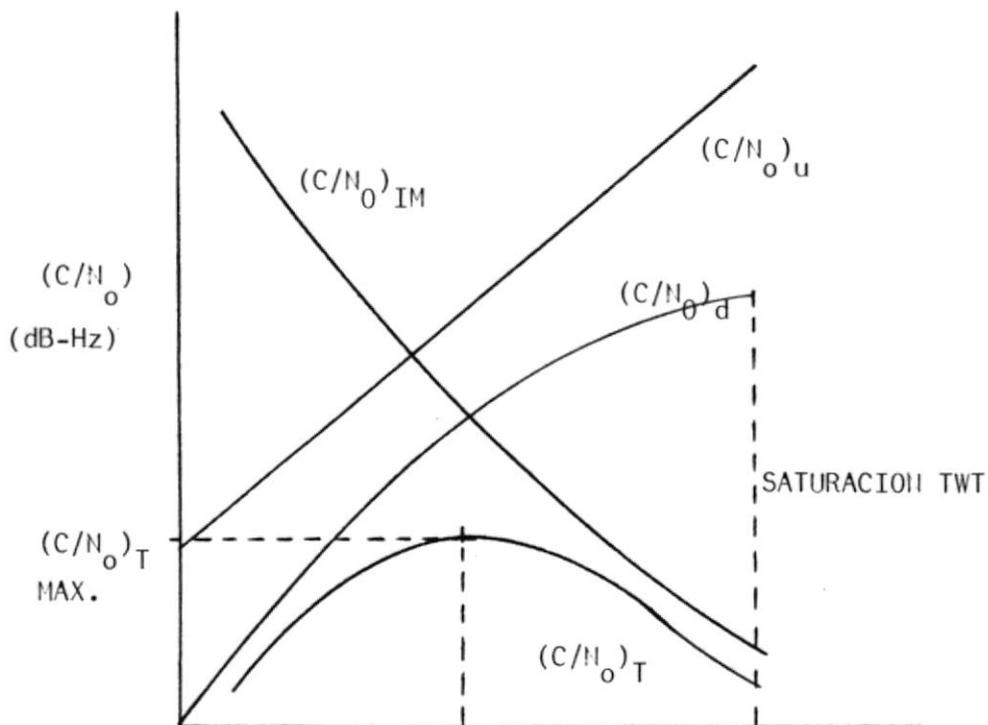


FIGURA 9.1.- PUNTO OPTIMO DE OPERACION (B_{oo}, B_{oi}) DEL TUBO TWT.

$$\text{PIRE}_{\text{ET}^*} = \psi + 10 \log 4 \pi D^2 - \text{Boi} - 10 \log \alpha N + M \quad (9.41)$$

$$\text{PIRE}_{\text{SAT}^*} = \text{PIRE}_{\text{SAT}} - \text{Boo} - 10 \log \alpha N \quad (9.42)$$

(*) = por portadora.

M = margen : 1 dB.

En el apéndice E se presenta un programa para calculadora - Hewlett Packard HP-41 para optimizar el punto de operación de un tubo amplificador.

Los valores típicos utilizados como datos de entrada para ese programa y los resultados obtenidos, se detallan a continuación:

DATOS DE ENTRADA

<u>REGISTRO</u>	<u>VARIABLE</u>	<u>VALORES SUPUESTOS</u>
0	ψ	-72.00 (dBw/m ²)
1	(G/T) _s	-2.5 (dB)
2	G(1 m ²)	37.00 (dB) (4 GHz)
3		228.6
4	Bocup por portad.	3200.00 (KHz)
7	PIRE Sat.	41.5 (dBw)
8	G/T ET.	33.7
10	L _d	196.00 (dB)
11	Boo	2.00 (dB) (Para

iniciar el proceso.

de optimización, luego

se incrementa en pasos

de 1 dB).

14

portadoras

9.00

DATOS DE SALIDA

52.05	(C/N) _{refu}	31.56	26.51
42.75	(C/N) _{refd}	15.27	19.09
2.00	Boo	7.00	12.00
3.73	Boi	11.99	17.00
9.92	(C/N) _{IM}	17.08	25.88
31.21	(C/N) _d	26.21	21.21
38.78	(C/N) _u	30.52	25.51
9.88	(C/N) _T	16.41	18.87
3.00		8.00	19.09 C/N _T
6.05		13.00	(optimo)
11.13		18.60	
30.21		25.21	
36.45		29.51	
11.06		17.46	
4.00		9.00	
8.14		14.00	
12.67		20.25	
29.21		24.21	
34.36		28.51	
12.54		18.34	
5.00		10.00	
9.75		15.00	
14.24		22.02	
28.21		23.21	
32.76		27.51	
14.01		18.92	
6.00		11.00	
10.94		16.00	
15.66		23.90	
27.21		22.21	

9.4 TRANSMISION EN LA MODALIDAD DE CANAL UNICO POR PORTADORA.

La modalidad SCPC se denomina canal único por portadora. Este sistema opera con un circuito que interrumpe la portadora cuando no hay señal de voz. Estadísticamente el factor de actividad es del 40%, esto implica que en vez de permanecer el 100% la portadora como en FM, en SCPC hay un ahorro del 60% y por tanto un incremento de canales respecto a FM.

9.4.1 CONSIDERACIONES GENERALES.

C/N objetivo : parámetro obtenido a partir de la siguiente ecuación:

$$S/N = C/N + 10 \log \frac{3B \times f_r^2}{f_m^3 - f_o^3} + D + W \quad (9.43)$$

El S/N compandido será:

$$S/N = C/N + 10 \log \frac{3B \times f_r^2}{f_m^3 - f_o^3} + D + W + 17.0 \quad (9.44)$$

8.5 dB

Donde: f_r = desviación RMS del tono de prueba.

$$f_m = 3.4 \text{ KHz.}$$

$$f_o = f_m - 3100 = 3400 - 3100 = 0.3 \text{ KHz.}$$

9.4.2 COMPORTAMIENTO POR CANAL.

Siendo N el número de canales y α el factor de actividad:

$$(C/N_o)_d = (C/N_o)_{refd} - B_{oo} - 10 \log \alpha N \quad (9.45)$$

$$(C/N_o)_u = (C/N_o)_{refu} - B_{oi} - 10 \log \alpha N \quad (9.46)$$

$$(C/N_o)_{T \text{ POR CANAL}}^{-1} = (C/N_o)_{U \text{ POR CANAL}}^{-1} + (C/N_o)_{d \text{ POR CANAL}}^{-1} + (C/N_o)_{I \text{ M POR CANAL}}^{-1} \quad (9.47)$$

En el apéndice F se presenta un programa de calculadora para determinar el comportamiento de canal único por portadora.

A continuación se detallan valores típicos usados como entradas para dicho programa y los resultados obtenidos:

DATOS DE ENTRADA

<u>REGISTRO</u>	<u>VARIABLE</u>	<u>VALORES SUPUESTOS</u>
0	PIRE ET/canal (dBw)	60.08 dBw.
1	L_u (dB)	199.65 dB.
2	G (1 m ²) (dB)	37 dB (4 GHz).
3	total SAT. (dBw/m ²)	- 66.5 dBw/m ²
4	PIRE total SAT (dBw)	26 dBw (tpdr hemisfe)
6	G/T ET (dB0)	28.74 dB.
7	VG desc. (dB)	0 dB.
9	G/T SAT (dB)	-11.6 dB
10	VG asc. (dB)	0 dB.
11	L_d (dB)	196.21 dB.
13	Intermod/4 KHz (dB)	-37.88 dB/4 KHz (considera una mejora de 5 dB)
14	Bocup RF/canal (KHz)	19.0 KHz.
19	f_{rms} /canal (KHz)	3.43 KHz.

DATOS DE SALIDA

60.08	PIRE ET/canal (dBw)
199.65	L_u (dB)
-4.07	PIRE SAT/canal (dBw)
196.21	L_d (dB)

-171.54	$(C/T)_d$	(dB)
-151.17	$(C/T)_u$	(dB)
-158.77	$(C/T)_{IM}$	(dB)
-171.80	$(C/T)_T$	(dB)
14.01	(C/N) obtenido	(dB)
51.83	(S/N) obtenido	(dB)

9.5 PARAMETROS GEOMETRICOS.

Las coordenadas geográficas de una estación terrena y la longitud de la posición orbital de un satélite permiten determinar la distancia (D) del enlace entre la superficie terrestre y el satélite. Conocida esta distancia y las frecuencias del enlace ascendente y descendente, se puede determinar la atenuación por espacio libre, esto es, entre la antena de transmisión de la estación terrena y la antena de recepción del satélite, para el enlace ascendente y la atenuación entre la antena de transmisión del satélite y la antena de recepción de la estación terrena para el enlace descendente.

También se puede determinar el Azimut (Az) y la elevación (El) de una antena enfocada hacia un satélite localizado en una posición orbital dada. Esta sección describe las ecuaciones básicas y su utilización en un programa de calculadora que figura en el apéndice G sin entrar en los complejos detalles geométricos del asunto.

9.5.1 CALCULO DEL AZIMUT, ELEVACION Y DISTANCIA DE UNA ANTENA RES

PECTO A UN SATELITE.

$$Az = \tan^{-1} \left| \frac{\tan \lambda}{\text{Sen } \phi} \right| \quad (9.48)$$

λ = longitud estación terrena - longitud satélite

ϕ = latitud estación terrena.

El programa del apéndice G hace las transformaciones respectivas del valor absoluto de (Az) obtenido para que tenga un significado correcto siguiendo la siguiente regla:

<u>ϕ</u>	<u>λ</u>	<u>TRANSFORMACION</u>
POS.	POS.	$180^\circ - Az$
POS.	NEG.	$180^\circ + Az$
NEG.	NEG.	$360^\circ - Az$
NEG.	POS.	Az

$$El = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Cos } \beta - 0.1512695604}{\text{Sen } \beta} \right) \quad (9.49)$$

$$\text{Donde: } \text{Cos } \beta = \text{Cos } \phi \times \text{Cos } \lambda \quad (9.50)$$

$$D = 35786.04 \sqrt{1 + 0.419992934(1 - \text{Cos } \beta)} \quad (9.51)$$

9.5.2 CALCULO DE ATENUACION POR ESPACIO LIBRE.

$$\text{Por definición: } A = P_t / P_r \quad (9.52)$$

$$P_r = \frac{P_t}{4\pi D^2} \times A_{\text{eff}} : \text{densidad de flujo} \times \text{area efectiva} \quad (9.53)$$

$$\frac{A_{\text{eff}}}{G} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (9.54)$$

Ecuación fundamental de antenas que determina la ganancia por m² de una antena.

Por definición: $\lambda = \frac{C}{F}$

Considerando $G = 1$ para una antena isotrópica, pues se quiere determinar estrictamente la ganancia por espacio libre se tendrá:

$$A = \left(\frac{4\pi}{C} \right)^2 \times D^2 \times F^2$$

Donde:

C : velocidad de la luz.

F : frecuencia del enlace.

λ : longitud de onda del enlace.

A_{eff} : area efectiva de la antena receptora.

G : ganancia de la antena receptora respecto a una antena isotrópica.

D : distancia del enlace.

P_t : potencia de transmisión.

P_r : potencia de recepción.

A_{dB} : $32.5 + 20 \log D_{\text{Km}} + 20 \log F_{\text{MHz}}$

A continuación se detallan los valores típicos utilizados como datos de entrada para el programa descrito en el apéndice G y los resultados obtenidos:

DATOS DE ENTRADA

A manera de ejemplo se hacen los calculos de Azimut y Elevación con respecto a la antena de la estación terrena del valle de Los Chillos. Con respecto a la latitud se considera al Norte positivo y con respecto a la longitud al Oeste

<u>REGISTRO</u>	<u>VARIABLE</u>	<u>VALORES</u>
1	LAT. (ET): 0°16'11"S.	-0.1611
2	LON. (ET): 78°28'11"O.	78.2811
3	LON. (S) : 79°	79.0000

DATOS DE SALIDA

-0.1611	Latitud (ET)
78.1611	Longitud (ET)
79.0000	Longitud (S)
296.9591	Azimut (decimal)
296.5733	Azimut = 296°57'33"
89.2990	Elevación (decimal)
89.1757	Elevación = 89°17'57"

CAPITULO X

COSTO APROXIMADO DEL PROYECTO ECUASAT

En un sistema de telecomunicaciones por satélite, los principales elementos de costo son los siguientes:

- SATELITE:
 - El satélite propiamente dicho.
 - Equipos.
 - Costos de lanzamiento.
 - Costos en órbita.
 - TT&C.
 - Operaciones y mantenimiento.

- ESTACIONES TERRENAS:
 - Antenas.
 - Equipo RF:
 - Equipo de modulación.
 - Amplificadores.
 - Equipos terminales.
 - Potencia:
 - Fuente de potencia ininterrumpible.
 - Generadores.
 - Combustible.
 - Protecciones:
 - Protección de los equipos.
 - Control de los contornos.
 - Seguridad.

- Obras civiles:
 - Construcciones.
 - Ductos para cables.
 - Cercamientos.
- Pruebas:
 - Equipo de prueba.
 - Alarmas y monitoreo.
- Elemento humano:
 - Diseños.
 - Contrataciones.
 - Coordinación.
 - Instalaciones.
 - Pruebas.
 - Programaciones.
- OPERACIONES Y MANTENIMIENTO:
 - Reparaciones y reemplazo de partes.
 - Labores:
 - De campo.
 - Administrativas.
 - Servicios a los usuarios.
 - Logísticas:
 - Control e inventarios.
 - Reparaciones.
 - Impuestos.

Una vez instalado el sistema satelital, los costos anuales a considerarse son los siguientes:

- CAPITAL:
 - Depreciación.
 - Retribución en inversiones.
- GASTOS:
 - Operación y mantenimiento.
 - Generales y administrativos.
 - Impuestos.

A continuación se detallan los precios, fabricantes y distribuidores de los principales elementos de un sistema satelital: (U.S. Dólares):

- SATELITES.

Un satélite doméstico típico cuesta alrededor de 200 millones de dólares ya equipado. Los principales fabricantes y vendedores son:

- Hughes:
 - INTELSAT I, II, IV y IV A.
 - WESTAR.
 - COMSTAR.
 - SBS.
 - ANIK A, B y C.
 - MARISAT.
- TRW:
 - INTELSAT III.
 - ADVANCED WESTAR.
- Ford Aerospace: INTELSAT V.
- RCA:
 - SATCOM I, II.
- GE:
 - Japanese Direct Broadcast Sat.

- COSTOS DE LANZAMIENTO.

Casi todos los satélites del mundo comercial libre han sido lanzados del Centro Espacial Kennedy, Florida, EEUU. Los tipos de cohetes

más usados para el lanzamiento y el costo de lanzamiento son:

- THOR - DELTA 2,6 millones de dólares.
- Atlas - Centaur 4,0 millones de dólares.
- TITAN III

Además, se han lanzado satélites utilizando cohetes de la serie - ARIANE de la EUROPEAN SPACE AGENCY DEVELOPMENT los cuales son de la clase ATLAS - CENTAUR, estando su sitio de lanzamiento ubicado en - Kouru, Guayana Francesa.

En la actualidad otra alternativa es el sistema de transportación - de la NASA (Transbordador Espacial) que tiene la ventaja de poder - llevar más satélites y más grandes, además de ser reusable con lo - cual se reducen los costos de lanzamiento. Sus contratistas son:

- HUGHES.
- Ford Aerospace.
- GE.
- Rockwell.
- TRW.

La NASA ha desarrollado la siguiente fórmula para determinar los - costos de lanzamiento según el peso o longitud del satélite (carga - útil):

$$\text{DSS} \times \frac{4}{3} \times \frac{\text{Peso de la carga útil}}{65.000 \text{ libras}}$$

$$\text{o} \quad \text{DSS} \times \frac{4}{3} \times \frac{\text{Longitud de la carga útil}}{60 \text{ pies}}$$

Donde DSS son los costos dedicados a la lanzadera espacial (aproximadamente 200 millones de dólares).

- ESTACIONES TERRENAS.

Como un ejemplo de los costos de una estación terrena equipada, podemos anotar que una estación terrena típica de INTELSAT cuesta:

- Tipo A: 5 - 7 millones de dólares.
- Tipo B: 1 - 3 millones de dólares.

A continuación se detallan los precios, fabricantes y distribuidores de los principales equipos y elementos que conforman una estación terrena:

- ANTENAS.

TAMAÑO	GANANCIA	COSTOS
10 m	51 dB	45 mil dólares
8 m	48,5 dB	25 mil dólares
6 m	46,5 dB	14 mil dólares
4,5 m	44 dB	7 mil dólares

Sus principales distribuidores son:

- ANDREWS
 - COMTECH
 - FORD AERONAUTICS
 - HARRIS
 - ITT - SPACE COM.
 - NEC
 - RF SYSTEMS
 - ROCKWELL COLLINS
 - E - SYSTEMS
 - GENERAL ELECTRIC
 - HUGHES
 - MICRODYNE
 - PRODELIN
 - SCIENTIFIC ATLANTA
- RECEPTORES.

Su costo depende del tipo de receptor, así por ejemplo para receptores de TV:

- Fijos: 3000 dólares Capaz de recibir la señal de un transpond.
- Variables (Tuned): 6000 dólares. Todos los transpondedores.

Sus principales fabricantes son:

- AVANTI
 - COLLINS/ROCKWELL
 - GTE
 - NEC
 - CALIF. MICROWAVE
 - COMTECH
 - MICROWAVE ASSOC.
 - SCIENTIFIC AT.
- AMPLIFICADORES DE ALTA POTENCIA (HPA).

POTENCIA	TIPO	COSTO
40 w	TWT	20.000 dólares
400 w	TWT	30.000 dólares
3.000 w	KLYSTRON (45 MHz)	35.000 dólares

Sus principales fabricantes son:

- AYDIN
 - COMTECH
 - VARIAN
 - HUGHES
 - NEC
- AMPLIFICADORES DE BAJO RUIDO (LNA).

La calidad de estos amplificadores se determina por la temperatura de ruido:

<u>TIPO</u>	<u>COSTO</u> (dólares)
- AMPLIFICADORES ENFRIADO PARAMETRICO (30°K)	50000 - 100000
- AMPLIFICADORES SIN ENFRIADO PARAMETRICO (90°K)	15000 - 30000
- GaAs FET AMP. (95 - 155°K):	
75°K	10.000
100°K	3.200
125°K	2.000
170°K	1.700

260°K

1.500

Los fabricantes de estos equipos son:

- AVANTEC
- COMTECH
- NEC
- HUGHES
- LNR COM.
- WATKINS - JOHNSON

- EQUIPOS DE MODULACION.

- CONVERTIDORES ASCENDENTES (UP - CONVERTERS):

Su costo varía según su aplicación entre 5.000 y 100.000 dólares.

Sus principales fabricantes son:

- AVANTI
- COLLINS/ROCKWELL
- COMTECH
- FARINON
- FORD AEROSPACE
- ITT SPACE COM.
- NEC
- SCIENTIFIC ATLANTA

- CONVERTIDORES DESCENDENTES (DOWN - CONVERTERS):

Vienen combinados con los convertidores ascendentes o con los receptores.

- LINEA DE TRANSMISION DEL RECEPTOR.

Instalada entre el LNA y el down-converter; es un cable coaxial de transmisión de 7/8"; en 4 GHz presenta pérdidas de 2,8 dB/100 pies; su costo es de 5 dólares por pie más 200 dólares por cada conector terminal. Sus principales distribuidores son:

- ANDREWS
- PRODELIN
- GABRIEL

- GUIA DE ONDA.

Ubicada entre el HPA y la antena. Sus dimensiones dependen de la -

frecuencia; así por ejemplo, en 6 GHz la guía de onda presenta las siguientes características:

2,25 x 1,35 pulgadas

6,2 libras/pie

1,2 dB/100 pies

10 dólares por pie

170 dólares/conductor terminal

Sus fabricantes: - ANDREWS

- PRODELIN

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del presente trabajo se puede llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

1. La órbita geostacionaria por sus características físicas exclusivas, es un recurso natural valioso y limitado de los estados - ecuatoriales.
2. Se prevé que la demanda de canales de comunicaciones por satélite aumentará rápidamente, y que quizá en el futuro inmediato se duplique cada 4 años.
3. A medida que aumente la demanda, se hará más compleja la labor - de coordinar la utilización de los satélites de comunicaciones, y considerando que la mayoría de los satélites de comunicaciones están actualmente en órbita geostacionaria, se puede prever un congestionamiento de dicha órbita.
4. Podrían surgir conflictos en un plazo breve, especialmente en de terminadas porciones de la órbita y en las frecuencias más utili zadas (6/4 GHz).
5. Naturalmente las nuevas redes de satélites seguirán encontrando espacio en la órbita mediante las coordinaciones bilaterales - mientras la congestión no sea grave, pero es evidente que tarde o temprano esta situación cambiará.
6. Se han hecho otras asignaciones en varias frecuencias hasta 241 GHz, pero en la actualidad no existen planes para utilizar estas frecuencias debido a los problemas tecnológicos y a la atenua - ción atmosférica.

7. Han comenzado a formularse solicitudes concurrentes para ocupar determinadas posiciones, a saber, las que utilizan las bandas de frecuencias más convenientes y esta situación se dará más a menudo en el futuro.
8. Es posible que los futuros sistemas que deseen tener acceso a la órbita, especialmente en los arcos congestionados, tengan que utilizar una tecnología más avanzada y probablemente más costosa.
9. Las cargas derivadas de estas consideraciones afectarán en mayor medida a los países en desarrollo, tanto porque sus recursos son limitados como porque ingresarán en la órbita más tarde.
10. La tecnología avanzada que se está desarrollando y utilizando voluntariamente se irá convirtiendo en obligatoria progresivamente.
11. INTELSAT, con el objeto de utilizar más eficientemente la potencia de sus satélites y de lograr mayor flexibilidad en la asignación de capacidad de satélite, ha programado la introducción de la técnica TDMA/DSI en su sistema a partir de 1983 y ha solicitado al Ecuador que entre en esa técnica en 1990 y la creación lo antes posible de una segunda antena de tráfico internacional.
12. Por razones de seguridad nacional y de acuerdo a las estadísticas de tráfico internacional telefónico, télex, etc., tal antena deberá ubicarse en Guayaquil.
13. Los equipos a instalarse para esta antena y para las nuevas estaciones que se creen deberán ser de la técnica TDMA/DSI.

14. El Ecuador debe considerar la instalación de un sistema doméstico de comunicaciones por satélite para satisfacer las necesidades de servicios públicos de telecomunicaciones y poder brindar un servicio eficiente a todo el territorio nacional.
15. Una etapa intermedia a mediano plazo para lograr el objetivo anterior es el alquiler de canales telefónicos o un transpondedor satelital de INTELSAT, con la instalación de las estaciones terrenas domésticas principales y secundarias en el país.
16. Otra alternativa podría ser la elaboración de un proyecto para un sistema de comunicaciones utilizando satélites geoestacionarios con la participación conjunta de los países ecuatoriales: Brasil, Colombia y Ecuador.
17. La Asociación de Empresas Estatales de Telecomunicaciones del Acuerdo Subregional Andino (ASETA) ha presentado ya un proyecto en ese sentido pero para cubrir los países de la subregión: Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia (Proyecto Cóndor). Sin embargo debido al hecho de que este proyecto ha seleccionado posiciones orbitales en los segmentos correspondientes al Ecuador, se dificulta la aceptación del mismo por parte de nuestro país, más aún por la inclusión del Perú con quien se mantienen problemas limítrofes no solucionados hasta la fecha.
18. A largo plazo el Ecuador debe considerar la instalación de un satélite geoestacionario propio.
19. El segmento terrestre descrito en este trabajo podría utilizarse con cualquiera de estas alternativas, incluso sería el mismo para los proyectos intermedios y para los de largo plazo. También

podría ser útil para el sistema de microondas existente en el -
país.

A P E N D I C E S

APENDICE A

SATELITES GEOESTACIONARIOS PUESTOS EN ORBITA

Designación.	Nombre	Pais u Organ.	Fecha de lanzam.	Longitud	Ser-vicio	Banda Principal de frec.
1963-004A	SYNCOM 1	EEUU	14 Feb.	Deriva	Com.	Inactivo
031A	SYNCOM 2	EEUU	26 Jul.	Deriva	Com.	Inactivo
1964-047A	SYNCOM 3	EEUU	19 Ago.	Deriva	Com.	Inactivo
1965-028A	EARLY BIRD	EEUU	6 Abr.	Deriva	Com.	Inactivo
1966-110A	ATS 1	EEUU	7 Dic.	149°0.	POLI.	POLI.
1967-001A	INTELSAT II F2	INT.	11 Ene.	Deriva	Com.	Inactivo
026A	INTELSAT II F3	INT.	22 Mar.	Deriva	Com.	Inactivo
094A	INTELSAT II F4	INT.	28 Sep.	Deriva	Com.	Inactivo
111A	ATS 3	EEUU	5 Nov.	105°0.	POLI.	POLI.
1968-063A	BMEWS 1	EEUU	6 Ago.	Deriva	Recon.	Inactivo
081C	ERS 21	EEUU	26 Sep.	Deriva	Inv.	Inactivo
081D	LES 6	EEUU	26 Sep.	85°0.	Mov.	Inactivo
116A	INTELSAT III F2	INT.	19 Dic.	Elimin.	Com.	Inactivo
1969-011A	INTELSAT III F3	INT.	6 Feb.	Deriva	Com.	Inactivo
013A	TACSAT 1	EEUU	9 Feb.	Deriva	Mov.	Inactivo
036A	BMEWS 2	EEUU	13 Abr.	Deriva	Recon.	Inactivo
045A	INTELSAT III F4	INT.	22 May.	Elimin.	Com.	Inactivo
069A	ATS 5	EEUU	12 Ago.	70°0.	POLI.	POLI.
101A	SKYNET A	R.U.	22 Nov.	Deriva	Com.	Inactivo
1970-003A	INTELSAT III F6	INT.	15 Ene.	Elimin.	Com.	Inactivo
021A	NATO 1	OTAN	20 Mar.	Deriva	Com.	Inactivo
032A	INTELSAT III F7	INT.	23 Abr.	Deriva	Com.	Inactivo
046A	BMEWS 3	EEUU	19 Jun.	Deriva	Recon.	Inactivo
069A	BMEWS 4	EEUU	1 Sep.	Deriva	Recon.	Inactivo
1971-006A	INTELSAT IV F2	INT.	26 Ene.	3°0.	Com.	6/4 GHz.
009A	NATO 2	OTAN	3 Feb.	Deriva	Com.	Inactivo

Designación.	Nombre	Pais u Organ.	Fecha de Lanzam.	Longitud	Ser-vicio	Banda principal de frec.
1971-039A	IMEWS-2	EEUU	5 May.	Deriva	Recon.	Inactivo
095A	DSCS 1	EEUU	3 Nov.	Deriva	Com.	Inactivo
095B	DSCS 2	EEUU	3 Nov.	Deriva	Com.	Inactivo
116A	INTELSAT IV F3	INT.	20 Dic.	21°0.	Com.	6/4 GHz.
1972-003A	INTELSAT IV F4	INT.	23 Ene.	179°E.	Com.	6/4 GHz.
010A	IMEWS 3	EEUU	1º Mar.	Deriva	Recon.	Inactivo
041A	INTELSAT IV F5	INT.	13 Jun.	57°E.	Com.	6/4 GHz.
090A	ANIK 1	CAN.	10 Nov.	104°0.	Com.	6/4 GHz.
101A	BMEWS 6	EEUU	20 Dic.	Deriva	Recon.	Inactivo
1973-013A	BMEWS	EEUU	6 Mar.	Deriva	Recon.	Inactivo
023A	ANIK 2	CAN.	20 Abr.	106,5°0.	Com.	6/4 GHz.
040A	BMEWS	EEUU	12 Jun.	Deriva	Recon.	Inactivo
058A	INTELSAT IV F7	INT.	23 Ago.	56°E.	Com.	6/4 GHz.
100A	DSCS 3	EEUU	13 Dic.	Deriva	Com.	Inactivo
100B	DSCS 4	EEUU	13 Dic.	54°E.	Com.	8/7 GHz.
1974-017A	COSMOS 637	URSS	26 Mar.	Deriva		Inactivo
022A	WESTAR 1	EEUU	13 Abr.	99°0.	Com.	6/4 GHz.
033A	SMS 1	EEUU	17 May.	113°0.	Met.	468 MHz.
039A	ATS 6	EEUU	30 May.	140°0.	POLI.	POLI.
060A	MOLNYA 1S	URSS	29 Jul.	Deriva	Com.	Inactivo
075A	WESTAR 2	EEUU	10 Oct.	123,5°0.	Com.	6/4 GHz.
093A	INTELSAT IV F8	INT.	21 Nov.	174°E.	Com.	6/4 GHz.
094A	SKYNET 2B	R.U.	23 Nov.	Deriva	Com.	Inactivo
101A	SYMPHONIE 1	RFA	19 Dic.	49°E.	Com.	6/4 GHz.
1975-011A	SMS 2	EEUU	6 Feb.	75°0	Met.	468 MHz.
038A	ANIK 3	CAN.	7 May.	114°0.	Com.	6/4 GHz.
042A	INTELSAT IV F1	INT.	22 May.	19°0.	Com.	6/4 GHz.
055A	BMEWS	EEUU	18 Jun.	Deriva	Recon.	Inactivo
077A	SYMPHONIE 2	RFA	27 Ago.	11,5°0.	Com.	6/4 GHz.
091A	INTELSAT IV A F1	INT.	26 Sep.	25°0.	Com.	6/4 GHz.
097A	COSMOS 77S	URSS	8 Oct.	44°E.		Inactivo

Designación.	Nombre	País u Organ.	Fecha de lanzam.	Longitud	Ser-vicio.	Banda principal de frec.
1975-100A	GOES 1	EEUU	16 Oct.	90°0.	Met.	468 MHz.
117A	RCA SATCOM 1	EEUU	13 Dic.	135°0.	Com.	6/4 GHz.
118A		EEUU	14 Dic.	Deriva	Com.	Inactivo
123A	RADUGA 1	URSS	22 Dic.	Deriva	Com.	Inactivo
1976-004A	CTS 1	CAN	17 Ene.	142°0.	Com.	Inactivo
010A	INTELSAT IVA F2	INT	29 Ene.	27,5°0.	Com.	6/4 GHz.
017A	MARISAT 1	EEUU	19 Feb.	15°0.	Mar.	1.6/1.5 G.
023A	LES 8	EEUU	15 Mar.	110°0.	Com.	8/7 GHz.
023B	LES 9	EEUU	15 Mar.	100°0.	Com.	8/7 GHz.
029A	RCA SATCOM 2	EEUU	26 Mar.	119°0.	Com.	6/4 GHz.
035A	NATO 3A	OTAN	22 Abr.	18°0.	Com.	8/7 GHz.
042A	COMSTAR 1	EEUU	13 May.	128°0.	Com.	6/4 GHz.
050A		EEUU	2 Jun.	Deriva		Inactivo
053A	MARISAT 2	EEUU	10 Jun.	176,5°E	Mar.	1.6/1.5 G.
066A	PALAPA 1	INDO	8 Jul.	83°E.	Com.	6/4 GHz.
073A	COMSTAR 2	EEUU	22 Jul.	95°0.	Com.	6/4 GHz.
092A	RADUGA 2	URSS	11 Sep.	85°E.	Com.	6/4 GHz.
101A	MARISAT 3	EEUU	14 Oct.	73°E.	Mar.	1.6/1.5 G.
107A	EKRAN 1	URSS	26 Oct.	99°E.	RDF.	6/0.7 GHz.
1977-005A	NATO 3B	OTAN	28 Ene.	135°0.	Com.	8/7 GHz.
014A	ETS 2 (KIKU-2)	JAP	23 Feb.	130°E.	Com.	2.1/1.7 G.
018A	PALAPA 2	INDO	10 Mar.	77°E.	Com.	6/4 GHz.
034A	DSCS II 7	EEUU	12 May.	13°0.	Com.	8/7 GHz.
034B	DSCS II 8	EEUU	12 May.	175°E.	Com.	8/7 GHz.
038A		EEUU	23 May.	Deriva	Recon.	Inactivo
041A	INTELSAT IVA F4	INT	26 May.	195°0.	Com.	6/4 GHz.
048A	GOES 2	EEUU	16 Jun.	105°0.	Met.	1,7 GHz.
065A	GMS 1	JAP	14 Jul.	140°E.	Met.	1,7 GHz.
071A	RADUGA 3	URSS	24 Jul.	35°E.	Com.	6/4 GHz.
080A	SIRIO	ITAL	25 Ago.	15°0.	Com.	18/12 GHz.
092A	EKRAN 2	URSS	20 Sep.	99°E.	RDF.	6/0.7 GHz.

Designación.	Nombre	País u Organ.	Fecha de lanzam.	Longitud	Ser-vicio.	Banda principal de frec.
1977-108A	METEOSAT 1	ESA.	23 Nov.	0°E.	Met.	1,7 GHz.
118A	CS SAKURA 1	JAP.	15 Dic.	135°E	Com.	6/4 GHz
1978-002A	INTELSAT IVA F3	INT.	7 Ene.	60°E.	Com.	6/4 GHz
012A	IUE 1	INT.	26 Ene.	71°0.	Inv.	2,2 GHz
016A	FLTSATCOM 1	EEUU	9 Feb.	100°0.	Mar.	240 GHz
035A	INTELSAT IVA F6	INT.	31 Mar.	63°E.	Com.	6/4 GHz
039A	BSE YURI	JAP.	7 Abr.	110°E.	RDF.	14/11 GHz
044A	OTS 2	ESA.	11 May.	10°E.	Com.	14/11 GHz
058A		EEUU	10 Jun.	Deriva	Recon.	Inactivo
062A	GOES 3	EEUU	16 Jun.	135°0.	Met.	1,7 GHz
068A	COMSTAR 3	EEUU	29 Jun.	87°0.	Com.	6/4 GHz
071A	GEOS 2	ESA.	14 Jul.	0-29°E.	Inv.	2,2 GHz
073A	RADUGA 4	URSS	19 Jul.	35°E.	Com.	6/4 GHz
106A	NATO 3C	OTAN	19 Nov.	50°0.	Com.	8/7 GHz
113A	DSCS II 9	EEUU	13 Dic.	130°0.	Com.	8/7 GHz
113B	DSCS II 10	EEUU	13 Dic.	175°E.	Com.	8/7 GHz
116A	ANIK B1	CAN.	16 Dic.	109°0.	Com.	6/4 GHz
118A	GORIZONT 1	URSS	19 Dic.	13,5°0.	Com.	6/4 GHz
1979-015A	EKRAN 3	URSS	21 Feb.	53°E.	RDF.	6/0,7 GHz
035A	RADUGA 4	URSS	25 Abr.	35°E.	Com.	6/4 GHz
038A	FLTSATCOM 2	EEUU	4 May.	75°E.	Mar.	240 MHz
053A		EEUU	10 Jun.	Deriva	Recon.	Inactivo
062A	GORIZONT 2	URSS	5 Jul.	13,5°0.	Com.	6/4 GHz
072A	WESTAR 3	EEUU	10 Ago.	91°0.	Com.	6/4 GHz
086A		EEUU	1 ^o Oct.		Recon.	
087A	EKRAN 4	URSS	3 Oct.	53°E.	RDF.	6/0,7 GHz
098A	DSCS II 13	EEUU	21 Nov.	175°E.	Com.	8/7 GHz
098B	DSCS II 14	EEUU	7 Dic.	135°0.	Com.	8/7 GHz
101A	RCA SATCOM 3	EEUU	28 Dic.	Deriva	Com.	Inactivo
105A	GORIZONT 3	URSS		53°E.	Com.	6/4 GHz

Designación.	Nombre	País u Organ.	Fecha de lanzam.	Longitud.	Servicio.	Banda princip. de frec.
1980-004A	FLTSATCOM 3	EEUU	18 Ene.	23°0.	Mar.	240 MHz.
016A	RADUGA 5	URSS	20 Feb.	80°E.	Com.	6/4 GHz.
049A	GORIZONT 4	URSS	14 Jun.		Com.	6/4 GHz.
060A	EKRAN 5	URSS	15 Jul.		RDF.	6/0,7 G.
	GOES 4	EEUU	9 Sep.	95°0.	Met.	1,7 GHz.
	FLTSATCOM 4	EEUU	30 Oct.	172°E.	Mar.	240 MHz.
	SBS 1	EEUU	15 Nov.	122°0.	Com.	14/11 G.
	INTELSAT V	INT.	6 Dic.	24,5°0.	Com.	6/4 y 14/11 G.

APENDICE B

PAISES MIEMBROS DE INTELSAT

AUSTRIA	ESPAÑA
AFGANISTAN	ESTADOS UNIDOS
ALEMANIA, REP. FED. DE	ETIOPIA
ALTO VOLTA	FIJI
ANGOLA	FILIPINAS
ARABIA SAUDITA	FINLANDIA
ARGELIA	FRANCIA
ARGENTINA	GABON
AUSTRALIA	GHANA
BANGLADESH	GRECIA
BARBADOS	GUATEMALA
BELGICA	HAITI
BOLIVIA	INDONESIA
BRASIL	INDIA
CAMERUN	IRAN
CANADA	IRAK
COLOMBIA	IRLANDA
CONGO	ISLANDIA
COREA, REP. DE	ISRAEL
COSTA DE MARFIL	ITALIA
COSTA RICA	JAMAICA
CHAD	JAPON
CHILE	JORDANIA
CHINA, REP. POPULAR DE	KENYA
CHIPRE	KUWAIT
DINAMARCA	LIBANO
ECUADOR	LIBIA
EGIPTO	LIECHTENSTEIN
EL SALVADOR	LUXEMBURGO
EMIRATOS ARABES UNIDOS	MADAGASCAR

MALASIA
MALI
MARRUECOS
MAURITANIA
MEXICO
MONACO
NICARAGUA
NIGERIA
NORUEGA
NUEVA ZELANDIA
OMAN
PORTUGAL
PAISES BAJOS
PAKISTAN
PANAMA
PARAGUAY
PERU
QATAR
REINO UNIDO
REPUBLICA CENTROAFRICANA
REPUBLICA DOMINICANA
SENEGAL
SINGAPUR
SIRIA
SRI LANKA
SUDAFRICA
SUDAN
SUECIA
SUIZA
TAILANDIA
TANZANIA
TRINIDAD Y TOBAGO
TUNEZ
TURQUIA
UGANDA
VATICANO, ESTADO DE LA CIUDAD DEL
VENEZUELA
VIETNAM
YEMEN, REP. ARABE DEL
YUGOESLAVIA
ZAIRE
ZAMBIA

APENDICE C

ASPECTOS MAS IMPORTANTES DE LOS ARTICULOS DEL REGLAMENTO DE RADIOCOMUNICACIONES MENCIONADOS EN EL CAPITULO V.

APENDICE 4.

Información que ha de facilitarse para la publicación anticipada relativa a una red de satélite.

A. Instrucciones generales.

Entre los datos que han de facilitarse para cada red de satélite deberán figurar las características generales, y según el caso, - las características para el sentido "Tierra-espacio", las características para el sentido "espacio-Tierra" y las características - para los enlaces espacio-espacio. Además, la Administración o una Administración que actúe en nombre de un grupo de Administraciones designadas, que presenten la información para la publicación anticipada, puede facilitar como información complementaria, datos para los cálculos de interferencia destinados a la coordinación entre redes.

B. Características generales que han de facilitarse para una red de satélite.

- Identidad de la red de satélite.
- Fecha de puesta en servicio.
- Administración o grupo de Administraciones que facilitan la información para la publicación anticipada.

Si la red de satélite está unida a otra u otras redes de satélite por medio de enlaces "Espacio-Tierra", indíquense:

- La identidad de la red o redes de satélite a la que está conectada la red de satélite considerada.
- Las bandas de frecuencia de transmisión y recepción.
- Las clases de emisión.
- Las potencias isotropas radiadas equivalentes (PIRE) nominales en el eje de los haces de antena.

APENDICE 29.

Método de cálculo para determinar si se requiere la coordinación entre redes de satélite geoestacionario que comparten las mismas bandas de frecuencia.

Introducción.

El método de cálculo para determinar si se requiere la coordinación entre redes de satélite geoestacionario se basa en el principio de que la temperatura de ruido de un sistema interferido aumenta con el nivel de la emisión interferente. Por consiguiente, este método puede aplicarse con independencia de las características de modulación de las redes de satélite y de las frecuencias específicas utilizadas. Con este método, se calcula para un enlace por satélite dado el incremento aparente de la temperatura de ruido equivalente resultante de la emisión interferente procedente de un sistema dado y se compara la relación, expresada como porcentaje, entre este incremento y la temperatura de ruido equivalente del enlace por satélite con un

- Información relativa a la órbita de la(s) estación(es) espacial (es).
- C. Características de la red de satélite para el sentido "Tierra-espacio".
- Zona(s) de servicio "Tierra-espacio".
 - Clase de las estaciones y naturaleza del servicio.
 - Gama de frecuencias.
 - Características de potencia de la onda emitida.
 - Características de las antenas receptoras de la estación espacial.
 - Temperatura de ruido de la estación espacial de recepción.
 - Anchura de banda necesaria.
 - Características de modulación.
- D. Características de la red de satélite para el sentido "espacio-Tierra".
- Zona(s) de servicio "espacio-Tierra".
 - Clase de las estaciones y naturaleza del servicio.
 - Gama de frecuencias.
 - Características de potencia de la emisión.
 - Características de las antenas transmisoras de la estación espacial.
 - Características de recepción de las antenas terrenas.
 - Anchura de banda necesaria.
 - Características de modulación.
- E. Características que deben facilitarse para los enlaces espacio-espacio.

valor umbral.

Cálculo de incremento aparente de la temperatura de ruido equivalente del enlace por satélite que sufre una emisión interferente.

Se consideran 2 casos posibles:

- I. Red útil e interferente que comparten una o más bandas de frecuencia cada una en el mismo sentido de transmisión.
- II. Red útil e interferente que comparten una o más bandas de frecuencia cada una en sentidos opuestos de transmisión (utilización bidireccional).

Estos 2 casos son aplicables a todas las posiciones relativas de los satélites desde los próximos a los casi antipodales.

NUMERALES MENCIONADOS EN EL CAPITULO V.

1059 Solicitud de coordinación.

1060 Antes de que una Administración notifique a la Junta o ponga en servicio una asignación de frecuencia a una estación espacial instalada a bordo de un satélite geostacionario, o a una estación terrena que deba comunicarse con dicha estación espacial, coordinará, salvo en los casos descritos en los números 1066 a 1071, la utilización de esa asignación de frecuencia con cualquier otra Administración a cuyo nombre exista una asignación de frecuencia, referente a una estación espacial instalada a bordo de un satélite geostacionario, o referente a una estación terrena que comunica con dicha estación espacial, que podría ser afectada.

1066 No es necesaria la coordinación que se establece en el número 1060:

1067 a) Cuando debido a la utilización de una nueva asignación de frecuencia, la temperatura de ruido del receptor de cualquier estación espacial o terrestre, o la temperatura de ruido equivalente de cualquier enlace por satélite, según el caso, de cualquier servicio que dependa de otra Administración, sufra un incremento calculado según el método del apéndice 29 y que no exeda del valor umbral.

1068 b) Cuando la interferencia resultante de la modificación de una asignación de frecuencia que haya sido ya coordinada no exeda del valor convenido durante la coordinación.

1069 c) Cuando una Administración se proponga notificar o poner en servicio una nueva estación terrena dentro de una zona de servicio de una red de satélite existente, siempre que la nueva estación terrena no cause interferencia de un nivel superior al que sería causado por una estación terrena que pertenece a la misma red de satélite y cuyas características hayan sido publicadas al mismo tiempo que las informaciones sobre la estación espacial.

1070 d) Cuando respecto a una nueva asignación de frecuencia a una estación terrena receptora, la Administración notificante declara que acepta la interferencia resultante de las asignaciones de frecuencia mencionadas.

1071 e) Entre estaciones terrenas que utilizan asignaciones de frecuencia en un mismo sentido (Tierra-espacio o espacio-Tierra)

1107 Antes de que una Administración notifique a la Junta o ponga en servicio cualquier asignación de frecuencia a una estación terrena, sea para transmisión o recepción, en una banda particular atribuída con los mismos derechos a los servicios de radiocomunicación espacial y de radiocomunicación terrenal en las bandas de frecuencias superiores a 1 GHz deberá, exepcto en casos especiales, efectuar la coordinación de esta asignación con cualquier Administración de otro país cuyo territorio esté situado, con respecto a la estación terrena en proyecto, total o parcialmente, dentro de la zona de coordinación. La solicitud de coordinación para una estación terrena podrá comprender algunas o todas las asignaciones de frecuencias a la estación espacial asociada, pero posteriormente cada asignación se tratará por separado.

APENDICE D

PROGRAMA PARA CALCULADORA HEWLETT PACKARD HP-41 PARA DETERMINAR LA RELACION C/N REQUERIDA PARA PORTADORA MODULADA EN FRECUENCIA.

001	* LBL A	028	5	055	STO 07	082	+
002	RCL 00	029	-	056	RCL 01	083	1
003	PSE	030	2	057	÷	084	0
004	2	031	0	058	LOG	085	+
005	4	032	÷	059	2	086	PSE
006	0	033	* 10 ^x	060	0	087	STO 02
007	X ↔ Y	034	PSE	061	x	088	RCL 07
008	X > Y?	035	STO 09	062	RCL 03	089	RCL 09
009	* GTO 01	036	* LBL 02	063	3	090	x
010	LOG	037	RCL 01	064	.	091	PSE
011	4	038	PSE	065	1	092	STO 05
012	x	039	2	066	÷	093	3
013	1	040	x	067	LOG	094	.
014	-	041	CHS	068	1	095	1
015	2	042	RCL 03	069	0	096	6
016	0	043	PSE	070	x	097	x
017	÷	044	+	071	+	098	PSE
018	* 10 ^x	045	2	072	1	099	RCL 05
019	PSE	046	÷	073	0	100	RCL 01
020	STO 09	047	3	074	+	101	÷
021	* GTO 02	048	.	075	6	102	PSE
022	* LBL 01	049	1	076	.	103	RCL 05
023	LOG	050	6	077	5	104	* PI
024	1	051	÷	078	+	105	2
025	0	052	RCL 09	079	CHS	106	x
026	x	053	÷	080	RCL 04	107	√x
027	1	054	PSE	081	PSE	108	x

APENDICE E

PROGRAMA PARA CALCULADORA HEWLETT PACKARD HP-41 PARA DETERMINAR LA
OPTIMIZACION DEL PUNTO DE OPERACION DE UN TUBO AMPLIFICADOR.

001	*	LBL A	029	-	057	LOG	085	4
002		RCL 00	030	STO 09	058	2	086	4
003		RCL 01	031	PSE	059	x	087	EEX
004		+	032	* LBL 04	060	CHS	088	CHS
005		RCL 02	033	RCL 11	061	PSE	089	3
006		-	034	PSE	062	STO 12	090	x
007		RCL 03	035	1	063	* X ²	091	+
008		+	036	.	064	* X ²	092	RCL 12
009		RCL 04	037	2	065	1	093	* X ²
010		EEX	038	x	066	.	094	4
011		3	039	CHS	067	7	095	.
012		x	040	.	068	8	096	9
013		LOG	041	5	069	7	097	3
014		1	042	2	070	4	098	1
015		0	043	5	071	EEX	099	1
016		x	044	+	072	CHS	100	1
017		STO 05	045	* 10 ^x	073	4	101	8
018		-	046	RCL 11	074	x	102	EEX
019		STO 06	047	.	075	CHS	103	CHS
020		PSE	048	5	076	RCL 12	104	2
021		RCL 07	049	x	077	* X ²	105	x
022		RCL 08	050	CHS	078	RCL 12	106	-
023		+	051	2	079	x	107	RCL 12
024		RCL 10	052	.	080	7	108	.
025		-	053	5	081	.	109	5
026		RCL 03	054	-	082	7	110	2
027		+	055	* 10 ^x	083	0	111	6
028		RCL 05	056	+	084	0	112	4

109 4
110 X \rightleftharpoons Y
111 +
112 LOG
113 1
114 0
115 x
116 CHS
117 PSE
118 RCL 03
119 EEX
120 3
121 x
122 LOG
123 1
124 0
125 x
126 RCL 02
127 +
128 2
129 2
130 8
131 .
132 6
133 -
134 PSE
135 * RTN

113	8	147	-	181	ST+ 11
114	9	148	ST0 16	182	* GT0 04
115	x	149	PSE	183	* LBL 03
116	+	150	1	184	PSE
117	8	151	0	185	* RTN
118	.	152	+	186	R/S
119	2	153	* 10 ^x		
120	7	154	1/X		
121	7	155	RCL 15		
122	7	156	1		
123	+	157	0		
124	PSE	158	+		
125	ST0 13	159	* 10 ^x		
126	RCL 11	160	1/X		
127	CHS	161	+		
128	RCL 09	162	RCL 13		
129	+	163	1		
130	RCL 14	164	0		
131	LOG	165	+		
132	1	166	* 10 ^x		
133	0	167	1/X		
134	x	168	+		
135	-	169	1/X		
136	ST0 15	170	LOG		
137	PSE	171	1		
138	RCL 12	172	0		
139	CHS	173	x		
140	RCL 06	174	PSE		
141	+	175	RCL 17		
142	RCL 14	176	X > Y?		
143	LOG	177	* GT0 03		
144	1	178	X ↔ Y		
145	0	179	ST0 17		
146	x	180	1		

APENDICE F

PROGRAMA PARA CALCULADORA HEWLETT PACKARD HP-41 PARA DETERMINAR EL
 COMPORTAMIENTO DE CANAL UNICO POR PORTADORA.

001	*	LBL A	029	RCL 01	057	+	085	1/x
002		RCL 00	030	-	058	2	086	LOG
003		PSE	031	RCL 09	059	2	087	1
004		RCL 01	032	+	060	8	088	0
005		PSE	033	RCL 10	061	.	089	x
006		-	034	+	062	6	090	PSE
007		RCL 02	035	PSE	063	-	091	STO 16
008		+	036	STO 12	064	PSE	092	2
009		RCL 10	037	RCL 13	065	STO 15	093	2
010		+	038	RCL 14	066	1	094	8
011		RCL 03	039	4	067	0	095	.
012		-	040	+	068	+	096	6
013		6	041	LOG	069	* 10 ^x	097	+
014		+	042	1	070	1/x	098	RCL 14
015		RCL 04	043	0	071	RCL 08	099	EEX
016		+	044	x	072	1	100	3
017		PSE	045	+	073	0	101	x
018		STO 05	046	RCL 05	074	+	102	LOG
019		RCL 11	047	-	075	* 10 ^x	103	1
020		PSE	048	CHS	076	1/x	104	0
021		-	049	RCL 14	077	+	105	x
022		RCL 06	050	EEX	078	RCL 12	106	-
023		+	051	3	079	1	107	PSE
024		RCL 07	052	x	080	0	108	STO 17
025		+	053	LOG	081	+	109	8
026		PSE	054	1	082	* 10 ^x	110	.
027		STO 08	055	0	083	1/x	111	5
028		RCL 00	056	x	084	+	112	+

113	1	146	PSE
114	7	147	STO 18
115	+	148	* RTN
116	3		
117	.		
118	4		
119	* X^2		
120	3		
121	.		
122	4		
123	x		
124	0		
125	.		
126	3		
127	* X^2		
128	0		
129	.		
130	3		
131	x		
132	-		
133	3		
134	+		
135	RCL 14		
136	+		
137	RCL 19		
138	* X^2		
139	+		
140	1/X		
141	LOG		
142	1		
143	0		
144	x		
145	+		

APENDICE G

PROGRAMA PARA CALCULADORA HEWLETT PACKARD HP-41 PARA EL CALCULO DE
AZIMUT Y ELEVACION.

001 * LBL A	029 * LBL 01	057 x
002 RCL 02	030 RCL 04	058 STO 07
003 HR	031 X > 0?	059 * COS ⁻¹
004 RCL 03	032 * GTO 02	060 STO 08
005 HR	033 1	061 RCL 07
006 -	034 8	062 .
007 STO 04	035 0	063 1
008 TAN	036 RCL 06	064 5
009 RCL 01	037 +	065 1
010 HR	038 * GTO 04	066 2
011 STO 05	039 * LBL 02	067 6
012 SIN	040 1	068 9
013 +	041 8	069 5
014 ABS	042 0	070 6
015 * TAN ⁻¹	043 RCL 06	071 0
016 STO 06	044 -	072 4
017 RCL 05	045 * GTO 04	073 -
018 X > 0?	046 * LBL 03	074 RCL 08
019 * GTO 01	047 RCL 06	075 SIN
020 RCL 04	048 * GTO 04	076 +
021 X > 0?	049 * LBL 04	077 TAN ⁻¹
022 * GTO 03	050 PSE	078 PSE
023 3	051 HMS	079 HMS
024 6	052 PSE	080 PSE
025 0	053 RCL 04	081 RTN
026 RCL 06	054 COS	
027 -	055 RCL 05	
028 * GTO 04	056 COS	

BIBLIOGRAFIA

1. Concepción, estudio e implementación de un sistema de comunicaciones por satélite. M. Chalendar. SATEL-CONSEIL-FRA.
2. El sistema SATCOL y la transmisión digital vía satélite. Marco Solano. Telecom. Colombia.
3. Consideraciones sobre diseños de enlaces por satélite. Gerardo Mesías. Telecom. Colombia.
4. Revisión del proyecto CONDOR: resumen, recomendaciones y observaciones. Ing. José L. Herrera. ENTEL. Perú.
5. Los servicios fijo y de radiodifusión por satélite en el nuevo reglamento de radiocomunicaciones. Ing. Gerardo Mesías.
6. Reglamento de Radiocomunicaciones.