



45
207

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**SISTEMA RURAL DE RECEPCION DE
TELEVISION PARA UN SATELITE
DOMESTICO.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N:

GUILLERMO FASTERLING HUBARD

MIGUEL ANTONIO SALVADOR ESCOBAR IBARRA

México, D. F.

1989.

FALLA DE OR'GEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

SISTEMA RURAL DE RECEPCION DE TELEVISION PARA UN SATELITE DOMESTICO

INTRODUCCION..... 5

CAPITULO I. LAS COMUNICACIONES VIA SATELITE

I.1 Evolución de las comunicaciones vía satélite..... 6

I.2 La revolución de la televisión vía satélite..... 14

I.3 Principios básicos..... 22

I.4 Estándares y técnicas de transmisión..... 29

I.5 Banda C..... 37

I.6 Banda Ku..... 42

CAPITULO II. EL SISTEMA MORELOS DE SATELITES

II.1 Introducción..... 45

II.2 Capacidad y características técnicas..... 48

II.3 Huellas..... 58

II.4 Aplicación para sistemas rurales de recepción..... 59

CAPITULO III. EL SISTEMA DE RECEPCION DE TELEVISION VIA SATELITE

III.1 Objetivo especifico.....	61
III.2 Descripción general del sistema TVRO.....	64
III.3 Diagrama de bloques de un enlace TVRO.....	66

CAPITULO IV. EL ALIMENTADOR

IV.1 Introducción.....	68
IV.2 La transmisión de energía electromagnética.....	70
IV.3 La radiación.....	77
IV.4 Radiación de aperturas.....	77
IV.5 La corneta.....	81
IV.6 La corneta corrugada.....	84

CAPITULO V. DISEÑO DE LA ANTENA

V.1 Introducción.....	88
V.2 Parámetros de la antena.....	89
V.3 Parámetros de enlace.....	105
V.4 Cálculo de la antena.....	132

CAPITULO VI. MODELO EXPERIMENTAL DE LA ANTENA PARABOLICA

VI.1 Consideraciones técnicas.....	143
VI.2 Construcción de la antena parabólica.....	151
VI.3 Armado.....	159
VI.4 Orientación.....	161
VI.5 Resultados Experimentales.....	165

CAPITULO VII. COMPONENTES COMPLEMENTARIOS

VII.1 El amplificador de bajo ruido.....	170
VII.2 El convertidor de frecuencia.....	176
VII.3 El receptor de canales.....	179
VII.4 El localizador de satélites.....	186
VII.5 Otros.....	188

CAPITULO VIII. POSIBILIDADES DE COMERCIALIZACION

VIII.1 Fundamentación.....	189
VIII.2 Costo de producción.....	190

CAPITULO IX. ASPECTOS DE INTERES

IX.1 Introducción.....	195
IX.2 Interferencia restre.....	195
IX.3 Codificación.....	196
IX.4 Distribución.....	198
IX.5 Retransmisión.....	201

CONCLUSIONES.....	203
-------------------	-----

APENDICE A (Glosario de términos).....	208
APENDICE B (Especificaciones del modelo real de la antena)	215
APENDICE C (Especificaciones de la corneta Chaparral)....	216
APENDICE D (Especificaciones del LNB).....	217
APENDICE E (Especificaciones del receptor Echostar 1000)..	218
APENDICE F (Notación exponencial).....	219
APENDICE G (Cálculo del ángulo de declinación).....	220
APENDICE H (Tabla de pérdidas por transmisión en cable coaxial).....	221
APENDICE I (Cálculo de ángulos de azimut y elevación)....	222

BIBLIOGRAFIA.....	223
-------------------	-----

INTRODUCCION

La puesta en órbita de los satélites Morelos I y II significa para México un avance sustancial en materia de comunicaciones. De un día para otro, nuestro país se vió cubierto por señales telefónicas, de datos y de televisión transmitidas vía satélite. Desafortunadamente, la infraestructura terrestre de comunicaciones no era entonces, ni es hoy, capaz de aprovechar eficientemente estas transmisiones.

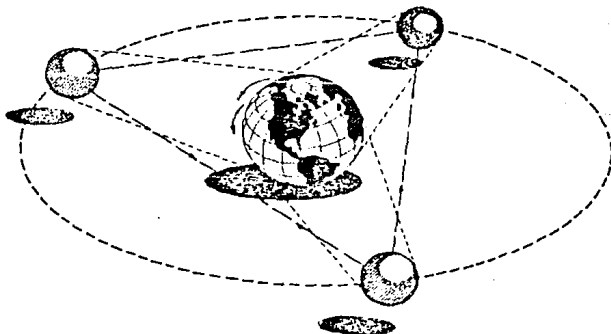
El sistema Morelos de satélites permitirá el desarrollo de las comunicaciones. Considerando que la vida útil de dichos satélites es de aproximadamente nueve años, es vital fomentar la actualización de las estaciones terrenas para aprovechar al máximo la capacidad instalada.

En materia de televisión, es posible brindar servicio a todos los habitantes del país, sin importar qué tan alejados se encuentren de los núcleos de población. El objetivo primordial de este estudio será el de llegar a diseñar un sistema rural de recepción de televisión para un satélite doméstico, cuyo desempeño técnico cumpla con los requisitos indispensables para garantizar una señal aceptable y que, además, tenga un costo bajo, de manera que pueda ser accesible para la gran población rural de nuestro país.

CAPITULO I. LAS COMUNICACIONES VIA SATELITE

I.1 LA EVOLUCION DE LAS COMUNICACIONES VIA SATELITE

Han pasado ya 42 años desde aquel día en que Arthur C. Clarke propuso un sistema de comunicación global a base de satélites artificiales. Aún para él mismo, debe ser sorprendente el vertiginoso desarrollo que han experimentado las comunicaciones via satélite. Los satélites artificiales se han convertido en herramientas indispensables para el desarrollo del mundo en que vivimos.

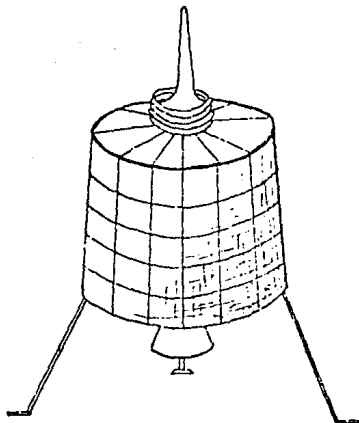


Hoy en día, nuestro planeta se encuentra rodeado por un gran número de satélites artificiales que generan una red electromagnética invisible, la cual hace posible el intercambio continuo de video, audio y datos entre localidades muy distantes sobre la superficie terrestre. Habitando un estrecho anillo espacial a aproximadamente 35,600 kilómetros sobre el ecuador, cada satélite completa una evolución de su órbita circular en 23 horas 56 minutos 04 segundos, el mismo tiempo que le toma a la Tierra una rotación sobre su eje, manteniendo así posiciones fijas en el ciclo con relación a un punto sobre la superficie terrestre. Estos procesadores electrónicos orbitales son comúnmente conocidos como satélites geoestacionarios.

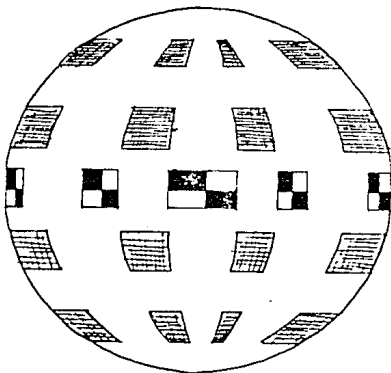
Arthur C. Clarke vislumbró el uso de estos medios de comunicación para 1990. Sin embargo, ya en 1957 con el lanzamiento del satélite soviético Sputnik, se dió inicio a la era de las comunicaciones espaciales. En un principio, a finales de los años 40, se experimentó en comunicaciones espaciales, utilizando a la luna como reflector. Para julio de 1954, los primeros mensajes de voz fueron transmitidos y recibidos de esa manera. Desgraciadamente, la luna no se encontraba siempre disponible, y fué así que, para 1962, este método quedó en desuso.

En los años que siguieron, se desarrollaron múltiples proyectos de satélites pasivos con órbitas elípticas. El proyecto

más conocido de esta época es el Telstar 1, quizá por su capacidad de recibir y transmitir simultáneamente [LONG, 1985].



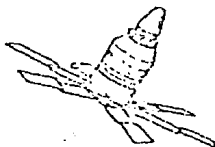
El Telstar 1 era una esfera de aproximadamente 87 centímetros de diámetro, con un peso de 80 kilogramos y tenía una órbita elíptica con apogeo de 5,600 kilómetros y un periodo de 2 y media horas. Para 1964, la NASA (Nacional Aeronautic Space Administration) colocó el primer satélite de comunicaciones en órbita geostacionaria, transmitiendo señales de televisión de los juegos olímpicos de Tokio (SYNCOM).



En 1965 se iniciaron oficialmente las comunicaciones comerciales por satélite, cuando la Organización Internacional de Telecomunicaciones lanzó el Intelsat 1, mejor conocido como "Pájaro Madrugador". Este último proporcionó el primer enlace trasatlántico continuo vía satélite. Tenía capacidad para transmitir 240 circuitos de voz o un canal de televisión, en parte porque utilizaba una antena omni-direccional que radiaba señales en un arco de 360 grados, de manera que en gran parte la energía disponible era inútilmente radiada hacia el espacio. La cantidad fraccional de señal que alcanzaba la Tierra

iluminaba el hemisferio norte, estableciendo un circuito de comunicaciones continuo entre Europa Occidental y Norteamérica. Para mantener al satélite en el plano correcto, el cuerpo cilíndrico del "Pájaro Madrugador" rotaba sobre su eje de manera constante. Esta técnica de estabilización ha sido muy utilizada y sigue vigente hasta el día de hoy.

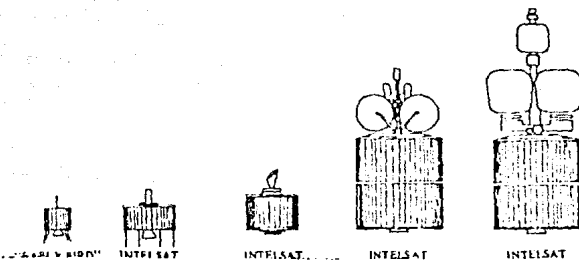
En enero de 1966, el Intelsat I fué puesto fuera de servicio, pero debido a su gran éxito, fueron lanzados satélites adicionales por Intelsat. La Unión Soviética se convirtió en la primera nación en contar con un sistema de comunicaciones doméstico, al lanzar en 1965 el Molniya (Rayo).



Para 1969, Intelsat convirtió en realidad la visión de Arthur C. Clarke al colocar tres satélites Intelsat III sobre los océanos Atlántico, Pacífico e Indico. Estos satélites tenían capacidad para manejar 1500 circuitos de voz simultáneamente y un canal de TV. Por primera vez, los satélites Intelsat contaron con antenas direccionales, permitiendo que la potencia total de las microondas fuese radiada sobre la Tierra.

Para mantener la orientación de la antena transmisora dirigida a la Tierra en todo momento, la plataforma que soportaba dicha antena giraba a la misma velocidad que el cuerpo exterior del satélite, pero en dirección contraria.

El gran cambio en los satélites de comunicaciones se vivió con la llegada del Intelsat IV en 1971. Cada Intelsat IV incorporó una capacidad de comunicaciones de 12 transpondedores que en conjunto podían manejar simultáneamente 3750 circuitos telefónicos y 2 canales de TV. Aparte del haz global, tenía integrados 2 haces dirigibles que podían concentrar las señales de satélite sobre áreas designadas de la superficie terrestre.



Fué en esos años cuando tanto Canadá como Estados Unidos inauguraron sus sistemas domésticos de satélites. El primer satélite canadiense, Anik (hermano pequeño en esquimal), al igual que el satélite Westar, manejaban doce transpondedores, lo cual significó un importante adelanto con respecto a la capacidad limitada de los primeros satélites Intelsat y Molniya. En Europa, un programa conjunto inaugurado por Francia y Alemania produjo los satélites experimentales Symphonie, lanzados entre 1974 y 1975. Este grupo de ingenieros fué el primero en diseñar un satélite geosíncrono que emplea un esquema de estabilización triaxial. Esto fué posible utilizando giroscopios internos que son capaces de censar cambios en cualquiera de los tres ejes de la posición del satélite y poder así llevar al satélite a la orientación correcta por medio de cohetes. Hoy en día, gran parte de las compañías fabricantes utilizan el sistema de estabilización triaxial.

Muchas de las innovaciones de los satélites Symphonie I y II fueron posteriormente incorporadas al diseño de los satélites Intelsat V, que son, por así decirlo, el caballo de batalla de la flota de comunicaciones Intelsat. Para 1975, RCA desarrolló la serie "Satcom" de estabilización triaxial. Estos satélites domésticos norteamericanos son los primeros en utilizar polarización lineal dual, de tal suerte que es posible acomodar 24 transpondedores, 12 de cada polaridad, en un ancho de banda de 500 MHz, que es el autorizado para transmisiones comerciales

en 4 GHz para la región de Norteamérica [LONG, 1985]. De manera general, la evolución de las comunicaciones vía satélite se puede catalogar en seis eras:

Era Subsíncrona	1958-1963
Era Subsíncrona Global	1964-1972
Era Global y Doméstica Regional	1973-1981
Era de Negocios y de Estaciones Terminales Pequeñas	1981-1985
Era de Satélites de Radiodifusión	1985-1990
Era de Plataformas Espaciales y Satélites Inteligentes	1990-

En los primeros años, la utilización de satélites artificiales contempló exclusivamente el área de comunicaciones. Hoy en día, los satélites han demostrado su utilidad en meteorología,

geografía, pesca, recursos naturales, educación, defensa, astronomía, navegación, geología, ecología, finanzas, etc.

Por su parte, en el área de comunicaciones, se han ampliado exponencialmente los servicios prestados por los satélites y parece increíble el hecho de poder transmitir el complejo diagrama electrónico de un televisor de Japón a México en 15 minutos por medio del facsímil, proporcionar televisión educativa a los cientos de islas de Indonesia en un momento, cuando establecer una red terrestre de microondas se hubiera llevado muchos años, obtener los movimientos de la bolsa de valores de Sidney segundos después de que éstos se realizan, establecer una comunicación telefónica entre Huitzuco, México y Quelimane, Mozambique marcando trece dígitos o simplemente disfrutar, a la vez que otros 1000 millones de televidentes, de la final del Campeonato Mundial de Fútbol. No cabe duda que el mayor desarrollo de los satélites artificiales está aún por venir y seguramente, al releer este trabajo dentro de algunos años, nos sorprenderá ver lo que hoy en día se considera avance tecnológico.

1.2 LA REVOLUCION DE LA TV VIA SATELITE.

Es indudable que la televisión comercial ha obtenido grandes beneficios con el desarrollo de las comunicaciones vía satéli-

te. En un principio, con el lanzamiento del primer satélite comercial, el Intelsat, el cual podía manejar exclusivamente un canal de televisión, se buscó brindar un servicio de comunicaciones a nivel mundial. La Organización Intelsat, con más de cien países miembros, se consolidó como la comunidad internacional de usuarios de satélites que proporciona, de modo cooperativo y económico, una amplia gama de servicios nacionales e internacionales a través de sus instalaciones multiusuarios.

Gracias a Intelsat, muchos países han aprovechado las ventajas de las comunicaciones espaciales. Para fines de 1983, 24 países alquilaban a Intelsat capacidad para sus servicios nacionales en aproximadamente 36 transpondedores.

Aún así, la necesidad de este tipo de comunicaciones fue en aumento y se crearon organizaciones similares como: Intersputnik, Eutelsat y Arabsat. Varios países se dieron cuenta de que el operar las comunicaciones nacionales mediante satélites propios era la única solución costo-efectividad, debido a las características geográficas y topográficas de su territorio.

Canadá fue el primer país en establecer un sistema fijo por satélite para uso doméstico en la órbita geoestacionaria. Debido a su gran extensión territorial, y a lo disperso de su población, las comunicaciones por satélite fueron una excelente

opción para interconectar todo el país. Telesat Canadá fue establecido en 1969 para instalar y operar el sistema de telecomunicaciones por satélite, lanzando tres satélites de la serie Anik entre 1972 y 1975.

Después de resolver complicados problemas legales, políticos y técnicos, la FCC (Federal Communications Committee) autorizó, en diciembre de 1972, los satélites domésticos de los Estados Unidos. Su primer satélite doméstico fue el Westar 1, lanzado en 1974. Sin embargo, el primer sistema doméstico de comunicaciones por satélite que operó en Estados Unidos fue el establecido por RCA, utilizando el satélite canadiense Anik II.

En 1976, Indonesia inició sus servicios domésticos por satélite utilizando su Palapa I. Por todo el archipiélago fueron distribuidas estaciones terrenas para proporcionar voz, telefonía, video y datos. Debido al gran número de satélites domésticos puestos en órbita a partir de ese momento, nombrarlos a todos sería inútil. Actualmente, la tasa aproximada de crecimiento de tráfico a través de satélites en la órbita geostacionaria es de un 15% al año.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es el organismo internacional que se encarga de regular y fomentar las telecomunicaciones mediante el entendimiento y la cooperación de todos los países miembros. Uno de los problemas que enfren-

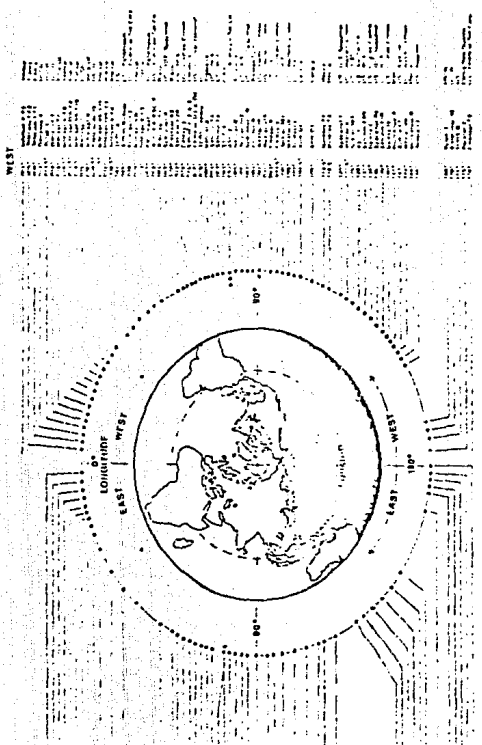
ta es la planificación de la órbita de satélites geoestacionarios (OSG), que es un recurso natural limitado, ya que es la única órbita en la que un satélite artificial parece estar inmóvil en el espacio al acompañar a nuestro planeta en su movimiento de rotación.

La OSG evita que las estaciones terrenas tengan que seguir el trayecto del satélite por la bóveda celeste, manteniendo constante la comunicación. Un satélite geoestacionario debe estar sobre la línea del ecuador a aproximadamente 36,000 km. El uso de los satélites que emplean la OSG ha aumentado en forma explosiva en los últimos años, de tal forma que en algunas partes presenta cierto grado de congestión [LONG, 1985]. A continuación se muestran dos gráficas con la capacidad programada para la OSG para 1990, tanto en banda C como banda Ku.

C-BAND SATELLITES

SAT	ORBITAL TYPE	INCLINATION	PERIODE	ALTITUDE	LAUNCH DATE	OPERATOR	STATUS
1001	LEO	90°	1.5h	1100km	1992	USA	Operational
1002	LEO	90°	1.5h	1100km	1993	USA	Operational
1003	LEO	90°	1.5h	1100km	1994	USA	Operational
1004	LEO	90°	1.5h	1100km	1995	USA	Operational
1005	LEO	90°	1.5h	1100km	1996	USA	Operational
1006	LEO	90°	1.5h	1100km	1997	USA	Operational
1007	LEO	90°	1.5h	1100km	1998	USA	Operational
1008	LEO	90°	1.5h	1100km	1999	USA	Operational
1009	LEO	90°	1.5h	1100km	2000	USA	Operational
1010	LEO	90°	1.5h	1100km	2001	USA	Operational
1011	LEO	90°	1.5h	1100km	2002	USA	Operational
1012	LEO	90°	1.5h	1100km	2003	USA	Operational
1013	LEO	90°	1.5h	1100km	2004	USA	Operational
1014	LEO	90°	1.5h	1100km	2005	USA	Operational
1015	LEO	90°	1.5h	1100km	2006	USA	Operational
1016	LEO	90°	1.5h	1100km	2007	USA	Operational
1017	LEO	90°	1.5h	1100km	2008	USA	Operational
1018	LEO	90°	1.5h	1100km	2009	USA	Operational
1019	LEO	90°	1.5h	1100km	2010	USA	Operational
1020	LEO	90°	1.5h	1100km	2011	USA	Operational
1021	LEO	90°	1.5h	1100km	2012	USA	Operational
1022	LEO	90°	1.5h	1100km	2013	USA	Operational
1023	LEO	90°	1.5h	1100km	2014	USA	Operational
1024	LEO	90°	1.5h	1100km	2015	USA	Operational
1025	LEO	90°	1.5h	1100km	2016	USA	Operational
1026	LEO	90°	1.5h	1100km	2017	USA	Operational
1027	LEO	90°	1.5h	1100km	2018	USA	Operational
1028	LEO	90°	1.5h	1100km	2019	USA	Operational
1029	LEO	90°	1.5h	1100km	2020	USA	Operational
1030	LEO	90°	1.5h	1100km	2021	USA	Operational
1031	LEO	90°	1.5h	1100km	2022	USA	Operational
1032	LEO	90°	1.5h	1100km	2023	USA	Operational
1033	LEO	90°	1.5h	1100km	2024	USA	Operational
1034	LEO	90°	1.5h	1100km	2025	USA	Operational
1035	LEO	90°	1.5h	1100km	2026	USA	Operational
1036	LEO	90°	1.5h	1100km	2027	USA	Operational
1037	LEO	90°	1.5h	1100km	2028	USA	Operational
1038	LEO	90°	1.5h	1100km	2029	USA	Operational
1039	LEO	90°	1.5h	1100km	2030	USA	Operational
1040	LEO	90°	1.5h	1100km	2031	USA	Operational
1041	LEO	90°	1.5h	1100km	2032	USA	Operational
1042	LEO	90°	1.5h	1100km	2033	USA	Operational
1043	LEO	90°	1.5h	1100km	2034	USA	Operational
1044	LEO	90°	1.5h	1100km	2035	USA	Operational
1045	LEO	90°	1.5h	1100km	2036	USA	Operational
1046	LEO	90°	1.5h	1100km	2037	USA	Operational
1047	LEO	90°	1.5h	1100km	2038	USA	Operational
1048	LEO	90°	1.5h	1100km	2039	USA	Operational
1049	LEO	90°	1.5h	1100km	2040	USA	Operational

Copyright © 2025, by the
 Defense Science and Engineering
 Information Center
 All rights reserved.
 This work is derived from a
 public domain source and is
 therefore in the public domain
 in the United States of America.
 It may be reproduced and
 distributed as it appears
 without further permission
 from the Defense Science and
 Engineering Information
 Center.



WEST
 1001
 1002
 1003
 1004
 1005
 1006
 1007
 1008
 1009
 1010
 1011
 1012
 1013
 1014
 1015
 1016
 1017
 1018
 1019
 1020
 1021
 1022
 1023
 1024
 1025
 1026
 1027
 1028
 1029
 1030
 1031
 1032
 1033
 1034
 1035
 1036
 1037
 1038
 1039
 1040
 1041
 1042
 1043
 1044
 1045
 1046
 1047
 1048
 1049
 1050
 1051
 1052
 1053
 1054
 1055
 1056
 1057
 1058
 1059
 1060
 1061
 1062
 1063
 1064
 1065
 1066
 1067
 1068
 1069
 1070
 1071
 1072
 1073
 1074
 1075
 1076
 1077
 1078
 1079
 1080
 1081
 1082
 1083
 1084
 1085
 1086
 1087
 1088
 1089
 1090
 1091
 1092
 1093
 1094
 1095
 1096
 1097
 1098
 1099
 1100

Los primeros satélites domésticos de Norteamérica fueron utilizados básicamente para comunicaciones telefónicas de larga distancia; las transmisiones de TV eran muy esporádicas. En 1975, un servicio americano de TV de paga con tan sólo 60 mil suscriptores, anunció que comenzaría a utilizar un satélite para proporcionar su servicio a los sistemas de cable de toda la nación. En septiembre 30 de 1975, Home Box Office Incorporated (HBO) proporcionó la cobertura en vivo de la pelea por el Campeonato Mundial de Peso Completo entre Muhammad Ali y Joe Frazier a sus afiliados en Florida y Mississippi. Muy pronto, servicios similares se unieron a HBO en el satélite Satcom y trajeron consigo el desarrollo acelerado de miles de sistemas de cable en los Estados Unidos.

Durante este tiempo, la NASA llevó su satélite experimental ATS-6 a una órbita temporal sobre el océano Indico. Esto se debió a que el satélite ATS-6 fué prestado a India como parte del proyecto experimental de TV educativa por satélite (SITE). Este programa demostró la utilidad de los satélites para proporcionar TV educativa a comunidades aisladas en cualquier parte del mundo. Steven Birkill, un joven técnico de la TV inglesa (BBC), que vivía en Sheffield, Inglaterra, al oír del proyecto SITE, se propuso fabricar los componentes necesarios para captar las señales del satélite ATS-6. En diciembre de 1975, utilizando una antena de 5 pies de malla mosquitero, Birkill logró interceptar transmisiones del ATS-6, no obstante es-

tar varios miles de kilómetros fuera del centro de la huella del satélite [MADDOX, 1985]. Sus esfuerzos fueron prueba efectiva de que individuos con recursos relativamente modestos podían recibir programación de TV directa del satélite en sus hogares. Hasta antes de los setentas, la posibilidad de que programación directa del satélite pudiera ser recibida por más de un millón de hogares en los lugares más remotos de Norteamérica a un costo accesible era impensable. Ni los mismos especialistas en electrónica previeron entonces el rápido desarrollo de la tecnología de transistores que permitió, eventualmente, el nacimiento de amplificadores de bajo ruido para microondas con temperaturas de ruido sorprendentemente bajas.

En los últimos cuatro años, el costo de sistemas de recepción de satélite comerciales y caseros ha disminuido dramáticamente, (gráfica de cada año) mientras la calidad ha ido en constante aumento. Los satélites geoestacionarios han alterado el mundo en que vivimos, e indudablemente, en los próximos años, nuestra dependencia crecerá. Para satisfacer las necesidades cada vez más complejas de telecomunicaciones se han introducido satélites que operan en la banda de 11 a 12 GHz (Ku) o con banda dual (C y Ku) que es el caso de los satélites Morelos.

Para 1990, satélites operando en la banda Ka, de 20 a 30 GHz, permitirán el uso de antenas pequeñas, quizá portátiles y

que ofrecerán una multiplicidad de combinaciones de frecuencias en los enlaces de subida y de bajada. Estamos, por lo tanto, muy a tiempo para incursionar en la revolución de la TV vía satélite y es importante aprovechar al máximo el sistema de satélites Morelos, ya que su vida es limitada y tenemos la gran ventaja de que están situados en la OSG. Estableciendo una red de estaciones terrenas para recepción de TV educativa, será posible brindar educación a comunidades que de otra manera tendrían que esperar muchos años antes de poder contar con una escuela propia.

Es, en nuestra opinión, el aspecto educativo de la televisión vía satélite el de mayor importancia y, sin embargo, hay que tener en cuenta las posibilidades de televisión cultural, informativa y de entretenimiento.

I.3 PRINCIPIOS BASICOS

La comunicación vía satélite se hace posible al combinar los avances de la tecnología espacial con los de la microelectrónica. De hecho, la evolución de los satélites es un perfecto ejemplo de cómo la frontera entre comunicaciones y computadoras está desapareciendo.

El medio que hace posibles las transmisiones via satélite es la microonda de baja potencia. Estas microondas son en realidad ondas electromagnéticas que se propagan a la velocidad de la luz (300 000 Km/s) en forma radial, de manera que una señal viaja al satélite geoestacionario y de regreso a la estación terrena en 4 décimas de segundo.

La señal de microonda se origina en un transmisor llamado enlace de subida (Uplink), el cual radia la energía hacia el satélite. Este, a su vez, capta dicha señal a través de una antena receptora, la amplifica, le cambia la frecuencia y la retransmite a la Tierra. El haz de señal transmitido por la antena del satélite está diseñado para iluminar con su energía una vasta zona geográfica. Un satélite en órbita geoestacionaria es capaz de iluminar el 40% de la superficie terrestre y por medio de tres satélites colocados en dicha órbita en puntos determinados, es posible obtener la cobertura global. Sin embargo, en el caso de satélites domésticos, se intentará aprovechar al máximo la energía radiada por el satélite, haciendo que la iluminación de este último abarque únicamente la zona geográfica deseada. El patrón de iluminación creado por la transmisión de cada satélite es único, por lo cual se denomina "huella" (footprint).

En cada mapa de huellas una serie de líneas de contorno delimita los puntos en los cuales los niveles de la señal dis-

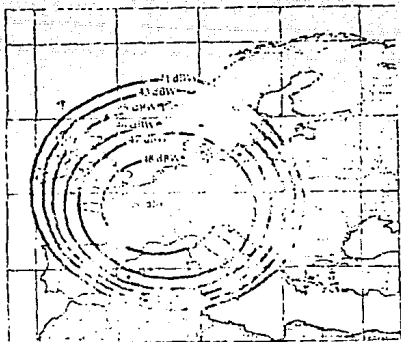
minuyen de los valores del centro del haz. Siempre que sea posible, estas líneas de contorno se llevan hasta el borde del haz, el cual constituye el límite de visibilidad del satélite de que se trata. Al borde del haz, la fuerza de la señal estará a su nivel de intensidad más bajo. Para encontrar el nivel proyectado de la fuerza de la señal en un sitio determinado, ubicado entre dos líneas de contorno, hay que dividir la diferencia entre los dos valores de contorno dados.

Los niveles de señal de satélites se definen en términos de la PIRE: esto es, la potencia isotrópica radiada equivalente. La PIRE, en el centro del haz para un satélite determinado, se obtiene combinando la ganancia de la antena a bordo del satélite y el nivel de potencia de los amplificadores de potencia de tubo de ondas progresivas (TWTA) ó de estado sólido (SSPA) del transpondedor asociado, menos cualquier pérdida de acoplamiento incurrida en el satélite. La PIRE se expresa en dBW o sea, decibeles sobre 1 Watt de potencia. En algunos casos, los mapas de huellas se han extraído de estudios computarizados hechos en pruebas de funcionamiento de antenas realizadas en la superficie terrestre [MADDOX, 1985].

Aunque estos mapas de huella suministran una buena representación de las intenciones de los fabricantes, el funcionamiento real de los satélites mismos no siempre alcanza el de los modelos teóricos. Los mapas de huella ayudan a determinar la

combinación apropiada de tamaño de antena, la temperatura a la cual ocurre ruido en el amplificador de bajo ruido y el umbral de la relación portadora a ruido del receptor para los servicios de televisión por satélite disponibles en sitios específicos.

A continuación se muestra la huella del satélite francés Telecom F2 que orbita a 5 grados este:



La estación terrena de TVRO capta la señal radiada por el satélite y en un proceso igual, pero inverso al del enlace de subida, procesa la señal para que ésta pueda ser vista en un televisor común. Más adelante se analizarán a fondo el enlace de bajada y la estación de TVRO. Por lo que respecta al enlace de subida, la estación suele estar adyacente a la cadena televisora. En caso de no ser así, es posible hacer un enlace terrestre de microondas a 2 ó 4 GHz entre ambas. Posteriormente, se

convierte la frecuencia, comúnmente de 6 GHz para banda C, y se efectúa el enlace de subida.

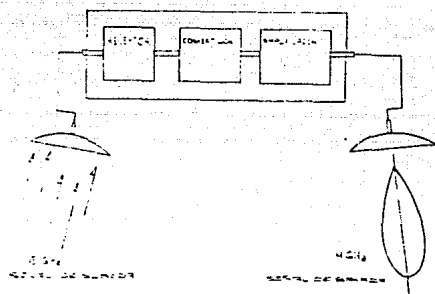
Un amplificador de alta potencia (HPA) incrementa la amplitud de la señal original, siendo la potencia radiada típica de estos sistemas terrestres de transmisiones al satélite de aproximadamente 500 Watts. Las antenas para este enlace suelen ser reflectores parabólicos de 10 metros de diámetro y de foco primario.

La distancia que la señal radiada tiene que recorrer es de aproximadamente 39.5×10^6 metros, la cual actúa como un atenuador que reduce considerablemente la densidad de potencia (Watts/metros²) conforme avanza el haz hacia el satélite entre 198 y 204 dB [GALE y BAYLIN, 1986]. A pesar de que prácticamente toda la potencia radiada se mantiene en el cono primario, la base del mismo, a la altura del satélite, es mucho mayor y la densidad de potencia va disminuyendo.

En el satélite, la antena receptora intercepta una porción de señal de 6 GHz y la guía al transmisor apropiado. El transpondedor convierte la frecuencia de 6 GHz al canal correspondiente en la banda de bajada de 4 GHz, lo amplifica, y lo emite a la Tierra a través de su antena transmisora. La potencia típica de la anterior transmisión es de 5 Watts. Esta conversión de frecuencia ayuda a reducir la interferencia terrestre en el sistema de TVRO; de no ser así, la frecuencia de la se-

ñal del enlace de subida y de bajada sería igual y se generaría una interferencia, ya que las antenas radian una parte de la energía a través de lóbulos laterales, como se verá más adelante.

La siguiente figura presenta de un modo esquemático el proceso anteriormente descrito.



Una propiedad importante de las ondas de radio es su frecuencia. Las microondas tienen frecuencias mayores a los mil millones de ciclos por segundo (giga Hertz, abreviado GHz). Ya que todas las ondas electromagnéticas viajan a la misma velocidad, conforme se incrementa la frecuencia se reduce la longitud de onda. Debido a la gran cantidad de telecomunicaciones que se llevan a cabo hoy en día, ha sido necesario dar asignaciones específicas a las diferentes aplicaciones.

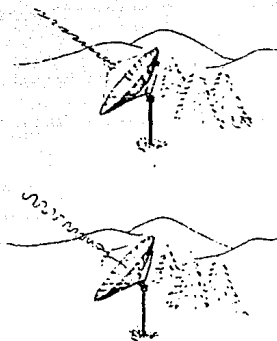
Conforme ha progresado la tecnología, el hombre ha sido capaz de utilizar frecuencias cada vez más altas. Aún así, una porción relativamente pequeña del espectro electromagnético es utilizada actualmente. Sin embargo, en bandas donde existe saturación, se han desarrollado métodos innovadores para la reutilización de frecuencia. Un ejemplo claro de reutilización de frecuencia es la polarización.

Una segunda propiedad de las ondas electromagnéticas es su potencia, medida en Watts/metro². Las transmisiones de un satélite se reciben en niveles inferiores a 1×10^{-12} W/m².

Una tercera propiedad importante de las microondas del satélite es la polarización. Para entender la idea de polarización horizontal-vertical debemos pensar en un automóvil que, dirigiéndose a un destino, sigue un camino de curvas sobre un terreno plano y, por otro lado, sigue un camino recto sobre un terreno montañoso. Ondas polarizadas horizontalmente vibran en un plano como el primer caso del automóvil, mientras que las ondas polarizadas verticalmente oscilan en un plano vertical.

Este tipo de polarización es la más utilizada por los satélites actuales, aunque también existe la posibilidad de polarizar las microondas circularmente. Una onda polarizada circularmente a izquierda sigue un plano de vibración como el de un

tornillo al ser enroscado; la polarización circular derecha es inversa.



I.4 ESTANDARES Y TECNICAS DE TRANSMISION

El sistema de satélites global utiliza diferentes técnicas para la transmisión de telecomunicaciones. Video, audio y señales de datos pueden transmitirse de diferentes maneras, cada una con distintas ventajas y desventajas.

El mismo principio rige todas las formas de comunicación realizadas por el hombre. El primer paso es crear y codificar un

mensaje. Posteriormente, la información debe ser modulada o sumada al medio diseñado para llevar la señal. En el extremo receptor, la señal es demodulada y se obtiene así la información original. La cantidad de información transmitida dependerá de su ancho de banda. Señales no deseables o ruido están siempre presentes para obstaculizar las comunicaciones perfectas.

Cualquier mensaje debe ser primeramente modificado de forma que pueda transmitirse por microondas. Los métodos de codificación analógicos imitan el patrón de un mensaje por medio de variaciones en voltajes eléctricos. En contraste, un método de codificación digital utiliza únicamente los estados 0 ó 1 para describir toda la información del mensaje. Los enlaces de subida utilizan cualquiera de estos dos métodos. Sin embargo, la tendencia es utilizar transmisiones digitales conforme se desarrollan nuevos televisores y satélites que permiten transmitir mayores cantidades de información.

Las señales, ya sean analógicas o digitales, se integran a la microonda por un proceso de modulación. Ya que la modulación en amplitud requiere grandes potencias, no se utiliza para enlaces vía satélite. La modulación en frecuencia requiere relativamente poca potencia para transmisiones exitosas a larga distancia, pero utiliza un rango de frecuencias relativamente mayor al de los mensajes de AM. Afortunadamente, las comuni-

caciones vía satélite se realizan en frecuencias extremadamente altas, por lo que es posible contar con el ancho de banda necesario para la modulación en FM.

Cada medio de comunicación requiere un ancho de banda específico. Dispositivos como la TV necesitan un ancho de banda mayor al del teléfono o el radio, ya que se requiere mucha más información para recrear una imagen que para música o una voz. Por ejemplo, el canal 1 en satélites de transmisión americanos está localizado entre los 3.70 y 3.74 GHz y tiene un ancho de banda de 36 MHz. Canales de voz, sin embargo, necesitan normalmente un ancho de banda de 3000 a 4000 Hz para una buena reproducción.

En un sistema de comunicaciones ideal, las señales se transmitirían sin interferencia ni ruido. Sin embargo, el ruido está presente en toda la materia a temperaturas superiores al cero absoluto (0 Kelvin), temperatura a la cual cesa toda cinética molecular. Las pequeñas partículas polarizadas en vibración generan ondas electromagnéticas que obstruyen las señales transmitidas por el hombre. El ruido del medio ambiente se incrementa con el aumento de temperatura. Las señales generadas por el hombre y que no están intencionadas para captarse por la estación receptora, se consideran otro tipo de ruido llamado interferencia.

El ruido está siempre presente en los sistemas de comunicación vía satélite. La calidad de un enlace de comunicaciones está determinada por la relación señal a ruido (S/N). Por ejemplo, si una señal de 10 W se recibe junto con 5 W de ruido, la S/N es 2, y la calidad de imagen será más pobre que si una señal de 4 W se recibe con sólo 1 W de ruido. Típicamente las televisiones deben recibir una señal mayor a 63000 veces el ruido para tener recepción de alta calidad.

En lo que se refiere a los estándares de video, toda cámara de TV secciona la escena televisada en cientos de líneas horizontales. Cada línea está formada por un número de puntos, cada uno con un nivel de brillo propio. Los inventores de los sistemas de TV descubrieron que, mientras mayor sea el número de líneas por pantalla, mejor es la resolución o claridad del video. En 1940, el Comité Nacional para Estándares de Televisión de los Estados Unidos desarrolló una recomendación para transmisiones de blanco y negro de 525 líneas y 30 cuadros por segundo. Este estándar, conocido como NTSC, es el que está vigente en los Estados Unidos, en México y en muchos otros países.

En Europa, sin embargo, el estándar NTSC no fué recibido con los brazos abiertos. Los ingenieros europeos se dieron cuenta de que cualquier error de fase durante la propagación de las señales NTSC resultaría en una mala reproducción del color y

se dijo que las siglas NTSC significaban "Never Twice the Same Color". Una alternativa que minimizaba el problema de error de fase fué el desarrollado por la compañía alemana Telefunken. Esta encontró que dichos errores podían ser cancelados si la fase de la señal de color era invertida 180 grados en líneas alternantes. Hoy en día, el estándar de alteración de fase por línea (PAL) ha sido adoptado por más de 40 países y utiliza 625 líneas y 25 cuadros por segundo.

Es importante tener muy en cuenta estas diferencias, ya que nuevos estándares de video están siendo propuestos y seguramente, para fines de este siglo, se tendrá un estándar de video mundial del tipo MAC (Multiplex Analog Component) con características muy superiores a los utilizados hoy en día.

La transmisión de audio y de datos vía satélite tiene a su vez varios formatos. Los más populares son: división de frecuencia multiplexada (FDM) y división de tiempo multiplexada (TDM).

Con FDM, la forma de onda de cada señal telefónica se filtra para limitar su ancho de banda al rango de frecuencias de audio (300-3400 Hz) y posteriormente se convierte a una forma de onda de banda lateral única en AM (SSB/AM). Doce señales SSB/AM se multiplexan en una señal banda base compuesta llamada grupo. Cada grupo está compuesto de señales telefónicas localizadas a intervalos de 4 KHz a lo largo del rango de fre-

cuencias de la banda base compuesta. Varios grupos son remultiplexados conteniendo de 12 a 3,600 canales de voz independientes y son modulados en frecuencia sobre una portadora de 70 MHz, la cual se convierte a microonda para ser enlazada al satélite [LONG, 1985].

Dentro de las alternativas con que cuenta FDM, están el poder transmitir un solo canal por portadora, y de esta forma poder llenar el transpondedor de múltiples portadoras independientes. A esto se le denomina SCPC (single channel per carrier) y se utiliza principalmente para transmisión de voz y datos en un ancho de banda de canal de voz, sobre todo cuando la demanda del usuario no es grande.

La técnica MCPC (multiple channel per carrier) se utiliza cuando un gran número de canales de voz o datos requieren enlazarse juntos a un mismo punto de recepción. En este caso están, por ejemplo, las comunicaciones telefónicas México-Guadalajara, donde siempre se encuentran muchos usuarios con destino común. En esos casos, se multicanalizan en un ancho de banda muy grande, por ejemplo un transpondedor, y se envían por una sola portadora.

SCPC es un formato de transmisión que asigna una portadora de radio frecuencia en FM a cada señal de audio. Estas señales SCPC se encuentran en intervalos espaciados a lo largo del ran-

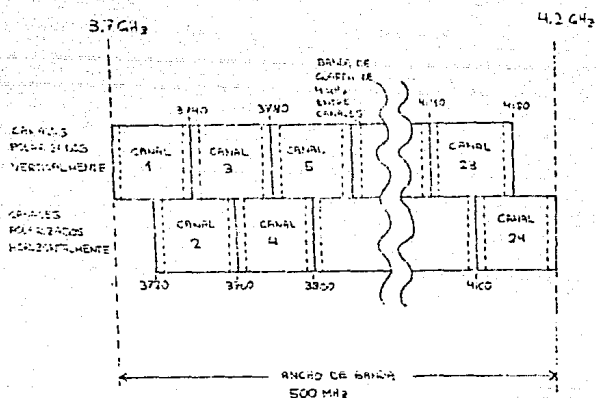
go de frecuencias del transpondedor.

TDM es un tercer método muy utilizado para transmitir voz y/o datos en un solo transpondedor. Mientras señales FDM son asignadas a segmentos separados de frecuencia en la banda del transpondedor, cada transmisión TDM puede, potencialmente, accesar el ancho de banda completo del canal. Para permitir transmisión de múltiples señales por un mismo transpondedor, cada señal debe modular subportadoras secuenciales que están espaciadas en tiempo, con lo cual ningún usuario ocupa intervalos de tiempo idénticos.

El número de canales de televisión, conversaciones telefónicas y datos que puede transmitir un satélite está relacionado directamente con el diseño electrónico. El Westar I y II transmitían 12 canales de TV simultáneos; la serie de satélites Satcom de RCA, junto con la mayoría de satélites de la banda C para Norteamérica, manejan 24 canales. La banda de 500 MHz es subdividida en 12 segmentos de 40 MHz y un restante de 20 MHz. Ya que 36 MHz de ancho de banda son suficientes para la transmisión de TV, Western Union diseñó sus primeros satélites con 12 canales con regiones de protección de 4 MHz. Cada canal era manejado independientemente en el satélite por un dispositivo llamado transpondedor.

Los ingenieros de la RCA lograron duplicar el número de cana-

les, utilizando el mismo ancho de banda (500 MHz) por medio de la técnica conocida como reutilización de frecuencia. Todos los canales pares se transmiten con polarización horizontal y los ones con polarización vertical; los centros de frecuencia de estos canales polarizados ortogonalmente sirven de offset entre sí para mayor seguridad contra interferencia. Los satélites europeos utilizan un ancho de banda de 700 MHz y polarización circular para las comunicaciones vía satélite.



Por todo lo discutido anteriormente, es evidente la necesidad de analizar con anticipación las ventajas y desventajas de los estándares y formatos existentes. Será difícil que los diferentes países que desarrollan las nuevas tecnologías lleguen a un acuerdo, especialmente si se considera la rapidez con la

cual se están modernizando. En la elección de cualquier sistema habrá que considerar sus ventajas, pero sin olvidar la aceptación que entre otros países pueda tener, pues no tendrá sentido tener la tecnología más avanzada si no hay con quien comunicarse.

I.5 BANDA C

Antes de entrar en la clasificación de las bandas de microondas es conveniente recalcar las razones por las cuales son éstas el medio idóneo para las comunicaciones vía satélite.

En primer lugar, las ondas electromagnéticas de alta frecuencia poseen el potencial para transmitir mayores cantidades de información, ya que al incrementar la frecuencia, cualquier ancho de banda se convierte en una fracción más pequeña de la frecuencia de operación. Por ejemplo, un ancho de banda de 1 MHz, localizado en la región de 10 MHz del espectro electromagnético, ocupa un espacio relativamente mayor al de ese mismo ancho de banda en la región de 10 GHz.

En segundo lugar, las microondas permiten utilizar antenas para el enlace de subida altamente direccionales. La física dicta que las ondas electromagnéticas se concentran con mayor facilidad por medio de una antena, que es considerablemente ma-

yor a la longitud de onda de la radiación que maneja. Por ejemplo, ya que microondas de 6 GHz poseen una longitud de onda de aproximadamente 5 cm, un plato de 5 m puede dirigir la mayoría de la radiación en un haz muy estrecho y potencia relativamente baja [CARRILLO, 1983].

Una tercera razón de la conveniencia de las microondas para las comunicaciones vía satélite es que no son tan susceptibles al ruido debido a desórdenes atmosféricos como transmisiones de frecuencias más bajas. Quizá la propiedad de las microondas que determina su utilización en este tipo de comunicaciones es su habilidad de pasar a través de la atmósfera superior hacia el espacio exterior. A frecuencias menores de 30 MHz una onda de radio es reflejada por la ionósfera.

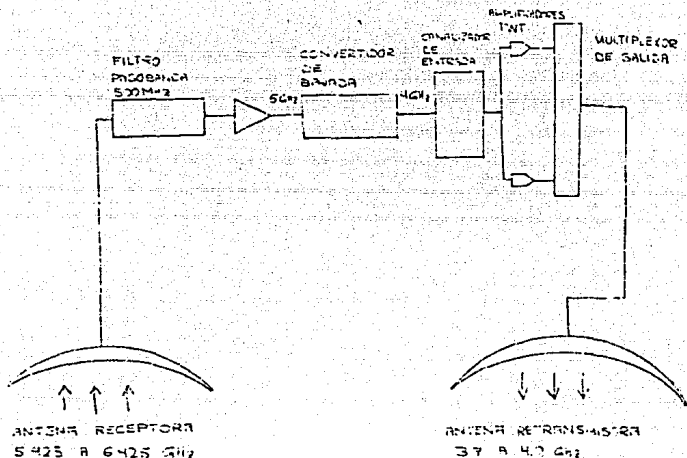
Por último, la región de microondas del espectro electromagnético era relativamente virgen hasta los años sesentas, cuando la Unión Internacional de Telecomunicaciones hizo las asignaciones. Las regiones inferiores del espectro ya estaban ocupadas, presentando incluso, en algunos casos, cierta saturación. Conforme se ha ido poblando el espacio orbital geosíncrono, microondas de frecuencia cada vez más alta han sido utilizadas para las comunicaciones vía satélite. Hasta principios de los años ochentas, la mayoría de las estaciones transmisoras utilizaban la banda C. Hoy en día, porciones de la banda Ku están siendo utilizadas e incluso usuarios potenciales contemplan bandas más altas.

BANDAS DE FRECUENCIA DE MICROONDAS

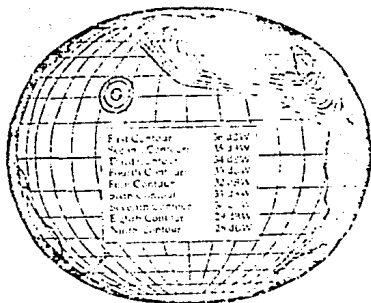
BANDA	L	0.39	a	1.55	GHZ
BANDA	S	1.55	a	5.2	GHZ
BANDA	C	3.70	a	6.20	GHZ
BANDA	X	5.20	a	10.9	GHZ
BANDA	K	10.9	a	36.0	GHZ

Los circuitos de banda C americanos utilizan un enlace de subida con un ancho de banda de 500 MHz en el rango de 5.925 a 6.425 GHz y para el enlace de bajada el mismo ancho de banda es transferido al rango de 3.7 a 4.2 GHz. Esta conversión de frecuencia reduce la interferencia terrestre de la estación receptora. El siguiente diagrama muestra el proceso de conversión que se lleva a cabo en el satélite.

ESQUEMA DE OPERACION DE UN SATELITE



Las ventajas de la banda C con respecto a la banda Ku consisten en que se tiene una menor absorción atmosférica, menor atenuación, menor ruido y una gran disponibilidad de tecnología desarrollada. Además, el direccionamiento de la antena es mucho menos crítico, ya que el haz del satélite es más amplio. Esto es fácil de observar en la huella de un satélite de banda C.



Se puede observar que la huella del satélite Galaxy I (134 grados longitud este, Hughes Galaxy Communications) es uniforme para todo el territorio de los Estados Unidos, y a la altura de la Ciudad de Mexico apenas se ha reducido el PIRE en 5 decibeles. Esta ventaja permite diseñar combinaciones amplificador-antena para poder captar señales fuera del área de cobertura primaria.

Las dos grandes desventajas de la banda C son, por un lado, el que servicios terrestres comparten dicha banda provocando interferencias y, por el otro, el congestionamiento de la órbita con satélites de este tipo.

I.6 BANDA KU

La nueva frontera de las comunicaciones vía satélite se encuentra entre los 10.95 y 12.75 GHz para recepción y 14 para transmisión. Uno de los aspectos más atractivos en el empleo de satélites de banda Ku para telecomunicaciones es que pequeñas antenas localizadas dentro del área primaria de cobertura del satélite proporcionan recepción equivalente a la de antenas mucho mayores en banda C. Los diseñadores de satélites pueden utilizar TWTA'S o SSPA'S de alta potencia sin temor de crear interferencia, ya que las comunicaciones terrestres no utilizan esa frecuencia.

Existe una relación directa entre la frecuencia y el ancho de haz; conforme aumenta la frecuencia, se reduce el ancho de haz de la antena transmisora del satélite. Es por esta razón que las señales de un reflector de banda Ku tienden a concentrarse sobre una porción menor de la superficie terrestre.

Una gran desventaja de la banda Ku es que es sumamente susceptible a la lluvia y a los gases atmosféricos. Las gotas de lluvia absorben la señal vía satélite, ya que el frente de onda esférico de la microonda transmitida se atenúa a lo largo de las diferentes capas atmosféricas. Para el diseño de una antena para banda Ku, será necesario hacer un estudio de precipi-

tación promedio anual, ya que en frecuencias superiores a los 7.5 GHz, la degradación de la señal del satélite a la Tierra es de hasta 9 dB [HOWARD, 1986]. La siguiente tabla muestra las ganancias de antena para banda C y para banda Ku.

BANDA	C		Ku (Am.)		Ku (Eu.)		DBS Ku	
	55%	70%	55%	70%	55%	70%	55%	70%
DIAMETRO	dBi	dBi	dBi	dBi	dBi	dBi	dBi	dBi
0.30	19	21	29	30	29	30	29	30
0.61	25	27	35	36	34	36	32	36
0.91	39	30	39	40	38	39	39	40
1.22	32	33	41	42	40	42	41	43
1.52	33	34	43	44	42	44	43	44
1.82	35	36	45	46	44	45	45	46
2.13	36	37	46	47	46	47	46	47
2.43	38	39	47	48	47	48	47	49
2.74	39	40	48	49	48	49	49	50
3.05	39	41	49	50	49	50	49	50
3.35	40	41	50	51	50	50	50	51
3.65	41	42	51	52	50	51	51	52
3.96	42	43	51	52	51	52	52	53
4.87	44	45	53	54	53	54	54	55
6.09	45	46	55	56	55	56	55	57

7.62	47	48	57	58	57	58	57	58
10.05	50	51	59	60	59	60	60	61

BANDA C						3.7 - 4.2 GHz		
BANDA Ku AMERICANA						11.7 - 12.2 GHz		
BANDA Ku EUROPEA			10.95 - 11.2 y			11.45 - 11.7 GHz		
BANDA Ku DBS						12.2 - 12.7 GHz		

La interpretación de huellas de banda Ku es muy similar a la de banda C. El ancho de haz estrecho, producido por las antenas transmisoras del satélite, permite proporcionar señales de mayor potencia a las áreas de cobertura preferentes, pero limita las posibilidades de recepción fuera de éstas.

Hoy en día existen receptores de banda dual, por medio de los cuales es posible recibir ambas bandas, siempre y cuando se cuente con los amplificadores y alternadores necesarios. Hay que tener cuidado de que al utilizar antenas de malla, las perforaciones de éstas no sean mayores a 1/10 pulgada para garantizar reflexión total, ya que la longitud de onda de banda Ku es tres veces menor a la de banda C.

Será interesante observar el desarrollo de la banda Ku en los próximos años, pero hasta entonces habrá que aprovechar la capacidad ya instalada en banda C del Sistema de Satélites Moteles.

CAPITULO II. EL SISTEMA MORELOS DE SATELITES

II.1 INTRODUCCION

En los últimos años, muchos países se han dado cuenta que sus necesidades de comunicaciones regionales o domésticas son tantas y tan variadas que no pueden ser satisfechas por el programa de renta de transpondedores de la organización Intelsat.

Desde hace varios años, se empezó a generar la utilización de los llamados satélites domésticos, que no son otra cosa que satélites asignados a zonas geográficas bien definidas (comúnmente un solo país) y en lugar de proyectar haces globales, iluminan con potentes señales territorios específicos sobre la superficie terrestre.

Ejemplo de estos satélites domésticos son los Anik para Canadá, los Satcom, Westar, Galaxy, Telstar y Spacenet para Estados Unidos, los Palapa para Indonesia y desde 1985 el Morelos I y II para México. Los satélites artificiales son hoy en día una excelente inversión; instituciones bancarias internacionales incluso proveen de fondos a naciones en desarrollo para proyectos de telecomunicaciones vía satélite.

En un futuro muy próximo, más de 40 países en todo el mundo contarán con satélites domésticos propios. Las posibilidades de comunicación en todos los ámbitos que se generan por este medio nos hacen sentirnos optimistas al considerar que una buena parte de la capacidad de esos satélites se utilizará con fines educativos.

De tal manera, no parece exagerado pensar que, para fines de este siglo, cualquier población sobre la superficie terrestre, sin importar continente ó nivel de desarrollo, podrá tener acceso a educación transmitida vía satélite.

No cabe duda que México podrá llegar a ser uno de los países más beneficiados, en primer lugar por lo disperso de su territorio y la mala distribución de la población. El territorio mexicano, con casi 2 millones de Km² de superficie y una población de más de 80 millones de mexicanos, es ideal para utilizar un sistema de telecomunicaciones vía satélite doméstico. La mayor parte de los habitantes del país se encuentra concentrada en un radio de 500 Km alrededor de la Ciudad de México. En esta zona, los servicios de comunicaciones presentan cierto grado de saturación y provocan la concentración de nuevos asentamientos humanos. Por consiguiente, los habitantes de territorios distantes como Chiapas, Oaxaca, Chihuahua, Sonora y Baja California carecen de las comunicaciones necesarias.

La implantación de un sistema de satélites domésticos en México aliviará estas carencias y de ser debidamente alcanzado, ayudará a la descentralización al ofrecer en cualquier punto de la República las mismas posibilidades de comunicación que se tienen en la zona central.

La segunda razón por la cual México se verá beneficiado por las comunicaciones vía satélite es su pronta incursión en esta tecnología con respecto a otros países. A pesar de que en un principio el proyecto Morelos ha adolecido de adecuada planeación, aún estamos a tiempo para sacar provecho y desarrollar al máximo las posibilidades ya en órbita. Se ha criticado la adquisición de una tecnología cuando no se tenía claro qué problemas podía resolver y es difícil concebir que un proyecto de tanta importancia para el desarrollo del país sea manejado por un pequeño grupo de una manera semi-secreta.

Es indudable que la alternativa educativa debe ser prioritaria en los programas del proyecto Morelos y a medida que se promueva la apertura para la participación en esta área, se aprovechará más eficientemente el satélite y comenzaremos a desarrollar una tecnología propia.

En nuestro país la asignación de telecomunicaciones públicas es responsabilidad del Estado a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (Dirección General de Telecomunicaciones). La SCT opera la red terrestre de microondas y fué la

que adquirió dos satélites para telecomunicaciones de la empresa Hughes Aircraft Company, de la serie Hs-376. Una vez que fueron lanzados y puestos en órbita, los satélites Morelos I y II en Julio y Noviembre de 1985, se comenzó la integración de las comunicaciones telefónicas y de datos a través de una red de terminales terrestres para banda Ku en toda la República. La telefonía rural constituyó uno de los programas prioritarios de la SCT y en la segunda etapa de desarrollo está planeado proporcionar servicios de telecomunicaciones a áreas rurales y sistemas de tráfico de datos punto a punto para usuarios particulares. De las 150 estaciones terrenas que se tenían en 1985, están programadas más de 1500 para fines de esta década [LANDEROS, 1985].

México es una nación en transición; más de una cuarta parte de su población tiene menos de 15 años y estos jóvenes necesitan una mejor educación si el país quiere progresar. Es uno de los propósitos de esta investigación contribuir al desarrollo de una tecnología propia que sirva para aprovechar los medios con los que se cuenta.

II.2 CAPACIDAD Y CARACTERISTICAS TECNICAS.

El SSM consta de dos segmentos fundamentales: el espacial y el terrestre. El segmento espacial comprende el conjunto de es-

taciones ubicadas en el espacio ó satélites de comunicaciones; el segmento terrestre está formado por el conjunto de estaciones de comunicaciones que se enlaza entre sí por medio del segmento espacial y que están ubicadas en la superficie terrestre.

El segmento espacial del SSM está formado por dos satélites Hughes de la serie HS-376, estabilizados por spin. El satélite Morelos F-I orbita a los 113.5 grados longitud oeste y el Morelos F-2 a los 116.5 grados longitud oeste.

El satélite Morelos F-I es el que se encarga de dar el servicio de telecomunicaciones desde la orbita geoestacionaria, mientras que el Morelos F-II gira en una órbita un poco más alta sin operar, ya que es un satélite de apoyo en caso de cualquier eventualidad.

Ambos satélites están diseñados para transmitir en dos bandas de frecuencia: la C, de 4/6 GHz y la Ku de 12/14 GHz. Cada satélite cuenta con 22 transpondedores (en cada transpondedor es posible manejar 1000 circuitos telefónicos ó un canal de TV). De éstos, 18 son en la banda C. Los transpondedores utilizan amplificadores de tubo de onda progresiva (TWTA) de 7 a 10.5 W que, agregados a la alta ganancia de la antena parabólica del satélite, producen una señal de transmisión con intensidad efectiva de 36 y 39 dBW para los transpondedores de banda

angosta y banda ancha respectivamente en polarizaciones cruzadas. Es importante señalar que los dos parámetros más importantes del satélite a nivel comunicaciones son la potencia de transmisión y el ancho de banda de sus transpondedores.

De los 18 transpondedores para banda C, 12 tienen un ancho de banda de 36 MHz, y 6 de 72 MHz. En general un transpondedor de 36 MHz tiene capacidad para manejar transmisiones de datos de hasta 60 millones de bits por segundo.

Los cuatro transpondedores de la banda Ku emplean TWTA'S de 19.4 W. Considerando la ganancia de la antena a esa frecuencia, proveen señal con intensidad de 44.3 dBW. El ancho de banda de estos transpondedores es de 108 MHz.

En el caso de banda C, las señales de 6 GHz se reciben en el reflector parabólico y se convierten a 4 GHz en dos de los cuatro receptores redundantes. La ganancia de cada canal se selecciona en un alternador de control remoto y los canales se enrutan a los TWTA por conmutadores redundantes.

Los multiplexores de salida combinan los diferentes canales y los enrutan para la transmisión. Del peso total del satélite (666 Kg), 145 Kg son de hidrosina, que es el combustible que se utiliza para accionar los propulsores ó cohetes del Morelos para llevar a cabo ajustes orbitales. Es precisamente la cantidad de hidrosina la que determina la vida del satélite y en

el caso del Morelos ésta será de 9 a 10 años, según el uso que se le dé.

La fuente primaria de alimentación eléctrica consta de un dispositivo de celdas solares montadas sobre el cuerpo cilíndrico del satélite, las cuales generan 940 W en corriente directa. Además, hay baterías de almacenamiento, las cuales generan 830 W para casos de eclipses o mala iluminación. La empresa COMSAT supervisa y controla la calidad y operatividad del equipo [GARRIDO, 1985].

La SCT anunció originalmente que las señales de video del Morelos F-I estarían restringidas a la banda Ku, ya que los transpondedores de banda C soportarían la alta densidad de tráfico telefónico de Teléfonos de México. Sin embargo, al calcular el costo de modificar las estaciones terrenas de banda C para que pudieran manejar señales de video en banda Ku, éste resultó ser muy elevado. Es por esta razón que actualmente el satélite Morelos F-I transmite 5 canales de TV (XEW-TV Canal 2 México, XHIMT Canal 7 México, XHDF Canal 13 México, XETV Cable-canal 7 México/San Diego y XHTV Canal 5 México.) en banda C.

A continuación se enumeran algunos de los parámetros más importantes del satélite Morelos:

CARACTERISTICAS FISICAS

Diámetro 2.16 m.
Altura 6.60 m.
Peso 666 Kg.
Vida útil 9 años

SUBSISTEMA DE COMUNICACIONES

Antena Parabólica

Tipo Apertura dual, Diámetro 1.0 m.
Longitud Focal 1.52 m.
Polarización lineal vertical y horizontal

Arreglo Planar

Tamaño 83.87 cm. x 39.89 cm
Polarización vertical

Transpondedor en banda C

Receptor, Preamplificador GaAs FET

Redundancia de ruido 3.8 dB

Número de canales 12 banda angosta
6 banda ancha

Ancho de banda de canal 36 MHz y 72 MHz

Redundancia 7/6 y 4/3

Control de ganancia del canal..0,3,6,9,dB atenuador comandable

Banda de frecuencia de la recepción 5.925 a 6.425 GHz

Banda de frecuencia en la transmisión.... 3.700 a 4.200 GHz

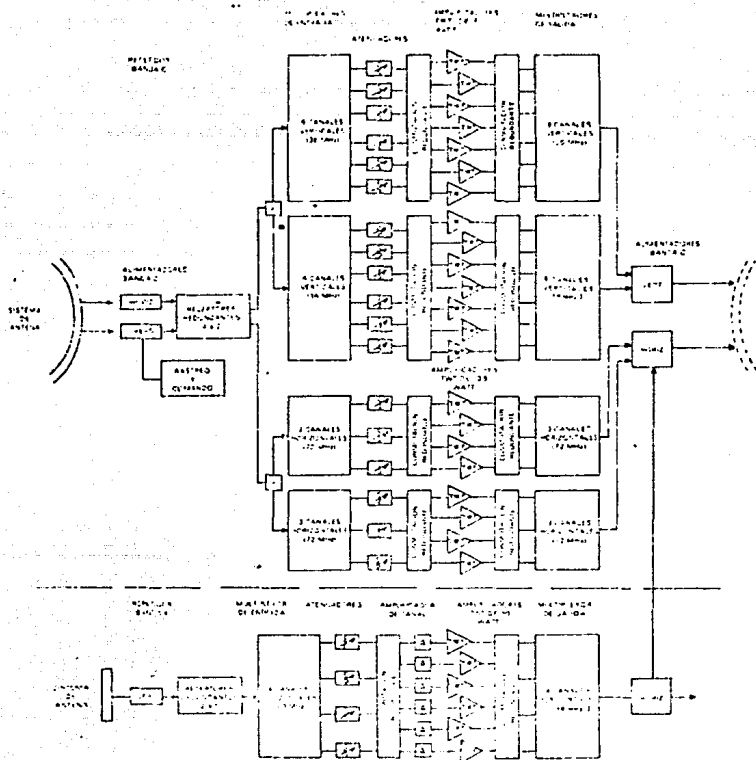
Potencia de los TWTA 7.0 W Banda Angosta
10.5 W Banda Ancha

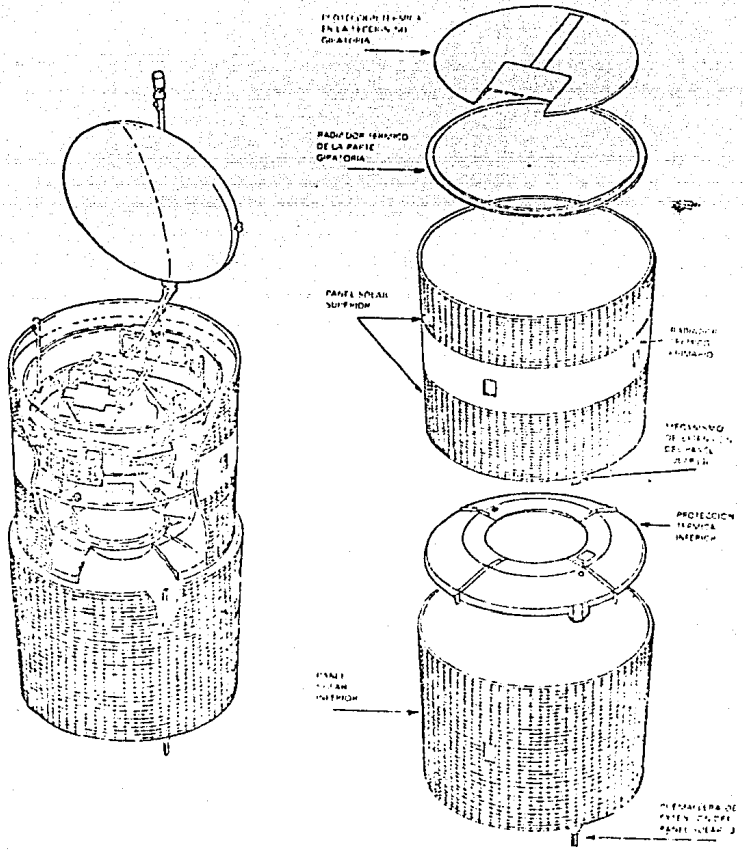
EIRP 36 dBW Banda Angosta
29 dBW Banda Ancha

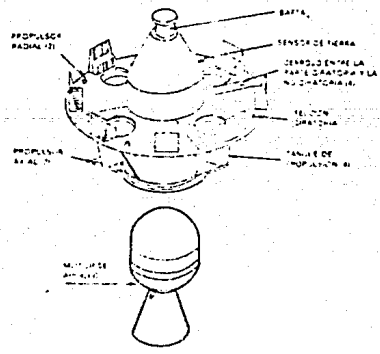
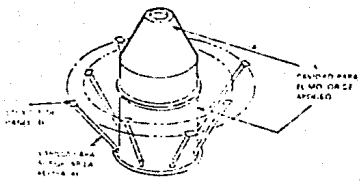
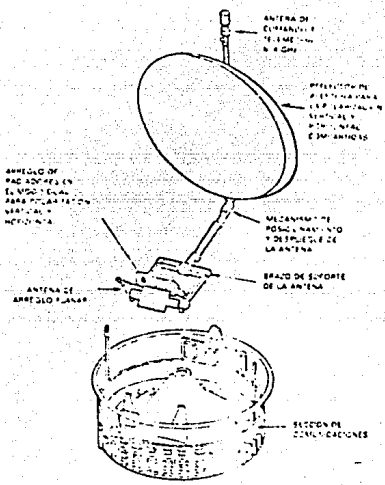
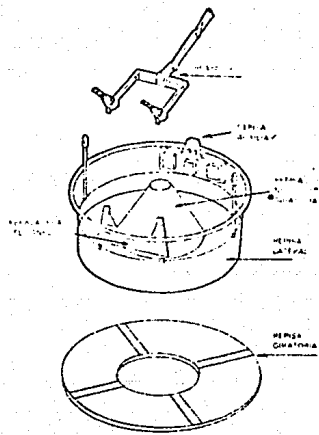
Adicionales al subsistema de comunicaciones, que es el mayor interés para nosotros, se encuentran los subsistemas de telemetría, comando, rango, control de orientación y propulsión. El subsistema de telemetría proporciona los datos para efectuar un rastreo constante del satélite. El subsistema de comando cuenta con decodificadores de giro y no giro redundantes individualmente etiquetados. El subsistema de control de orientación utiliza electrónica de control redundante con control de evaluación y de azimut. El subsistema de propulsión utiliza cuatro propulsores, dos radiales y dos axiales, operados con hidrosina. El subsistema de potencia eléctrica es dual, regulado con limitadores.

Los datos de telemetría que se reciben en el centro de control "Ing. Walter C. Buchanan" ubicado en Iztapalapa, permiten determinar el estado interno de los satélites, ubicar su posición a partir de la información de rango (elevación, azimut y distancia), enviar comandos para encender los cohetes impulsores y obtener grabaciones para el archivo de la historia del satélite.

A continuación se muestra una vista seccionada del satélite, así como el diagrama de bloques del subsistema de comunicaciones.



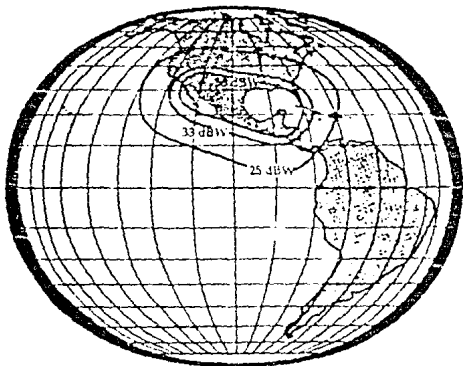


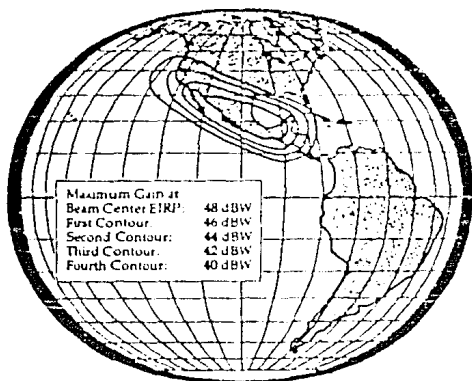


II.3 HUELLAS

Ya que los satélites Morelos F-I y F-II son del tipo doméstico, proyectan teóricamente un haz uniforme sobre toda la República Mexicana. Para banda C esto se cumple con bastante precisión, aunque experimentalmente hemos observado ligeras variaciones entre la polarización vertical y horizontal. El EIRP para banda C del satélite Morelos F-I es 36 dBW para todo el país.

A continuación se muestran las huellas tanto para banda C como para banda Ku.





II.4 APLICACION PARA SISTEMAS RURALES DE RECEPCION

La tecnología de los satélites incorporada al sistema de telecomunicaciones del país representa un avance importante en su desarrollo económico y social. La utilización de las bandas y la instrumentación de nuevos servicios dependen de las necesidades sociales y de la eficiente administración de los recursos. Supuestamente, la SCT puso a disposición de todos los sectores del país la capacidad de esta moderna tecnología.

Tomando éso en cuenta, proponemos la implementación de un sistema de recepción de televisión en banda C, el cual esté destinado a sectores rurales como escuelas, clubes, asociaciones o usuarios particulares.

La moderna tecnología integrada en el satélite Morelos permite pensar en un sistema de antena parabólica pequeña (menor de 2 m de diámetro) con excelente calidad de señal en cualquier punto de la República. En caso de resultar correcta la anterior aseveración, tendremos un sistema de recepción de costo tan razonable, que podrá ser accesible incluso para los sectores menos comunicados y marginados del país.

CAPITULO III. EL SISTEMA DE RECEPCION DE TELEVISION VIA SATELITE

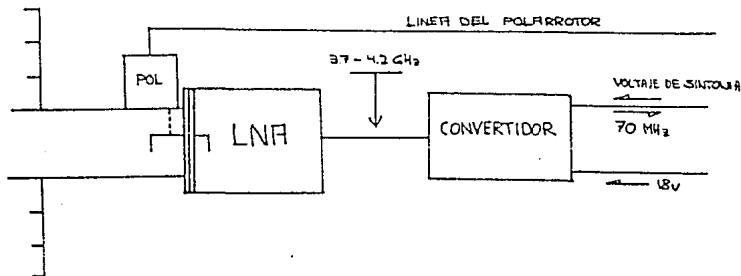
III.1 OBJETIVO ESPECIFICO

La recepción de TV vía satélite a nivel casero se convirtió en realidad con el éxito del experimento de Stephen Birkill en 1975. Conocida en el medio de comunicaciones como TVRO (Television Receive Only), es una industria que ha experimentado grandes avances en una sola década.

Es curioso que una tecnología desarrollada básicamente gracias a la demanda del mercado doméstico americano brinde hoy en día la posibilidad de servir a zonas rurales carentes de servicios de televisión. A pesar de que fueron los canadienses los primeros en hacer transmisiones de televisión en la banda C, una vez que las cadenas norteamericanas se dieron cuenta del potencial que ésto representaba, saturaron los satélites entonces existentes y para 1983 se transmitían cerca de 100 canales de TV. Debido a la idiosincracia del norteamericano, se pudo explotar eficientemente esta oportunidad. En un principio eran escasos y costosos los sistemas de TVRO disponibles. Muchos sistemas se ensamblaban del sobrante de sistemas de comunicaciones militares y es por eso que algunas de las caracte

ísticas de los sistemas de aquella época eran incongruentes con las necesidades del usuario casero: por ejemplo, era común hacer la conversión de frecuencia de 4 GHz a 70 MHz en el receptor, con lo cual había considerables pérdidas de señal en el cableado al LNA.

La idea de Clyde Washburn de separar el convertidor de frecuencia del receptor de canales dió origen a una segunda generación de sistemas para TVRO [MADDOX, 1985]. Este avance permitió colocar el convertidor de frecuencia muy cerca del amplificador de bajo ruido, con lo cual disminuían las pérdidas por cableado, ya que la frecuencia de interfase con el receptor era de 70 MHz. La utilización de un cable más barato (RG-6 en vez de RG-214), aunado a la introducción de los convertidores sencillos, trajo consigo la primera reducción considerable en el costo de estos sistemas.



Sin embargo, en poco tiempo surgieron las desventajas de este tipo de sistemas: el oscilador local del convertidor necesitaba un compensador de temperatura, ya que se encontraba en la intemperie, la división para instalación de múltiples receptores debía hacerse en alta frecuencia, lo cual implicaba equipo costoso y no siempre confiable, etc.

Debido a estos problemas y a la necesidad de los fabricantes y de los usuarios de establecer estándares para la industria, surgió la tercera generación de sistemas para TV vía satélite. En un principio fueron pequeñas compañías americanas, canadienses y mexicanas las que se dedicaron a fabricar los componentes del sistema. Cada una incluía en sus modelos los avances tecnológicos que ellas desarrollaban, con lo cual existían equipos con características muy variadas y que eran totalmente incompatibles entre sí. Conforme fue creciendo la demanda, se generalizaron las características de los aparatos y grandes empresas multinacionales incursionaron por primera vez en el mercado. Ejemplo de éstas son: California Amplifier, Scientific Atlanta, AVCOM, Chaparral Communications, Houston Tracker Systems, DX Communications, Drake, Luxor, M/A-COM, Uniden, etc. Sin necesidad de tener que hacer una regulación al respecto, estos fabricantes se fueron orientando hacia la técnica que se conoce como conversión de frecuencia en bloque (BDC). Se generalizó la utilización de la banda de 950 a 1450 MHz en el enlace receptor convertidor, con lo cual la selección de canales se efectúa en el receptor, mientras que la división de frecuen-

cia para receptores adicionales se lleva a cabo en una banda mucho menos crítica. Por otro lado, la tecnología para la fabricación de amplificadores de bajo ruido dió un gran salto con la incursión de circuitos GaAs FET. Más adelante se analizarán a fondo los diversos componentes del sistema TVRO.

Con la anterior descripción se pretendió hacer notar cómo lo que hace siete años costaba 10,000 dólares y tenía grandes impedimentos técnicos, hoy en día cuesta 500 dólares y tiene una calidad muy superior a la del sistema anterior. Actualmente es posible concebir una red rural de sistemas para TVRO y el contar con programación educativa y cultural en el satélite Morelos es vital. Técnicamente se tratará de resolver el problema en esta tesis. Sin embargo, aún quedan por solucionar los problemas políticos y burocráticos que en la actualidad impiden que se cuente con dicha programación.

III.2 DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA TVRO.

Se puede asumir que un sistema TVRO se compone de 4 elementos indispensables: la antena, el alimentador ó corneta, el amplificador de bajo ruido con convertidor de frecuencia integrado ó LNB y por último, el receptor de canales.

La antena de la estación terrena es, junto con el LNB, uno de los parámetros determinantes en la calidad de imagen. Su función es la de interceptar y capturar las débiles radiaciones de un satélite y concentrarlas en un punto. La calidad de la antena está determinada por su eficiencia para concentrar la señal reflejada en dicho punto y su capacidad de discriminación del ruido e interferencia. Más adelante se estudiarán los tipos de antenas utilizados en estaciones terrenas de TVRO y se propondrá una de acuerdo a nuestro objetivo. El alimentador, también conocido como corneta de alimentación, tiene la importante función de recoger las microondas concentradas por la antena y guiarlas hasta el amplificador de bajo ruido. Al igual que la antena, los alimentadores están diseñados para ignorar el ruido y las señales no deseables que estén fuera de su eje de cobertura. Es común que se integre en la corneta la selección de polaridad por medio de un transductor accionado por un servomotor. En el capítulo IV, se analizará a fondo la teoría del alimentador y su desarrollo hasta llegar al alimentador corrugado de 90 grados, que es el más común para aplicaciones de TVRO.

El amplificador de bajo ruido (LNA) es un componente vital, ya que es el encargado de transformar las débiles microondas guiadas por la corneta en impulsos electrónicos procesables. Su calidad es sumamente crítica y la tecnología para su fabricación es la que más tardó en desarrollarse. En un principio,

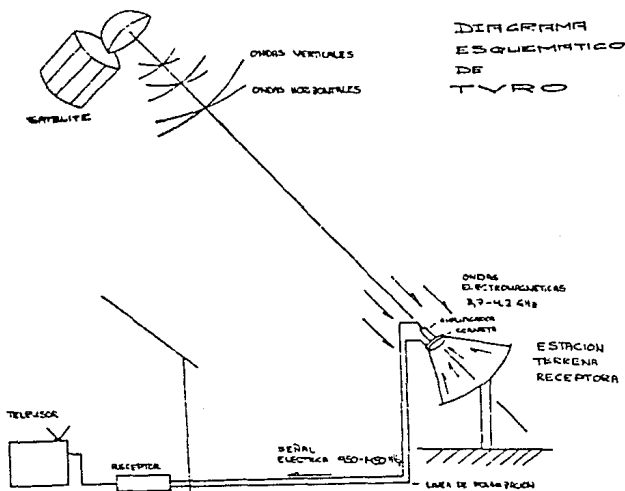
su función única era la de amplificar sin incluir la menor cantidad de ruido en la señal durante este proceso. Posteriormente se integró en este componente el convertidor de frecuencia que permite la interfase con el receptor y se evitaron así las pérdidas de cableado. A este nuevo componente se le llama LNB (Low noise block downconverter). En el capítulo VI se explicará el funcionamiento específico de este componente.

El último componente indispensable del sistema TVRO es el receptor de canales. Como su nombre lo indica, este elemento selecciona un canal dentro del ancho de banda y lo procesa en video y audio; por medio de estos tres ajustes, es posible sintonizar correctamente un canal. En el capítulo VI se describirán esquemáticamente los componentes del receptor y su función. Existen varios componentes complementarios como son los posicionadores automáticos, procesadores de estéreo, decodificadores, modulares, etc. Más adelante se mencionará su aplicación.

III.3 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN ENLACE TVRO

A continuación se puede observar el diagrama esquemático del sistema TVRO. La señal de alta frecuencia radiada por el satélite es reflejada por la antena y concentrada en un punto en el cual se encuentra la corneta de alimentación. Acoplado a ésta, se encuentra el amplificador de bajo ruido, el cual trans-

forma la microonda en una señal electrónica. Es el primer componente activo del enlace TVRO que amplifica y convierte frecuencia de banda C a la banda comprendida entre 950 y 1450 MHz. La señal convertida se transmite por cable coaxial al receptor, el cual selecciona canal y procesa la señal de televisión.



CAPITULO IV. EL ALIMENTADOR

IV.1 INTRODUCCION

El estudio de la transmisión y recepción de ondas electromagnéticas en sistemas de comunicación vía satélite difiere y es más sofisticado que el de comunicación directa común y corriente a bajas frecuencias. Las comunicaciones vía satélite tienen la limitante de que los niveles de potencia a los cuales se puede trabajar, son muy bajos.

A altas frecuencias, un elemento lineal, como lo es una antena de FM, no colecta suficiente señal. Por esta razón, en comunicaciones por satélite se utilizan superficies que concentran una gran cantidad de señal en el elemento lineal, para obtener así los niveles requeridos.

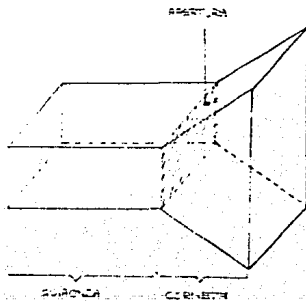
El estudio de la transmisión y recepción de microondas va más allá del análisis de los elementos lineales y es por ello frecuente el escuchar términos como "radiación desde aperturas" ó "guía ondas rectangulares".

La metodología que se sigue en el análisis de una antena consiste en considerarla como un transmisor. Esto es posible debi

do a que, una vez obtenidos los resultados, es posible suponer el caso inverso. Antes de proceder al diseño de la antena fue necesario determinar el tipo de alimentador, ya que, como se verá más adelante, su patrón de radiación está intrínsecamente relacionado con la ganancia del sistema.

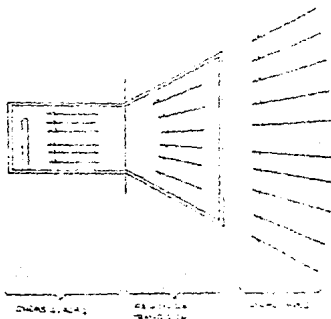
La corneta es el elemento que se encuentra en el punto focal de la antena y es la que se encarga de coleccionar la señal concentrada y encaminarla al amplificador de bajo ruido. No se considera dentro de la familia de las antenas debido a su directividad y ganancia tan baja. Sin embargo, las cornetas son frecuentemente utilizadas como medio de iluminación primaria para los reflectores parabólicos.

El análisis teórico contempla los dos elementos básicos del alimentador: la corneta y la guía onda. Para comprender el funcionamiento de una guía de onda se estudian conceptos de transmisión electromagnética. El análisis de la corneta se basa en la teoría de radiación electromagnética. La siguiente figura muestra el conjunto del alimentador:



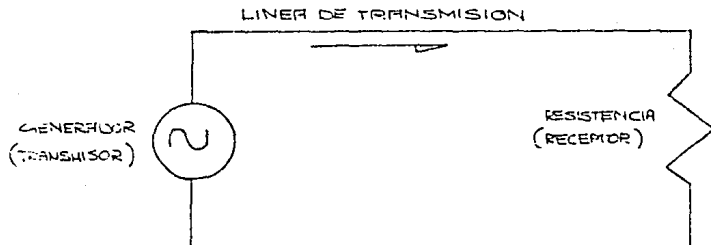
IV.2 LA TRANSMISION DE ENERGIA ELECTROMAGNETICA

Antes de profundizar en el análisis de la guía onda es necesario entender el concepto de la transmisión de energía, pues es precisamente uno de los objetivos de la guía onda el de transmitir ó guiar las ondas electromagnéticas hasta el punto donde las va a depositar, que es el elemento lineal. El siguiente dibujo muestra las etapas de funcionamiento de una corneta de TVRO:



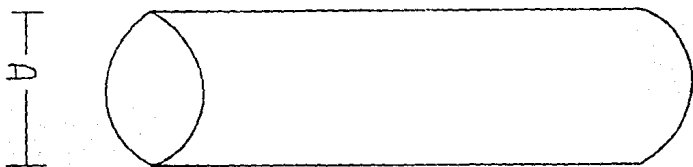
En el dibujo anterior se distinguen las dos partes del conjunto; corneta y guía onda. El efecto de transmisión de energía electromagnética se lleva a cabo en la guía onda, cuya teoría se desarrollará a continuación. La teoría de radiación electromagnética sirve de apoyo para el estudio de la corneta.

Para entender más fácilmente el funcionamiento de la guía onda, se puede hacer una comparación con una línea de corriente eléctrica que conduce la electricidad de un punto a otro. El caso ideal consistiría en transmitir sin pérdidas, pero desgraciadamente ésto no es posible. Para comprender el funcionamiento de una guía de onda como transmisor de energía, se hace una comparación con un circuito eléctrico sencillo: el generador, en un extremo, las líneas de transmisión y una resistencia como receptor en el lado opuesto:



Operando a frecuencias relativamente bajas, la línea de transmisión trabaja normalmente. Sin embargo, a frecuencias muy altas, la teoría clásica de circuitos ya no es válida y los parámetros del circuito se consideran como distribuidos, y no como concentrados [SILVER, 1949].

A frecuencias muy altas, un tubo de metal como el que se muestra en la siguiente figura puede funcionar como línea de transmisión de energía si consideramos microondas incidentes. No resulta difícil imaginarlo al hacer la comparación con un rayo de luz (que es una onda electromagnética), el cual puede ser guiado por una fibra óptica de un punto a otro.



TUBO METÁLICO QUE PUEDE FUNCIONAR
COMO GUÍA ONDA

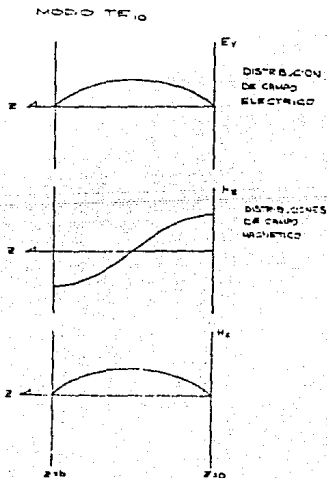
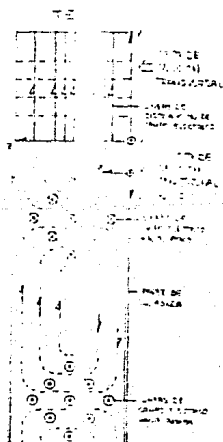
Para tener una referencia, una pieza como la de la figura anterior transmitirá las ondas electromagnéticas dependiendo de cual sea su longitud de onda. El umbral será cuando la longitud de onda coincida con el diámetro del tubo.

Las líneas de transmisión tienen diversas formas o modos en los que son capaces de transmitir. Los dos grupos principales son:

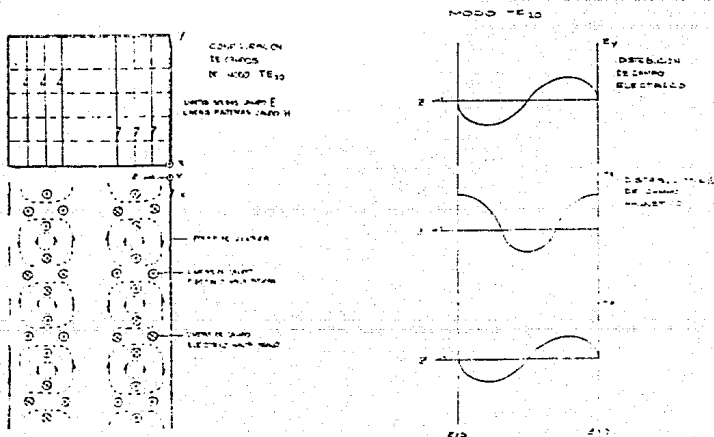
- 1) Los transmisores transverso-electro-magnéticos (TEM)
- 2) Los transmisores de orden superior.

En el modo TEM tenemos como ejemplo los cables coaxiales, donde los campos magnético y eléctrico, son siempre transversales a la dirección de la transmisión. Por otro lado, en los de orden superior se busca precisamente que exista componente de campo eléctrico en la dirección de propagación. La corneta y la guía de onda se clasifican dentro de este segundo grupo.

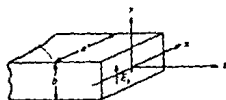
La función de la guía onda es, como su nombre lo dice, transmitir las ondas desde la boca de la corneta hasta el elemento. La distribución de los campos eléctrico y magnético que se da dentro de este espacio está calculada para que tome la forma que muestra el siguiente dibujo:



Las siguientes gráficas nos indican la variación de los campos eléctrico y magnético dentro de una pieza rectangular. A este modo de distribución de campo en una guía onda se le conoce como modo TE-1,0. El subíndice 1,0 nos indica las veces que cabe la longitud de onda del campo eléctrico (primer subíndice) y las veces que cabe la longitud de onda del campo magnético (segundo subíndice) dentro de este espacio. La siguiente figura muestra una distribución tipo TE-2,0 que sirve para aclarar el concepto y sus gráficas de variación:



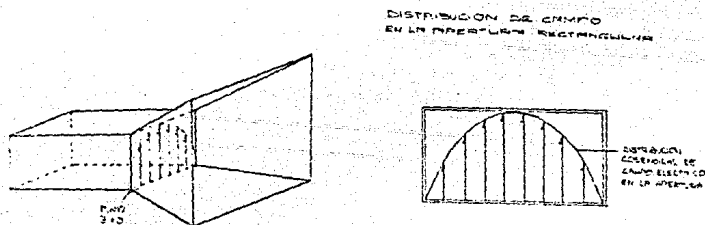
El modo más utilizado para analizar el comportamiento de la guía onda, independientemente de que su sección transversal sea un rectángulo u otra forma, es el modo dominante TE-1,n por ser el menos complejo, además de que maneja una sola componente de campo eléctrico [RAMO, WHINNERY y VAN DUZER, 1984]. Cuando la sección transversal es una circunferencia, el modo dominante de propagación es el TE-1,1. Para el caso de una sección transversal rectangular, el modo dominante de propagación es el TE-1,0. Las ecuaciones de las componentes de campo eléctrico y magnético se calculan a partir del siguiente dibujo:



$$E_y = E_0 \cos (\pi x/a)$$

$$H_x = - Y_w E_0 \cos (\pi x/a)$$

Una vez conocida la distribución de campo en la guía onda, se conoce a su vez la distribución en su apertura, que para el dibujo anterior sería cuando $z=0$. En ese plano la distribución es cosenoidal y si lo observamos de frente, señalando la distribución de campo eléctrico, se verá así:



La forma que toma la distribución de campo en la apertura, la cual es el punto final del recorrido de las ondas electromagnéticas a través de la guía onda, nos permite pasar a la teoría de transmisión por medio de radiación. Debido a que en este caso se trata simplemente de una distribución cosenoidal, es posible hacer una sustitución de una cosenoide en la transformada de Fourier de la apertura cuya radiación queremos calcular.

IV.3 LA RADIACION

Se entiende por radiación al punto de transición entre la onda guiada por la antena y la onda viajando libre en el espacio. La antena ó corneta, es el elemento mecánico que hace posible dicha transición. Generalmente, se busca que la corneta proyecte de acuerdo a las necesidades específicas del sistema de comunicación. En otras palabras, dependerá del elemento radiador la forma y dirección que tome la onda en el espacio.

A la forma y dirección que toman las microondas en el espacio se le conoce con el nombre de patrón de radiación de la antena. Antes de entrar en el análisis del patrón de la corneta que utilizaremos, es necesario estudiar el concepto de radiación desde aperturas.

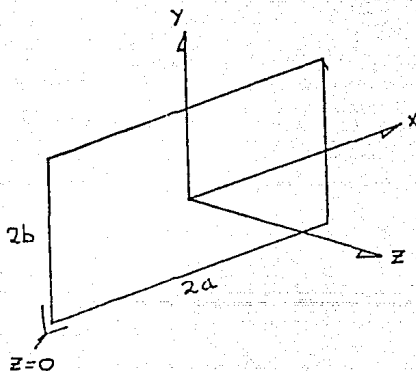
IV.4 RADIACION DE APERTURAS

Una vez que se conoce la distribución de campo en la apertura ó boca de la guía onda, se puede calcular su patrón de radiación. Dicho cálculo utiliza la transformada de Fourier como principal herramienta. En el presente estudio nos concre-

tamos a analizar modelos ya existentes y adaptarlos a nuestras necesidades.

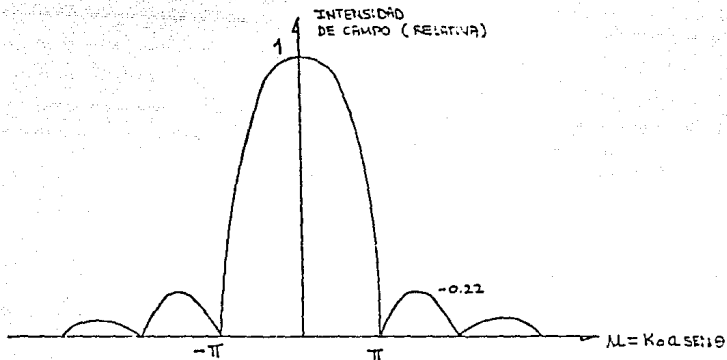
La radiación que produce una apertura rectangular y una circular sirven para ese fin. Considerando inicialmente que la distribución de campo en ambas aperturas es constante, como se ve en la siguiente figura (rectángulo) [COLLIN, 1985]:

APERTURA RECTANGULAR CON CAMPO CONSTANTE



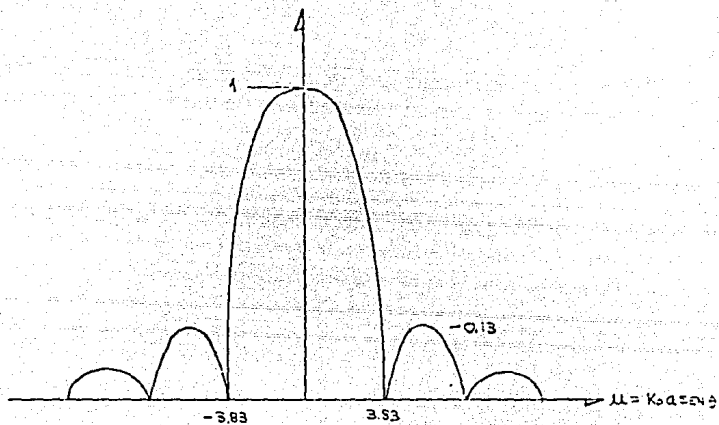
el patrón de radiación es como sigue:

PATRÓN DE RADIACIÓN DE UNA APERTURA RECTANGULAR



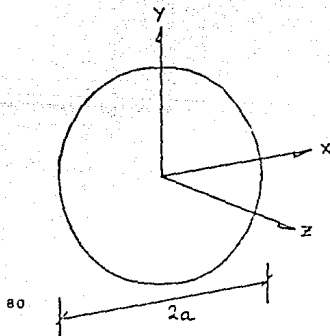
El ancho de haz del lóbulo principal abarca desde $-\pi$ hasta π . El primer lóbulo lateral se encuentra en -0.22 abajo, con respecto a la potencia total relativa del lóbulo principal. La radiación desde una apertura circular, como la que se muestra en la siguiente figura:

PATRÓN DE RADIACIÓN DE UNA APERTURA CIRCULAR



produce un patrón de radiación así:

APERTURA CIRCULAR CON CAMPO CONSTANTE



El ancho total del haz del lóbulo principal abarca desde -3.83 hasta 3.83, lo cual es mayor que el de la apertura rectangular. Por lo tanto, la radiación es menos directiva en este segundo caso. Por otro lado, el primer lóbulo lateral se encuentra a -0.13 con respecto a la unidad, lo cual, en cambio, es una ventaja, pues concentra menor cantidad de energía en otras direcciones a la deseada. Como se dijo con anterioridad, esto es válido igualmente para el caso de un transmisor que para el de un receptor.

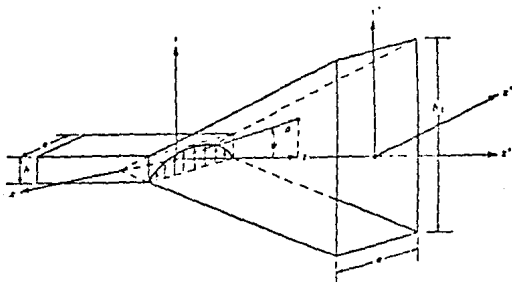
IV.5 LA CORNETA

La segunda etapa del alimentador es la corneta, con la cual se descubrió que se puede obtener un menor ancho de haz y, por lo tanto, una mayor directividad que la que proporciona una guía onda simple.

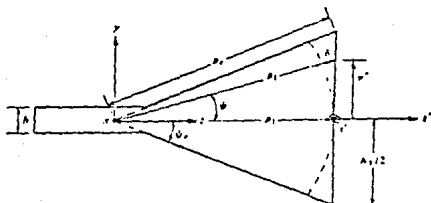
La corneta permite encaminar las microondas en dirección de los bordes, por lo que el campo proyectado resultante tendrá la forma de una onda cilíndrica, con un frente de fase constante y circular. En realidad, este frente debe de ser plano para evitar problemas de interpretación en el arribo. Sin embargo, se ha calculado un margen admisible de error, el cual es menor a $\pm\pi/4$ en los extremos de la corneta.

Esta es una de las razones principales por la cual la aplicación de este tipo de cornetas es muy limitada. El abrir en exceso los extremos de la corneta, buscando mejorar el patrón de radiación, significa perder información.

A continuación se muestran una serie de ecuaciones por medio de las cuales se calcula el patrón de radiación de una corneta rectangular. Los parámetros que intervienen en el diseño son: dimensiones de la corneta, longitud de onda y distribución de campo en la apertura [CLARRICATS, 1984].



(a) E-plane horn



(b) E-plane view

las variables involucradas son:

- E1 - distribución de campo en la apertura
- a y b - dimensiones en la apertura de la corneta
- K - vector de propagación constante ($K = 2\pi/\tau$)
- σ - dimensión de la sección transversal de la corneta
- r - distancia de observación
- τ - longitud de onda

para el plano H :

$$E_r = E_\phi = 0$$

$$E_\theta = -J [a/(\pi K\sigma) E_1 e^{-JKr}]/8r (1 + \cos \phi [\cos(Ka/2 \sin \phi) / (Ka/2 \sin \sigma)^2 - (\pi/2)^2] f(t_1', t_2'))$$

donde:

$$f(t_1', t_2') = [C(t_2) - C(t_1)] - J [S(t_2) - S(t_1)]$$

y las variables t_1' y t_2' :

$$t_1' = -(b/2)/(\pi K\sigma) \quad t_2' = (b/2)/(\pi K\sigma)$$

para el plano E ($\phi = \pi/2$)

$$E_r = E_\phi = 0$$

$$E_0 = -J [a/(\pi K \sigma) E_1 e^{-JKr}] / 8r \{-e(j\sigma \sin' \phi/2) (2/\pi) (1+\cos\phi) [f(t_1, t_2)]\}$$

siendo:

$$f(t_1, t_2) = [C(t_1) - C(t_2)] - J [S(t_2) - S(t_1)]$$

C(x) y S(x) son integrales de Fresnel que se calculan a partir de:

$$C(x) = \int_0^x \cos [(\pi/2)t^2] dt$$

$$S(x) = \int_0^x \sin [(\pi/2)t^2] dt$$

y las variables t1 y t2 se calculan:

$$t_1 = \sqrt{(K/\pi\sigma)} [- (b_1/2) - \sigma \sin \phi]$$

$$t_2 = \sqrt{(K/\pi\sigma)} [+ (b_1/2) - \sigma \sin \phi]$$

IV.6 LA CORNETA CORRUGADA

La corneta corrugada es el producto de varios años de investigación y viene a resolver el problema del espaciamiento que

guardan los satélites en la órbita geostacionaria. Desde que se redujo a 2 grados el espaciamento para los satélites de banda C, se hizo necesario que los lóbulos laterales de los patrones de radiación de las estaciones terrenas tuvieran un nivel inferior en 35 dB a aquél del lóbulo principal, para evitar interferencia entre satélites adyacentes.

Por otro lado, se encontró que para el mejor aprovechamiento del ancho de banda del satélite era conveniente polarizar ortogonalmente los canales adyacentes y eliminar esta segunda posible interferencia. El polarizar los canales significa que los canales pares viajen en ondas electromagnéticas cuyo campo eléctrico avanza en posición vertical, mientras que los canales impares se transmiten en ondas cuyo campo eléctrico está en posición horizontal.

Esto representó un reto para los diseñadores de cornetas pues, además de que era necesario que la corneta tuviera un ancho de haz grande, debía radiar los lóbulos laterales con un nivel extremadamente bajo comparado con el principal.

Una guía onda muy sencilla que maneja una polarización cruzada con niveles abajo de los -30 dB, es la de forma circular excitada en el modo dominante TE_{1,1} y con un diámetro dentro de un rango de 0.8 a 1.15 veces la longitud de onda que esté trabajando. Sin embargo, este alimentador tiene un ancho de haz muy abierto, con lo cual sólo tiene aplicación para la ilu-

minación de reflectores parabólicos cuya apertura angular esté alrededor de los 115 grados ó, dicho de otra manera, con relación foco-diámetro de 0.45. Esto corresponde a una parábola muy poco profunda.

Para lograr que el alimentador tenga una mayor directividad, manteniendo bajos niveles en la polarización cruzada, es indispensable incrementar la apertura de esta guía onda y excitarla con una combinación de los modos TE-1,1 y TM-1,1. Existen varios métodos para lograr este objetivo; entre ellos están las guía ondas tipo doble modalidad y la implementación de corrugaciones en la pared de una corneta cónica [CLARRICOATS, 1984 y SILVER, 1949]. La siguiente figura muestra este último tipo:



En una estructura de este tipo, el modo dominante de propagación se llama híbrido, ya que es una combinación de los mo-

dos TE-1,1 y HE-1,1. Se ha encontrado que una corneta corrugada de este tipo, utilizada como alimentador primario para un reflector parabólico, puede tener una eficiencia de hasta un 84 % .

Actualmente, es éste el tipo de alimentadores que se utilizan en la recepción de televisión vía satélite. La empresa americana Chaparral Communications desarrolló un alimentador corrugado a 90 grados, cuyas características son ideales para TVRO. Decidimos utilizar éste último ya que, además de las anteriores razones, tiene un rango considerable de iluminación, lo cual permite diseñar la antena de acuerdo a nuestras necesidades específicas.

CAPITULO V. DISEÑO DE LA ANTENA

V.1 INTRODUCCION

La antena del sistema para recepción de TV vía satélite es el primer elemento que interfiere directamente el paso de las microondas transmitidas por el satélite. Su objetivo es el de reflejar y concentrar dichas señales de manera que puedan ser procesadas después del recorrido de 22300 millas, durante el cual sufren pérdidas de hasta 196 dB en banda C.

Se utilizan diversos tipos de antenas para los enlaces vía satélite; reflector parabólico de foco principal, reflector parabólico con subreflector hiperbólico, reflector elíptico con focos múltiples, reflector de lentes de fresnel y también el nuevo tipo de antenas planas para DBS. Sin embargo, la antena de mayor uso en estaciones terrenas de TVRO es el reflector parabólico simple.

Existen varias razones que justifican este hecho. Teóricamente, una parábola tiene la propiedad de concentrar en un punto focal las señales que inciden en ella paralelas entre si y a su eje. En la práctica esto no se cumple, ya que es imposible dar la curvatura exacta a la superficie de la antena. A pesar

de esto, la eficiencia de los reflectores parabólicos resulta ser considerablemente mayor a la de otras antenas. Además, las variaciones de profundidad nos permiten ajustar la directividad de la antena de acuerdo a nuestras necesidades concretas.

Una razón muy importante para utilizar los reflectores parabólicos es su bajo costo de producción. Considerando que el sistema propuesto en esta tesis es para aplicación rural, el costo es sin duda alguna, un factor determinante y eso nos inclinó a decidirnos por un reflector parabólico como elemento primario del sistema de TVRO. Otra razón importante que justifica esta decisión es el que los alimentadores comerciales para esta aplicación están diseñados para trabajar con este tipo de antenas. Uno de los objetivos principales es el de llegar hasta el modelo real del sistema para dar así una mayor validez a este trabajo. En el caso del alimentador, el amplificador y el receptor, nos ajustaremos a los componentes comercialmente disponibles tomando en cuenta sus características y su costo.

V.2. PARAMETROS DE LA ANTENA

Para los enlaces de comunicaciones via microondas, el arreglo de antena más utilizado es el parabólico, debido a dos ra-

zonas principales. Una de ellas es la propiedad de la parábola de rebotar paralelas a su eje axial, a las microondas emitidas desde su punto focal. Esto significa que la transmisión de las ondas electromagnéticas se puede dirigir a un punto en particular. La segunda razón tiene algo que ver con este hecho, ya que el poder concentrar la transmisión en un haz permite que, prácticamente, no haya pérdidas de energía en direcciones no deseadas.

La aplicación de estas dos ventajas es muy clara si se considera el enlace de comunicaciones vía satélite, ya que la estación terrena debe hacer llegar la señal al satélite con la máxima potencia posible y sin interferir con satélites adyacentes. En el caso del enlace de bajada, que es el de interés para nuestro estudio, el satélite cubre una superficie determinada. Para los satélites Morelos, el área de cobertura comprende la República Mexicana, la cual es iluminada con un nivel máximo de señal uniforme en todo el territorio. La utilización de una antena parabólica en la estación terrena de recepción permitirá concentrar los rayos paralelos descendentes en su punto focal y poder llevar a cabo una buena amplificación. A continuación se citan los parámetros de la antena que son necesarios para efectuar el diseño:

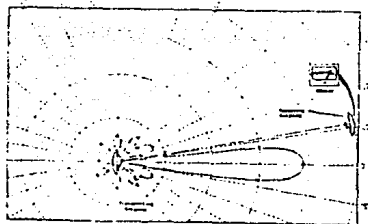
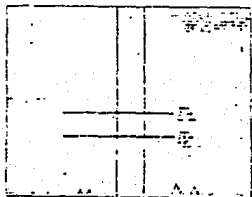
a).- Patrón de radiación y ancho de haz de potencia media.

b).- Directividad

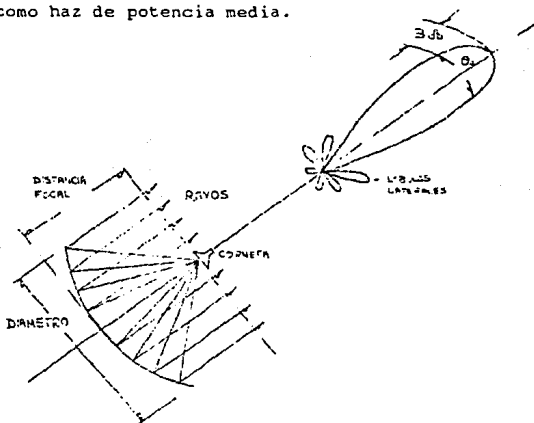
c).- Ganancia

a) Patrón de radiación y ancho de haz de potencia media.

El patrón de radiación de la antena se puede representar por medio de una gráfica de intensidad de campo (ó potencia) contra el ángulo de observación. La parábola radia con máxima intensidad en la dirección de su eje axial, el cual corresponderá al ángulo 0 de observación. Sin embargo, también existe radiación en otras direcciones, aunque son de menor intensidad. En las siguientes gráficas se observa claramente la radiación de la antena parabólica.



El lóbulo principal es el de mayor interés, ya que la potencia máxima se encuentra a los 0 grados. Cuando la potencia tiene un nivel de 3 dB por debajo del valor máximo, se tiene la mitad de la potencia y este punto es clave, ya que para los cálculos de enlace no se considera la potencia máxima, sino lo que se conoce como haz de potencia media.



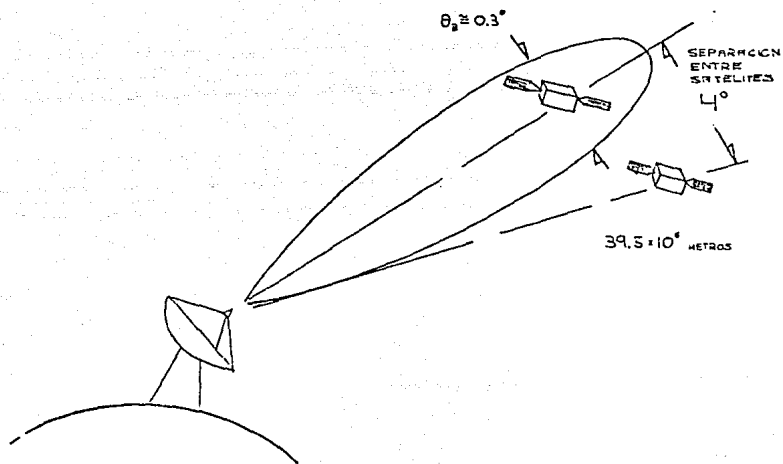
Los lóbulos laterales son radiaciones asociadas a la del lóbulo principal y son los causantes de la interferencia. Es precisamente en la dirección que indican los lóbulos por donde se escapa o se filtra señal en la antena. Esto se cumple tanto para antenas transmisoras como para antenas receptoras. Los patrones de radiación mostrados en las dos primeras figuras se obtuvieron de mediciones experimentales, sin embargo, existen métodos matemáticos para determinarlos. La forma del patrón de radiación depende de los siguientes factores: dimensión de la

parábola, relación foco-diámetro, material reflejante y tipo de iluminación de la corneta.

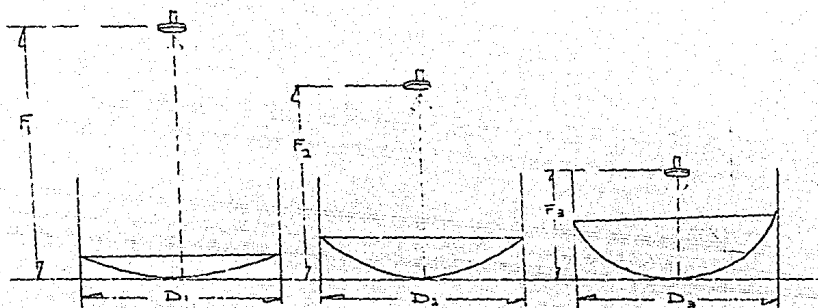
El diámetro de la antena es inversamente proporcional al ancho de haz de potencia media de su patrón de radiación. La siguiente aproximación describe con bastante precisión este fenómeno [BOSTICK y FANNETTI, 1984]:

$$\phi_3^* = 18,28/fD \text{ (grados)}$$

Dada una frecuencia, podemos aumentar el ancho de haz disminuyendo el diámetro de la antena. Sin embargo, al reducir el diámetro, se reduce proporcionalmente la ganancia. Teóricamente, también sería posible hacer variar la frecuencia de la señal hasta llegar a un valor óptimo pero, debido a que estamos trabajando con microondas de la banda C, la frecuencia es un parámetro fijo. Más adelante se determinará el diámetro de la antena y con él, será posible calcular el ancho de haz de potencia media. En la siguiente figura se aprecia el lóbulo principal de una antena transmisora y el rango que ocupa para no interferir a satélites adyacentes con separación mínima de 4 grados.



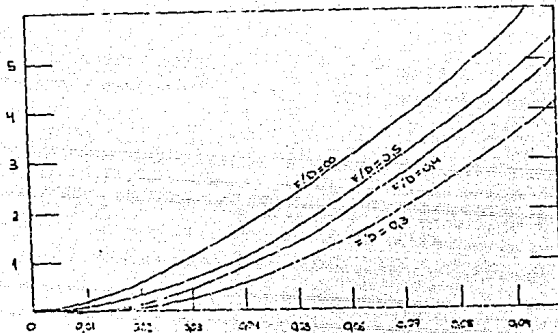
La relación foco-diámetro es, en pocas palabras, la comparación de antenas parabólicas que, teniendo el mismo diámetro, tienen diferentes distancias focales dependiendo de su profundidad.



$$D_1 = D_2 = D_3$$

$$F_1/D_1 > F_2/D_2 > F_3/D_3$$

El poder variar la distancia focal de la antena receptora permite disminuir la interferencia que se filtra por los lóbulos laterales del patrón de la antena. En la siguiente figura se observa cómo las señales de interferencia se filtran hasta la corneta de alimentación por un efecto conocido como difracción. Esta es una desviación que sufren los rayos que vienen de la parte posterior del plato y al incidir en la corneta, la penetran. De ser algunos de estos rayos iguales eléctricamente a los emitidos por el satélite, pero defasados, se cancelan unos a otros disminuyendo el nivel original de la señal. En las siguientes gráficas se observa la relación del parámetro f/D con E/r , y la pérdida contra A/r [BOSTICK y FANNETTI, 1984].



→ DESVIACIÓN REAL EN LA SUPERFICIE [RMS] E/λ

↑ PERDIDAS [dB]

$$F/D = \frac{\text{DISTANCIA FOCAL}}{\text{DIÁMETRO}}$$

E = TOLERANCIA DE LA SUPERFICIE EN RMS

λ = LONGITUD DE ONDA

Se observa que la antena parabólica es menos sensible a pérdidas por irregularidades en el material reflejante conforme se reduce la relación f/D . Generalmente, el material utilizado como reflejante produce pérdidas en la señal. Aunque la diferencia no es determinante, el orden de la calidad del reflejante es como sigue: cobre, aluminio y por último, acero. Por otro lado, la eficiencia de la antena es mayor cuando el material reflejante es continuo; en otras palabras, es mejor una antena sólida que una antena de malla, ya que la resistencia superficial de ésta última es mayor.

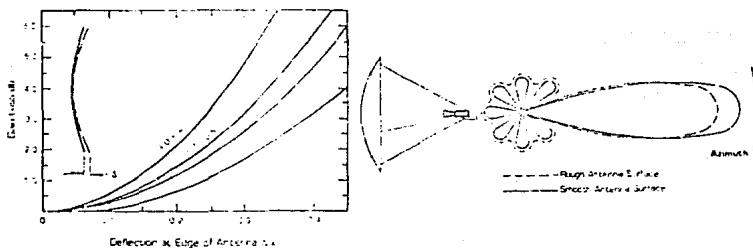
Para que la malla se comporte como un cuerpo opaco a las microondas y las rebote, la apertura máxima de la malla debe ser menor a 10λ de la longitud de onda en cuestión. Al utilizar malla es también importante considerar su rugosidad. Una aproximación para calcular este parámetro es como sigue [TRAISTER, 1982]:

$$\text{Pérdidas} = 800 (R/r)^2$$

R= RMS de la rugosidad

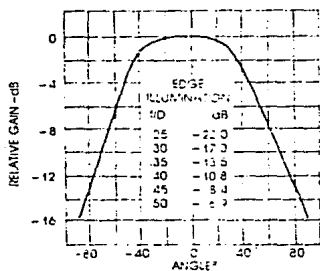
r= longitud de onda

Es evidente que, mientras más liso sea el material, menor será su rugosidad y, por lo tanto, menor será la atenuación que produzca en la señal. En la siguiente figura se muestra como varía el patron de radiación para una superficie rugosa.

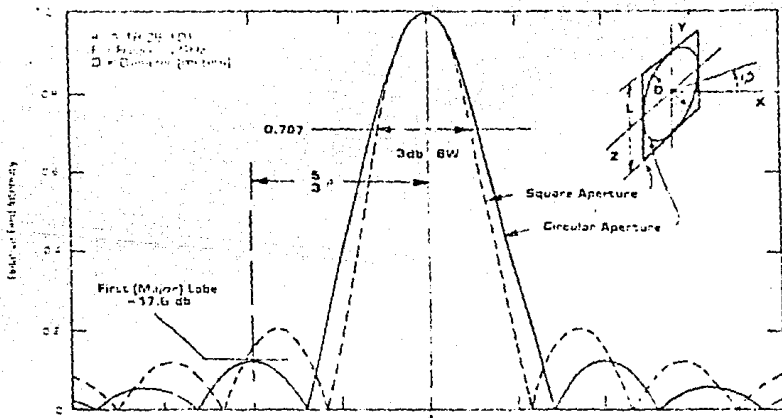


Otro fenómeno que se presenta con rugosidades muy elevadas es que la señal no conserva las polaridades perfectamente ortogonales, con lo cual se dificulta el proceso de discriminación entre ambas en la corneta.

Como se estudió en el capítulo IV, el alimentador se comporta como una antena que posee un patrón de radiación diseñado para iluminar perfectamente la parábola. Como mencionamos con anterioridad, este patrón de iluminación no es constante en todas direcciones y la máxima intensidad coincide con el eje axial de la parábola.



Al incrementar el ancho de haz de la corneta en comparación con el diámetro de la antena, es posible uniformizar el patrón de iluminación de manera que sea prácticamente constante. Cuando la parábola recibe una iluminación constante por parte de la corneta, los lóbulos laterales de su patrón de radiación se incrementan, acarteando las desventajas antes descritas. Para este caso, los lóbulos laterales se encuentran 17.6 dB por debajo del máximo, como se aprecia a continuación [UNAM, 1983]:



Cuando la distribución en la iluminación se ajusta al contorno de la antena, este lóbulo lateral disminuye. Por ejemplo, si la distribución de la iluminación es aproximadamente $\cos^2\pi(D/r)$, el primer lóbulo lateral se encuentra 30 dB abajo del máximo. En este punto se evita la posible interferencia, pero al aumentar el ancho de haz, se sacrifica la ganancia. Al tener una antena de 3 metros de diámetro con iluminación constante, la ganancia aproximada es de 39.53 dBi. Si requerimos esta ganancia, pero cambiamos la corneta para tener iluminación máxima, se necesitará incrementar el tamaño de la antena 1.127 veces. Para el caso práctico consideraremos el patrón de iluminación de una corneta comercial.

b) Directividad

Se conoce como directividad a la capacidad de una antena de concentrar la potencia radiada en una dirección específica. Este parámetro está definido como la variación de la intensidad de la radiación de una antena con respecto a la dirección en el espacio. Por lo tanto, la directividad es una función que depende de la dirección.

$$d(\theta) = \frac{\text{Potencia radiada/Unidad de ángulo sólido}}{\text{Promedio de potencia/Unidad de ángulo sólido}}$$

Promedio de potencia/Unidad de ángulo sólido

Para comprender mejor este concepto es necesario recurrir al ancho de haz de potencia media de la antena parabólica, el cual se calcula con la siguiente ecuación:

$$\phi_3' = 18,28/fxD$$

Como se mencionó anteriormente, este valor es más pequeño conforme aumenta el diámetro de la antena, lo cual quiere decir que mientras mayor sea la antena, más directiva será para una longitud de onda fija. La ecuación para la directividad máxima de una antena parabólica es :

$$d = (\pi D/r) N_s N_a$$

donde:

d = directividad

D = diámetro de la antena

r = longitud de onda

N_a = eficiencia de apertura (N_a = N_i N_p N_x)

N_s = eficiencia de desborde

N_a está definida por tres tipos de eficiencia que se calculan en base a pérdidas que se presentan en antenas de apertura, como es el caso de las parabólicas.

N_i = pérdidas debidas a una iluminación no constante, por lo que existe desaprovechamiento de la superficie de reflexión.

N_p = pérdidas debidas a defasamientos en la apertura.

N_x = Pérdidas debidas a cruzamientos en polaridad

Por otro lado, la eficiencia de desborde (spillover N_s) contempla las pérdidas que se presentan entre la corneta y la antena, ya que no toda la energía radiada por la corneta se refleja en el plato. Esto se debe primeramente, a los lóbulos laterales de la corneta y a que, por la iluminación de la corneta, se desaprovecha energía del lóbulo principal.

c) Ganancia.

La ganancia de una antena está directamente relacionada con su directividad a través del factor de eficiencia:

$$G_a = N_f d$$

donde:

N_f = eficiencia de la corneta.

d = directividad de la antena.

Sustituyendo el término anterior de directividad en esta ecuación se tiene:

$$G_a = N_f N_s N_x N_p N_i (\pi D/r)^2$$

ó

$$G_a = N_{\text{total}} (\pi D/r)^2$$

Y si se expresa el término de ganancia en función de la directividad se tiene:

$$G_a = N_f \epsilon_I / \epsilon_P$$

ϵ_I = ángulo de radiación de una antena isotrópica

ϵ_P = ángulo de radiación de una antena parabólica.

Por lo tanto, $\epsilon_I = 41,253$ ángulos cuadrados de una esfera, con lo cual la relación ϵ_I / ϵ_P será mayor mientras menor sea el ancho de haz de potencia media de la antena parabólica. De aquí es evidente, que la antena parabólica proporciona d veces la intensidad de campo en comparación con la antena isotrópica. En otras palabras, la antena parabólica concentra la radiación de manera mucho más intensa que la isotrópica y su ganancia es mucho mayor.

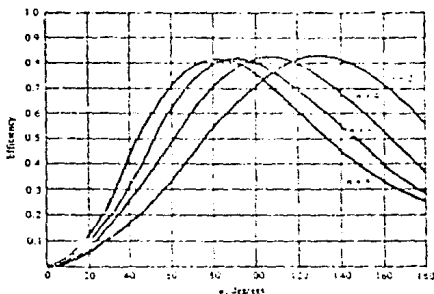
Dentro del grupo de factores de eficiencia en el cálculo de ganancia, algunos son determinables matemáticamente, mientras que otros se fijan empíricamente a través de mediciones. El rango de eficiencia total para una antena parabólica varía generalmente entre 50 y 80%. Existen tres eficiencias preliminares, las cuales es posible determinar y son: N_s , N_i y N_f .

N_f = dato del fabricante del alimentador

N_i = eficiencia de iluminación

N_s = eficiencia de derrame (spillover)

A continuación se muestran unas gráficas donde se aprecia cómo podemos aumentar la eficiencia para distintos ángulos de apertura (ángulo medido desde el punto focal hasta los extremos del plato) y para distintos índices de iluminación.



Es importante observar que mientras más abierto sea el ángulo de radiación, se reducen las pérdidas debidas a desborde y, sin embargo, se incrementan las pérdidas por desaprovechamiento de iluminación. Al diseñar habrá que tomar en cuenta el índice de iluminación.

V.3 PARAMETROS DE ENLACE.

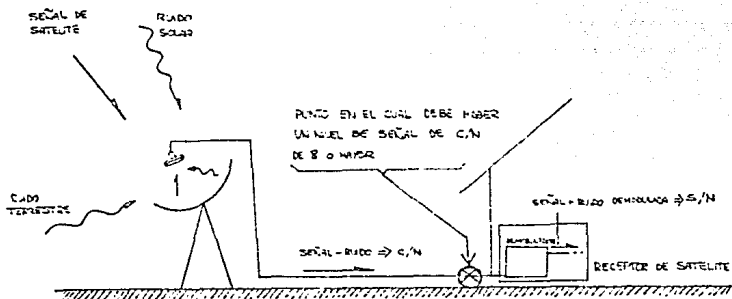
Se conoce como parámetros de un enlace de comunicaciones a las variables involucradas en el mismo, entre los puntos transmisor y receptor. Es, en otras palabras, el cálculo de la relación señal a ruido en el receptor, tomando en consideración la potencia de transmisión, el medio de transmisión, el ruido, la atenuación, la interferencia, las características del receptor, etc.

En un enlace de comunicaciones via satélite de TVRO, la transmisión se lleva a cabo en un solo sentido: del satélite a la estación terrena. El medio de transmisión es en parte el espacio libre y en parte la atmósfera terrestre. A este enlace se le conoce como enlace de bajada o "downlink".

Para el diseño de un reflector parabólico para TVRO es suficiente el considerar simplemente el enlace de bajada, ya que los parámetros del enlace de subida no tienen influencia en el

cálculo. Antes de iniciar el estudio, es importante definir los parámetros que intervienen en el enlace.

Como se mencionó con anterioridad, el objetivo del cálculo es llegar a la relación portadora a ruido (C/N) necesaria en el extremo receptor.



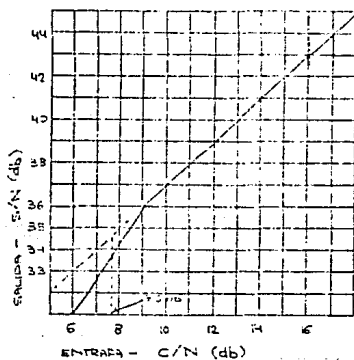
El término C/N indica la calidad de señal en el extremo receptor al comparar la potencia de la señal y la potencia del ruido. La onda electromagnética emitida por el satélite sufre atenuaciones y pérdidas en el camino pero, al ser concentrada por la antena y amplificada, tiene ganancias. El cálculo de enlace tiene por objeto tomar en cuenta los factores positivos y negativos que intervienen en la transmisión y el parámetro C/N es un indicativo de la eficiencia del enlace y, por lo tanto, de la calidad de imagen en el extremo receptor.

De acuerdo a las necesidades del usuario, existen varias clasificaciones de C/N según la aplicación. Por ejemplo, un sistema de enlace dúplex demandará una mejor calidad de señal que el de una estación terrena receptora para distribución de señales de cable (Satellite Master Antenna Television). Sin embargo, para el caso del sistema TVRO para recepción rural, un valor de C/N relativamente bajo es suficiente para recibir imágenes excelentes. A continuación, se muestra la clasificación de la calidad de imagen en relación al parámetro S/N (relación señal a ruido) [BAYLIN, BERKOFF y MEINTZ, 1987].

<u>SNR en dB</u>	<u>CLASIFICACION</u>
45 ó mas	calidad excelente (estudio de TV)
40	calidad buena (distribución de TV)
33	calidad aceptable (TVRO)
28	calidad regular (recepción rural)
22	calidad mala con interferencia
menor a 22	no es posible procesarla

Si el cálculo del enlace se hace hasta antes del receptor, el parámetro que define la calidad de imagen es la relación portadora a ruido (C/N). Cuando se habla de la relación señal a ruido (S/N), el cálculo del enlace se está considerando a la salida del modulador, esto es, después del receptor.

Basándonos en la tabla anterior, concluimos que para nuestro objetivo, un nivel de señal a ruido superior a los 35 dBW^{-1} implicará una buena calidad de imagen. Para nuestro cálculo de enlace trabajaremos con la relación portadora a ruido, la cual está relacionada con S/N por el tipo de modulación, el índice de modulación y la capacidad del modulador. El tipo de modulación para TVRO es, como vimos, FM, y de acuerdo a la siguiente gráfica es posible determinar la relación directa entre S/N y C/N, considerando el índice de modulación [UNAM, 1983].



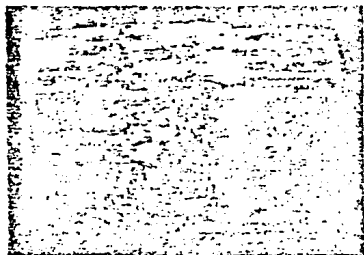
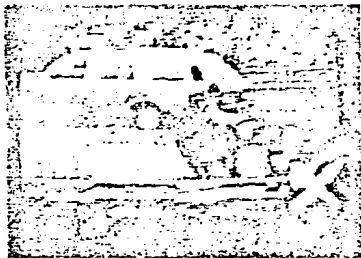
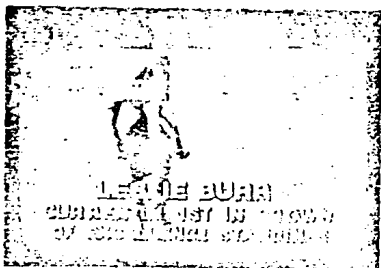
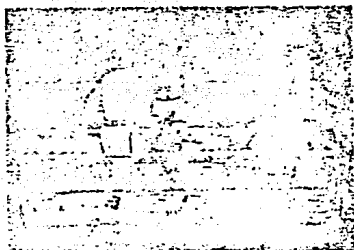
UMBRAL DE NIVEL DE SEÑAL

Un parámetro importante del modulador es el umbral (threshold), que indica el nivel mínimo en el que el modulador sigue un comportamiento lineal. Mientras menor sea este valor, significará que el receptor será capaz de aceptar un nivel de portadora a ruido más pobre y procesar la señal con absoluta nitidez. En la siguiente gráfica se muestra esta característica para los receptores y, en conclusión, observamos que para obtener un S/N de 35 dB es necesario que el receptor presente un umbral máximo de 8 dB para la relación C/N.

Especificaciones de C/N de algunos receptores comerciales

<u>Receptor</u>	<u>Nivel de señal a la entrada</u>
Nexus SR-5	8 dB
STS MBS	<8 dB
Echostar 1000	<7.5 dB
Uniden 5000	<8.5 dB
M/A-COM T1	7 dB
Luxor 9550	8 dB
Houston Tracker VIII	7 dB

En las siguientes láminas se observa la calidad de imagen para distintos niveles de S/N.



Hasta este momento hemos analizado sólo uno de los parámetros que intervienen en el cálculo de enlace. Como se mencionó, nosotros lo fijamos de acuerdo a la calidad de imagen que pretendemos recibir y para el cálculo se considerará el valor de 8 dB para la relación portadora a ruido como mínimo. Serán los restantes parámetros los que se optimicen para cumplir con el anterior requerimiento. La ecuación del enlace de bajada para TVRO es como sigue:

$$C/N \text{ (dB)} = \text{PIRE (dB)} - \text{Pérdidas de espacio libre (dB)} + \text{Figura de mérito de la estación (dB)} - \text{Pérdidas adicionales (dB)} - \text{Constante de Boltzmann (dB)} - \text{Ancho de banda (dB)}.$$

$$C/N = \text{PIRE} + G/T - LA - K - BW$$

La ecuación se puede expresar con palabras de la siguiente forma: el nivel de señal (C/N) que se tiene a la entrada del receptor depende de la potencia de transmisión del satélite (PIRE), menos las pérdidas que sufre por atenuación en la propagación (pérdidas de espacio libre), más la ganancia de la antena y del preamplificador (figura de mérito) y menos pérdidas adicionales (demás parámetros). A continuación se define cada uno de ellos:

PIRE: Potencia efectiva isotrópica radiada.

Este término indica la potencia de la señal radiada del satélite hacia la Tierra. Es un parámetro que relaciona la potencia radiada por una antena isotrópica con respecto a una antena parabólica, y de ahí el nombre de este parámetro. Más adelante, en el diseño de la antena, se calculará esta ganancia.

El patrón de radiación de cualquier satélite tiene un área de cobertura determinada, y en el caso del Morelos I, por ser satélite doméstico, su área de cobertura primaria es toda la superficie de la República Mexicana. Como se aprecia en la huella de dicho satélite para banda C, el valor de PIRE es de 36 dBW para todo el país.

En el caso de no contar con la huella de algún satélite, este dato se puede calcular a partir de la potencia radiada y de la ganancia de la antena por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{PIRE} = P_t \times G_a$$

ó en dB

$$\text{PIRE (dB)} = P_t \text{ (dB)} + G \text{ (dB)}$$

PEL : Pérdidas de espacio libre.

Debido a la elevación de la órbita geosíncrona, la onda electromagnética debe cruzar una distancia considerable del espacio antes de llegar a la atmósfera. El término PEL indica la

atenuación de la potencia de la señal entre dos antenas isotrópicas que transmiten en el espacio libre. La ecuación para calcular este parámetro es como sigue:

$$L_{fs} = 22 + 20 \log (R/\tau)$$

R = distancia entre transmisor y receptor

τ = longitud de onda

L_{fs} = Pérdidas de espacio libre (free space loss).

Se observa que a mayor frecuencia, se incrementan dichas pérdidas y en el caso de banda C, la distancia entre estaciones es fija. Las pérdidas de espacio libre para frecuencias entre 4 y 30 GHz varían entre 195 y 213 dB.

G/T : Figura de mérito de las estación terrena.

Este parámetro indica el comportamiento de la estación terrena, involucrando de manera general la ganancia de la antena receptora y las pérdidas causadas por temperatura de ruido en la antena y en el amplificador. En este momento es importante hacer un paréntesis para explicar la relación entre el ruido y la temperatura, para comprender cómo afecta la temperatura de ruido al nivel de una señal.

Todas las señales están sujetas a la influencia de otras señales aleatorias conocidas como ruido. Todo movimiento molecular implica ruido, ya que la vibración de las pequeñas partículas polarizadas genera campos electromagnéticos que alteran las señales transmitidas. Una antena recibe señales de ruido provenientes de cuerpos celestes como el sol y las estrellas, los cuales por su alta temperatura producen un espectro de ruido blanco en la frecuencia de microondas. Teóricamente, el ruido sería nulo en el momento que cesase toda actividad molecular. Esto sucedería en el punto conocido como cero absoluto (0°K) y de ahí la relación entre ruido y temperatura y la definición de temperatura de ruido.

De las fuentes externas de radiación que afectan a la antena de TVRO, el ruido que produce la Tierra es el más significativo, ya que representa aproximadamente 290 K. El ruido proveniente del espacio es mucho menor y el valor exacto de estos dos factores depende de la elevación de la antena de acuerdo al satélite al cual esté dirigida. Un límite práctico para la elevación de la antena son 5 grados sobre el horizonte, ya que se supone una elevación más crítica y se contará con un margen de seguridad en el cálculo del enlace.

Existen varios métodos para el cálculo de la temperatura de ruido. El primero de ellos, el más preciso y sofisticado, es una doble integración de la relación entre la ganancia de la

antena y la temperatura total del sistema. La ecuación es como sigue:

$$T_a = \frac{\int \int T_s(\phi, \beta) G(\phi, \beta) \delta \phi, \delta \beta}{\int \int G(\phi, \beta) \delta \phi, \delta \beta}$$

donde :

T_a = temperatura de la antena

T_s = temperatura total del sistema

G = ganancia de la antena

Como se puede observar, ambos parámetros dependen de σ y de ϕ . ϕ varía de 0 a 180 grados y β varía de 0 a 360 grados para cubrir el volumen de la bóveda celeste que tiene efecto sobre la antena. Para fines de cálculo, la anterior ecuación se puede aproximar por una sumatoria:

$$T_a = K_a \int_0^{2\pi} \int_{\pi-\epsilon}^{\pi} G_a [T_c/L_t + (1 + 1/L_t) T_t] \sin \theta \, d\theta \, d\phi +$$

$$0$$

$$K_a \int_0^{2\pi} \int_{\pi-\epsilon}^{\pi} G_a [(1 - S) T_g + S T_c] \sin \theta \, d\theta \, d\phi + T_s$$

$$0 \quad \pi-\epsilon$$

siendo:

$$K_a = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} G_a \sin \theta \, d\theta \, d\phi$$

$$0 \quad 0$$

T_a = temperatura de la antena

G_a = ganancia de la antena

T_c = temperatura cósmica

L_t = pérdidas atmosféricas

T_t = ruido atmosférico

T_s = temperatura solar

T_g = ruido del terreno (290 K)

S = coeficientes de reflexión

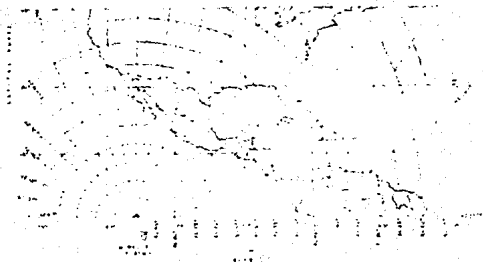
Es importante observar que para poder calcular el valor de la temperatura de la antena, es necesario conocer la ganancia de la misma. Esto quiere decir que la temperatura de la antena

está en función de la ganancia, lo cual será una limitante si se quiere hacer un cálculo directo pues, como se verá más adelante, la ganancia de la antena depende, entre otras variables, del diámetro, el cual es uno de los datos que nos interesa obtener. Habrá que utilizar un método iterativo de aproximaciones, considerando dos ecuaciones, hasta llegar a la combinación óptima de temperatura y diámetro de antena.

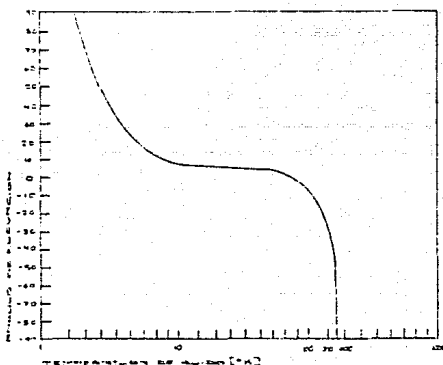
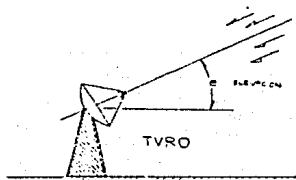
Sin embargo, se encontró un método directo para el cálculo de la temperatura sin necesidad de involucrar la ganancia. A pesar de que la segunda ecuación no es absolutamente precisa, las variaciones con respecto al estricto cálculo teórico son despreciables para fines prácticos. La ecuación es como sigue [GOMEZ GONZALEZ, 1982]:

$$T_a = 14 + (180 / \text{elevación})$$

La temperatura de ruido que afecta la antena depende básicamente, de la elevación que esta tendrá una vez dirigida hacia el satélite. A continuación se muestran los datos de elevación para el satélite Morelos I en diferentes puntos de la República Mexicana.



Mientras menor sea la elevación de la antena, mayor será la contribución de ruido, ya que la Tierra ejerce entonces una mayor influencia sobre el sistema. En la siguiente gráfica se observa la variación de la temperatura de la antena con respecto a la elevación a una frecuencia de 4 GHz.



Para el caso de la República Mexicana, el menor ángulo de elevación para el satélite Morelos es de 52 grados, por lo tanto:

$$T_a = 17,46$$

La diferencia con respecto a la primera ecuación proviene principalmente de que, en el segundo caso, no se consideran las pérdidas por ruido atmosférico. Es por ello que este tipo de pérdidas se consideran como un parámetro adicional en la ecuación general del enlace. Una vez determinada la temperatura

de ruido de la antena es posible proceder a calcular la figura de mérito de la estación terrena receptora según la siguiente ecuación:

$$G_r/T \text{ (dB)} = G_a \text{ (dB)} - 10 \log (T_a + T_{amp})$$

donde:

G_r/T = figura de mérito de la estación receptora en dB

G_a = ganancia de la antena receptora

T_a = temperatura de ruido de la antena receptora

T_{amp} = temperatura de ruido del amplificador

No todas las variables que intervienen en esta ecuación se obtienen de manera directa. La ganancia de la antena receptora se define:

$$G_a = N [(\pi D)/r]^2$$

en donde:

N = eficiencia de la antena (70%)

D = diámetro de la antena (incógnita)

r = longitud de onda [$300 / f(\text{MHz})$ en metros]

f = frecuencia de onda (3.7-4.2 GHz)

Más adelante se estudiarán a fondo la ganancia de la antena, así como los otros parámetros determinantes en su diseño. Has-

ta este momento sólo nos interesa obtener un valor de diámetro para la antena considerando nuestras expectativas de recepción. A pesar de que la figura de mérito de la estación terrena depende en gran parte también de la contribución del ruido del amplificador, ésta será constante, ya que asignaremos el valor más bajo de los amplificadores comerciales disponibles. Se observará que la elección de un amplificador de este tipo no tiene una influencia determinante en el costo total del sistema.

Es por ello que se elige a priori un amplificador de bajo ruido con temperatura de ruido de 55°K dado que la diferencia de costos es muy poco significativa que para mayores temperaturas y no así su afectación en G/T .

PA : Pérdidas adicionales.

En este parámetro intervienen las pérdidas debidas a fenómenos climatológicos y a desalineamientos de la antena. Al tomar en cuenta estas pérdidas ya se está hablando de un modelo real.

Para el primer caso, el de las pérdidas climatológicas, se ha encontrado que las señales que se transmiten utilizando el espacio como medio, sufren alteraciones que dependen de factores como: concentración de vapor de agua en la atmósfera, grado de

ionización en la ionósfera, actividad eléctrica, etc. La clasificación que se ha hecho para evaluar correctamente las distintas contribuciones es como sigue:

- a) Cintilación atmosférica
- b) Absorción atmosférica
- c) Depolarización debido a la lluvia.

a) Cintilación atmosférica.

Los estudios realizados a este respecto revelaron que las señales de radio frecuentemente presentan fluctuaciones en la intensidad, las cuales son causadas por irregularidades en la ionósfera, debidas a cuerpos estelares. Estas fluctuaciones afectan a la señal en amplitud, fase y ángulo de arribo, y se denominan cintilación atmosférica.

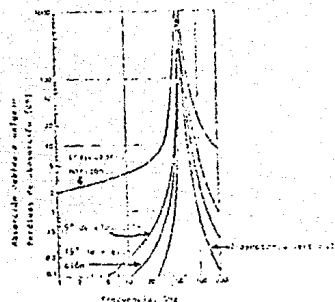
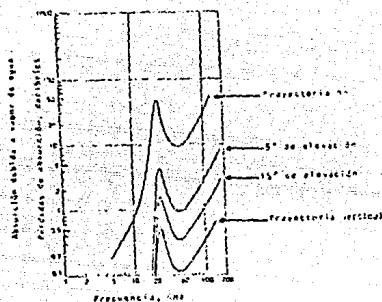
La cintilación depende de varios factores tales como : localización geográfica, frecuencia, trayectoria de propagación y condiciones geofísicas. Físicamente hablando, se dice que son causadas por pequeñas irregularidades en la densidad de electrones en la capa F de la ionósfera. Recientes mediciones han demostrado que este fenómeno se presenta en latitudes ecuatoriales altas. Existe una región irregular en latitudes altas cuya frontera sur alcanza los 57 grados cerca de la media noche. Durante tormentas magnéticas, la frontera desciende a lati-

tudes más bajas y el desvanecimiento es mayor. Las irregularidades producen cintilaciones profundas en el rango de UHF a +/- 15 grados del ecuador.

Para minimizar el efecto de este fenómeno en transmisiones de satélites, el diseñador del sistema puede recurrir a técnicas de distribución de amplitud, razones de desvanecimiento y profundidad en la modulación. Desgraciadamente, existe poca información al respecto y no fué posible cuantificar su influencia en el enlace para banda C. Sin embargo, se sabe que alrededor de los 4 GHz, su influencia es despreciable, mientras que arriba de los 10 GHz empieza a tener mayor significancia. Para el enlace de banda Ku será recomendable determinar este parámetro.

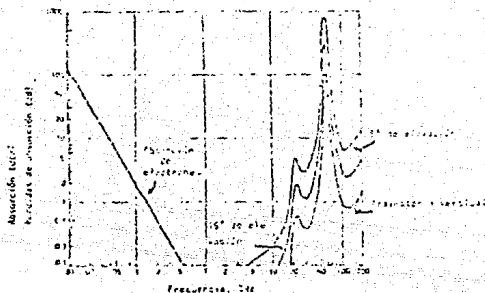
b). Absorción Atmosférica.

El oxígeno molecular y el vapor de agua son relativamente constantes en la atmósfera. La absorción de las ondas de radio se produce cuando choques moleculares alteran los niveles de energía rotacionales de estas moléculas. Los efectos de resonancia se presentan a frecuencias de 60 GHz para el oxígeno molecular y 21 GHz para el vapor de agua. En estas frecuencias es donde se presenta el valor máximo de pérdidas por absorción. Sin embargo, también existen pérdidas por ambos factores alrededor de esas frecuencias, como se observa en las siguientes gráficas [UNAM, 1983].



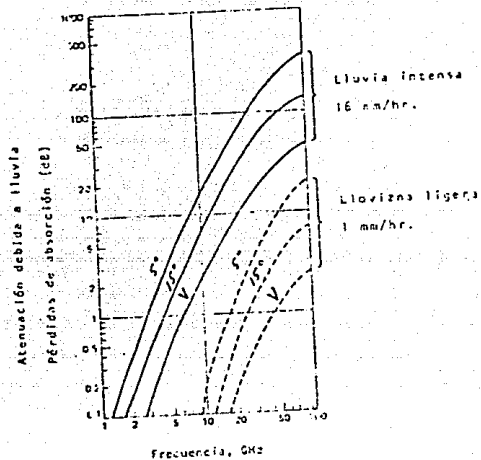
Es importante hacer notar que, además del dato de frecuencia, influye en las pérdidas atmosféricas el grado de elevación de la antena. Mientras menor sea éste, mayor será la trayectoria que seguirá la onda electromagnética antes de llegar a la antena y, por consiguiente, mayores serán las pérdidas por absorción atmosférica. La absorción debida a electrones libres ocurre por un efecto similar al anterior.

La energía de radio de la señal se transfiere a los electrones al chocar. La densidad de electrones libres en la atmósfera se reduce notablemente durante la noche. Los principales efectos por absorción de electrones libres son a frecuencias inferiores a los 100 MHz y para banda C son despreciables. En la siguiente gráfica se muestran las pérdidas por absorción debidas a electrones libres, vapor de agua sin condensar y oxígeno molecular.

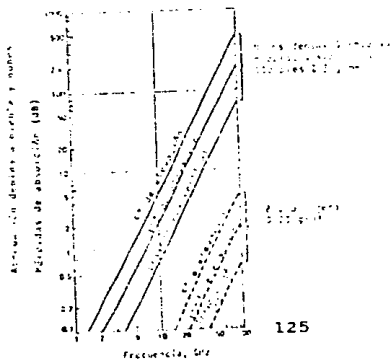


Para poder cuantificar las pérdidas debidas a estas condiciones atmosféricas es necesario determinar el rango de frecuencias de la señal que se pretende recibir y considerar el peor caso de elevación de la antena. Nuevamente volveremos a utilizar 52 grados como ángulo crítico para el sistema Morelos en la República Mexicana.

El mayor obstáculo encontrado en el diseño de sistemas de comunicación via satélite a frecuencias superiores a los 10 GHz es la atenuación por lluvia. La potencia de microondas radiada por el satélite se ve limitada por factores tales como la potencia primaria disponible y el tamaño de la antena en el satélite. La tecnología actual no ha podido contrarrestar infaliblemente la atenuación provocada por lluvia intensa. En la siguiente gráfica se observan las pérdidas por absorción debida a lluvia, en relación al ángulo de elevación de la antena.



A pesar de que la niebla está compuesta por pequeñas gotas de agua, su influencia en la atenuación de la señal es 20 veces menor a la de la lluvia intensa. Existen graficas que muestran las pérdidas de absorción debidas a niebla, bruma y nubes. A continuación se muestra una de ellas.



c) Depolarización debido a la lluvia.

Por último, es importante mencionar que existen otros fenómenos atmosféricos que afectan las ondas electromagnéticas. Por ejemplo, las desviaciones en la polarización se originan en la ionósfera por el efecto Faraday y afectan principalmente a señales alrededor de los 46 GHz. Hasta el día de hoy no se ha encontrado la forma de cuantificar estas pérdidas científicamente.

BW : ANCHO DE BANDA.

Dentro de las pérdidas que sufre la señal durante el enlace se encuentran las que dependen del ancho de banda de la transmisión. El ruido que capta la señal en la trayectoria será mayor mientras más grande sea el ancho de banda. Para la banda C, el ancho de banda es de 500 MHz, ya que el rango de transmisión en el enlace de bajada es de 3.7 a 4.2 GHz. Lo común es acomodar 24 canales de TV con ancho de banda de 40 MHz en dos grupos de doce canales cada uno y con polaridades ortogonales entre sí.

Para calcular entonces las pérdidas debidas a la utilización de un ancho de banda determinado por canal y manejar este dato en dB tenemos:

Ancho de banda de ruido equivalente = $-10 \log 36 \times 10^6$ (Hz)

$$NEB = -75.56 \text{ dB}$$

CONSTANTE DE BOLTZMANN

Esta constante aparece en la ecuación de parámetros de enlace o ecuación de nivel de señal portadora a ruido que se muestra a continuación:

$$C/N = \frac{P_t G_t G_r}{C K_t B_f}$$

Se observa que el nivel de señal se calcula a partir de la potencia de transmisión, la ganancia de la antena transmisora y la ganancia de la antena receptora. Por otro lado, el ruido se calcula a partir de las pérdidas de la constante de Boltzmann, la temperatura de ruido y el ancho de banda del canal. Esta ecuación se presenta como un cociente entre el nivel de señal y el nivel de ruido y de aquí se deriva la ecuación en notación exponencial planteada al principio de este desarrollo. Por consiguiente, el parámetro afectado por la constante de Boltzmann en dB es:

$$\text{cte. de Boltzmann (dB)} = -10 \log (1,38 \times 10^{-23}) [JK^{-1}]$$

$$\text{cte. de Boltzmann (dB)} = -228.6 \text{ dB}$$

Hasta este momento se han analizado punto por punto los parámetros que influyen en el enlace de bajada y las ecuaciones resultantes se resumen a continuación:

Ganancia de la antena

$$G_a = N (\pi D / \lambda)^2 \quad \text{-----1}$$

Temperatura de la antena:

$$T_a = 14 + (180 / e) \quad \text{-----2}$$

Figura de mérito:

$$G_r/T = G_a - 10 \log (T_{ant} + T_{lna}) \quad \text{-----3}$$

Ecuación del enlace:

$$\begin{aligned} C/N &= \text{PIRE} + \text{figura de mérito} - \text{pérdidas de espacio libre} \\ &\quad - \text{pérdidas adicionales} - \text{cte. de Boltzmann} - \text{pérdidas} \\ &\quad \text{por ancho de banda} \quad \text{-----4} \end{aligned}$$

Para calcular la figura de mérito de la estación terrena es necesario haber calculado previamente la ganancia de la antena receptora y su temperatura de ruido. Una vez que se tiene ese valor, es posible sustituirlo en la ecuación y obtener un dato de C/N. Ya que este camino implicaría suponer un diámetro de antena para poder calcular la ganancia y es el diámetro la única variable, se procede de manera inversa, asignando un valor a C/N de acuerdo a la calidad de señal que queramos recibir. Para aplicaciones de TVRO, un valor de C/N de 8 dB se considera como adecuado.

Por otro lado, se observará que para el cálculo de temperatura de la antena se utilizará la ecuación simplificada. De no ser así, hubiera sido necesario realizar una serie de iteraciones entre las ecuaciones de temperatura de antena y ganancia de antena hasta llegar a un valor adecuado. Considerando que la diferencia entre la ecuación exacta y la aproximación es despreciable, no tiene caso utilizar la primera debido a su complejidad. Por lo tanto, despejando el diámetro de la antena de la ecuación 1 tenemos:

$$D = (\sqrt{G_a/N}) \times r/\pi \text{-----5}$$

despejando la ganancia de la ecuación 3:

$$G_a \text{ (dB)} = G_r/T \text{ (dB)} + 10 \log (T_{\text{ant}} + T_{\text{lna}}) \text{-----6}$$

$$G_a = [A \log (G_r/T \text{ (dB)} + 10 \log (T_{\text{ant}} + T_{\text{lna}}))] \text{-----7}$$

despejando la figura de mérito de la ecuación 4:

$$G_r/T \text{ (dB)} = C/N \text{ (dB)} + \text{PEL (dB)} + P_A \text{ (dB)} + \\ \text{cte. Boltzmann (dB)} + BW \text{ (dB)} + \text{PIRE (dB)} \text{---8}$$

entonces ya es posible calcular directamente el diámetro de la antena. En la siguiente tabla se enumeran los datos del problema:

NOMBRE	NOTACION	VALOR
+ Portadora a ruido	C/N (dB)	+ 8 dB mínimo
+ Pérdidas de espacio libre	PEL (dB)	+ 195.98 dB
+ Pérdidas adicionales	P _a (dB)	+ 2.2 dB
+Constante de Boltzmann	cte. B (dB)	- 228.6 dB
+ Pérdidas por ancho de banda	BW (dB)	+ 75.56 dB

- Potencia efectiva PIRE (dB) - 36 dB
isotrópica radiada

Sustituyendo estos valores en la ecuación 8:

$$Gr/T = 8 + 195.98 + 2.2 - 228.6 + 75.56 - 36$$

$$Gr/T = 17.14 \text{ dB}$$

Por otro lado, calculando la temperatura de la antena para la elevación del satélite Morelos ($e = 52$ grados)

$$T_a = 14 + 180/52 = 17.46 \text{ K}$$

Para poder calcular la ganancia de la antena en la ecuación 6, fijamos la temperatura de ruido del amplificador en 55 K, lo cual es comercialmente viable:

$$G_a = 17.14 \text{ dB} + 10 \log (17.46 \text{ K} + 55 \text{ K})$$

$$G_a = 17.14 \text{ dB} + 18.60 \text{ dB}$$

$$G_a = 35.74 \text{ dB}$$

Por último, sustituimos este valor en la ecuación 5, tomando en cuenta que la longitud de onda para la frecuencia más cri-

tica de la banda C, que en este caso es 4.2 GHz, es 7.1428×10^{-2} m. La eficiencia se considera como 70 %. Además, es necesario antitransformar el valor de ganancia de la antena pues la ecuación 5 es lineal:

$$G_{a \text{ lin}} = \text{antilog } G_{a/10} = 3750.50$$

sustituyendo estos valores en la ecuación 5 tenemos:

$$D = [(\sqrt{3750.5})/0.7] \times [0.071428/\pi]$$

$$D = 1,6642 \text{ m}$$

Con este diámetro es entonces posible efectuar el cálculo de la antena. Dicho cálculo fué realizado por computadora por iteraciones hasta llegar al óptimo.

V. 4 CALCULO DE LA ANTENA

Una vez que se conocen las distintas variables que afectan el desempeño de la antena, se pueden manejar a nuestra conveniencia, optimizando la parábola para la aplicación específica que se le quiere dar. En el caso de un sistema rural de recepción, es conveniente que la antena sea pequeña, fácil de armar y orientar y que, por otro lado, cumpla con las especificacio-

nes de ganancia y ruido que garanticen una calidad de señal perfecta. Por último, hay que tomar en cuenta el aspecto económico y eso nos lleva a seleccionar materiales y componentes que, respetando las anteriores premisas, no incrementen considerablemente el costo sistema.

En el punto anterior obtuvimos un dato que servirá de apoyo para el diseño de la antena. El mínimo diámetro teórico que garantiza una señal de portadora a ruido de 8 dB es de 1,66 m. Como se puede observar, para dicho cálculo se supuso una eficiencia de la antena de 70%.

Es importante hacer notar que el rango típico de eficiencia para un reflector parabólico oscila entre el 50 y el 80% y quizá pueda parecer que la eficiencia antes considerada sea demasiado optimista.

El suponer ese valor se debió primordialmente a que, para el diseño de la antena, se utilizó una corneta corrugada circular. La corneta corrugada Chaparral está especialmente diseñada para trabajar con antenas parabólicas circulares cuya relación foco-diámetro varíe entre .30 y .45. A diferencia de las cornetas rectangulares, su rango de ganancia plana en el patrón de radiación es muy ventajoso. Esto se puede observar en la siguiente gráfica de ganancia contra apertura para distintas relaciones de f/D .

Mientras más plana sea la antena, las pérdidas de señal en la corneta serán menores, ya que las ondas electromagnéticas reflejadas incidirán con un ángulo menos crítico. La corneta corrugada tipo Chaparral tiene el mismo punto focal para los campos vertical y horizontal, no siendo así en las cornetas convencionales, las cuales ven distintas impedancias de espacio libre para cada campo. La separación que produce la iluminación de la corneta entre las polaridades es mayor a 30 dB aunque, en la mayoría de los casos se requiere solo 15 dB. Esta última característica ayuda a eliminar los fantasmas de polaridad adyacente que se presentan con niveles de señal bajos.

Volviendo a la gráfica de ganancia contra apertura, es evidente que la corneta sufre menos pérdidas al ser iluminada por una parábola poco profunda. La siguiente ecuación describe la variación entre la relación f/D y la apertura de la antena:

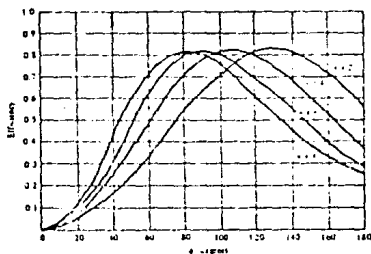
$$\beta = \tan^{-1} \left[1 / (2 f/D - 1/ (8 f/D)) \right]$$

de la cual se obtiene la siguiente tabla:

<u>f/D</u>	<u>Angulo de apertura</u>
0.5	53.13
0.45	58.10
0.4	64

0.35	71
0.3	79.61
0.25	90

Para obtener la máxima ganancia de la corneta elegimos una relación f/D de 0.40, que es un punto en el cual la corneta contribuye con muy pocas pérdidas, como se observa en la siguiente tabla:



El haber determinado la relación foco-diámetro es más que suficiente para plantear la ecuación de la parábola:

si $f/D = 0.40$ y $D = 1.70$ m

entonces $f = 0.68$ m

La ecuación general de la parábola:

$$x = Ky^2$$

donde:

$$K = 1/4 f$$

$$K = 1/4 (0.68)$$

$$K = 0.367647$$

y la ecuación queda:

$$x = 0.367647 y'$$

Ya que no es conveniente tomar en cuenta tantos decimales, pues sería imposible graficar con precisión, redondeamos la ecuación a:

$$x = 0.36 y'$$

y corregimos los datos restantes:

$$f = 0.6944 \text{ m}$$

$$D = 1.70 \text{ m}$$

$$f/D = 0.40849 \text{ m}$$

$$d = 0.2601017$$

Se observará que el diámetro de la antena se incrementó de 1.65 a 1.70 m, lo cual representa un área de recepción adicional de 1.25 m con los cuales se suple la señal bloqueada por la corneta y su base de apoyo.

Posteriormente, se hace una tabulación en el eje de las abscisas a intervalos de 5 cm y se grafica la parábola. Los espaciamentos de 5 cm garantizan que la precisión que se obtenga al dibujar el molde de la parábola sea muy aceptable. Por lo tanto, la tabulación queda así:

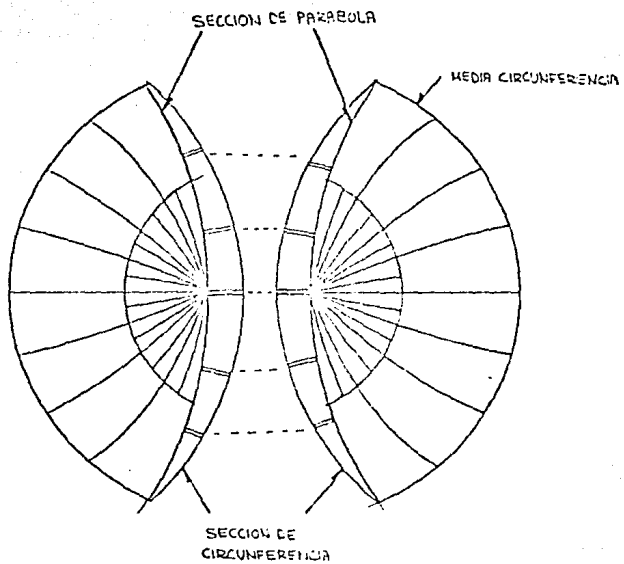
X en cm	Y en cm
0	0
5	0.09
10	0.36
15	0.81
20	1.44
25	2.25
30	3.24
35	4.41
40	5.76
45	7.29
50	9.00

55		10.89
60		12.96
65		15.21
70		17.64
75		20.25
80		23.04
85		26.01

La tabulación se hace hasta 85 cm, ya que la sección adicional que va hasta 1.70 m es igual pero inversa a la anterior. La parábola resultante es la que servirá como patrón para todas las costillas de la antena y en la construcción, dicha parábola se marcará sobre una placa metálica, a partir de la cual se obtendrán las secciones.

Un aspecto importante en este punto del diseño, consiste en considerar que no es conveniente que las costillas de forma parabólica soporten el peso de la antena. Debido a esto, se colocarán secciones circulares de apoyo sobre las costillas parabólicas que van montadas en la base. Además, el que la costilla de apoyo sea de forma circular, garantiza que, al sufrir dilatación, ambas secciones sigan una misma trayectoria tangencial, evitando así deformaciones permanentes de la parábola. En la siguiente figura se observa la estructura antes descrita.

PARABOLA CONSTRUIDA
EN DOS PARTES



Se optó por fabricar una antena en dos secciones para que, por una parte, la pérdida de ganancia no fuera muy apreciable, y por la otra, se contara con una antena fácilmente transportable. Sin duda alguna, una antena de una sola pieza tendría una ganancia mayor, ya que, por bien que se ajusten las dos mitades, nunca se logra la continuidad como con una sola pieza. Sin embargo, respetando la premisa de que el sistema de recepción es para utilización rural, decidimos seccionar la antena y facilitar así su transporte.

Como se verá en el capítulo siguiente, la base de la antena cuenta con un montaje tipo polar, el cual es muy conveniente para la aplicación de TVRO, pues el rastreo de satélites se hace con un solo ajuste.

Como material reflejante se seleccionó malla galvanizada. A pesar de que ya existe un tipo de malla plana especial para esta clase de antenas, nos fue imposible conseguirlas e instalamos malla de criba con una densidad de 8 x 8 cuadros por pulgada cuadrada. Esto quiere decir, que el claro máximo de dicha malla es de 0.45 cm, con lo cual el material es opaco y reflejante a las ondas electromagnéticas de la banda C. Apoyándonos en la gráfica de pérdida de señal contra espaciamento de malla, consideramos que el porcentaje de pérdidas en la reflexión debidas al espaciamento de la malla serán menores a un decibel.

Otra característica de la malla que tiene repercusiones negativas sobre la ganancia general del sistema es la rugosidad. Afortunadamente, para el caso de la malla de criba este parámetro resultó ser:

$$R = 0.1 \text{ cm RMS}$$

con lo cual las pérdidas son:

$$\text{Pérdidas} = 800 (R_{rms}/r)^2 = 800 (0.001/0.071428)$$

$$\text{Pérdidas} = 0.1568 \text{ dB}$$

La pintura de la antena es negra, ya que el coeficiente de reflexión de luz y de calor de este color es mínimo, por lo cual se elimina la posibilidad de agregar una pequeña cantidad adicional de ruido por radiación solar.

Con las características de la antena determinadas hasta este momento, es posible proceder a la fabricación de un modelo experimental.

Estas características son :

$$\text{Diámetro} \quad D = 1.70 \text{ m}$$

Distancia focal	$f = 0.6944 \text{ m}$
Relación foco-diámetro	$f/D = 0.40849$
Ecuación de la parábola	$x = 0.36 y^2 \text{ en m}$
Profundidad	$p = 0.260101 \text{ m}$
Temperatura de ruido	$T_a = 17.46 \text{ K}$
Ancho de haz de potencia media	$\phi = 44,7501$
Eficiencia total	$N = 70 \%$
Rugosidad de la malla	$R = 0.1 \text{ cm (RMS)}$
Espaciamiento de la malla	$l = 0.45 \text{ cm}$

Por último calculamos la ganancia de la antena:

$$G_a = N (\pi D / \tau)^2$$

para 3.7 GHz, $\tau = 8.108 \times 10^{-3} \text{ m}$

$$G_{3,7} = 34.82 \text{ dB}$$

$$\text{para } 4.2 \text{ GHz, } r = 7.1428 \times 10^3 \text{ m}$$

$$G_{4.2} = 35.925 \text{ dB}$$

CAPITULO VI MODELO EXPERIMENTAL DE LA ANTENA PARABOLICA

VI.1 CONSIDERACIONES TECNICAS

A pesar de que ya se determinaron los parámetros de la antena, es necesario considerar algunos aspectos antes de proceder a su construcción. Son varios los criterios que se tomaron en cuenta al seleccionar el tipo de antena: características, durabilidad, costo, resistencia al viento, dimensiones de empaquetado, facilidad de armado y disponibilidad de equipo para su elaboración.

Las antenas parabólicas se construyen siguiendo básicamente cuatro procesos: fibra de vidrio, prensado, torneado metálico y estructura con malla. Las antenas de fibra de vidrio se hacen sobre un molde, el cual es cubierto con unas capas de fibra. Una vez hecho esto, se coloca la malla reflectora ó, en ocasiones, una película metálica. Por último, se aplica nuevamente la fibra de vidrio. Este tipo de antenas son recomendables en diámetros de hasta tres metros, pues en tamaños mayores tienden a deformarse. Tienen el inconveniente de que presentan una alta resistencia al viento.

Las antenas prensadas se fabrican a partir de una sección metálica plana, la cual adquiere la forma parabólica al ser prensada sobre un molde. Son antenas de alta ganancia, pero el equipo necesario para su fabricación es muy costoso. Sucede igual con las antenas de aluminio, que son torneadas hasta obtener parábolas casi perfectas.

El último tipo de antena, el de estructura metálica con malla, es el más común en aplicaciones de TVRO. A pesar de que su eficiencia no es tan alta como la de las dos anteriores, presenta otras ventajas que la hacen comercialmente conveniente. Al no ser sólida, su resistencia al viento es muy baja. En la siguiente tabla se observan valores de carga para diferentes diámetros y velocidades de viento:

Diámetro de antena (metros)	Carga por viento (libras)			
	25	50	75	100
2.....	40	170	400	700
2.5.....	200	400	900	1600
3.....	200	800	1800	3200
3.5.....	350	1400	3000	5500
4.....	550	2200	5000	9000
4.5.....	800	3300	7000	13000

A velocidades superiores a los 80 km/h, la antena de malla deja de ser transparente ,pero experimenta una fuerza 40% menor a la de una antena sólida.

Otra ventaja de este tipo de antenas es que, debido a la rigidez de la estructura metálica, se mantiene indeformada indefinidamente. Además, si su diseño es preciso, es posible seccionarla sin sacrificar apreciablemente ganancia. Esto permite hacerlas muy transportables. Su peso , y por lo tanto su costo, son menores a los de las antenas sólidas. No existe limitante en cuanto al material de construcción y, de acuerdo a la necesidad específica, se puede fabricar en fierro, acero ó aluminio.

Al utilizar malla como agente reflector, es importante garantizar que sea opaca a las microondas. No hay que olvidar que la ganancia primaria del sistema, debida totalmente a efectos físicos pasivos, es la más importante. Si la máxima apertura de la malla es menor a 1/10 parte de la longitud de onda primaria, cinco milímetros para banda C, la malla reflejará totalmente la señal del satélite.

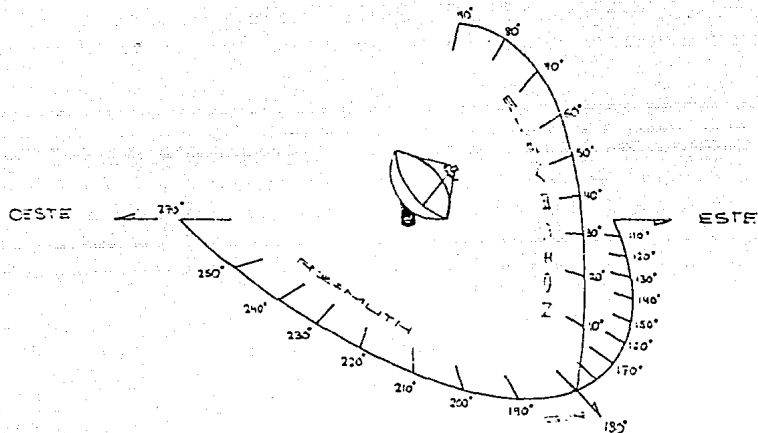
Analizando los distintos materiales reflejantes disponibles comercialmente, se optó por la malla de criba galvanizada 8 x 8, en la cual la apertura máxima de la malla es inferior a 5 mm. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que la rugosidad de este material es mayor a la de la malla de aluminio perforada,

la cual es muy utilizada para antenas de TVRO en los Estados Unidos. Será interesante, como estudio posterior, evaluar las diferencias de ganancia entre uno y otro material.

La estructura de la parábola se hará en fierro, debido principalmente al bajo costo de este material. Las costillas que dan forma a la parábola, son de tubo cuadrado de 1/2 pulgada y van soldadas entre sí, apoyadas en dos círculos concéntricos.

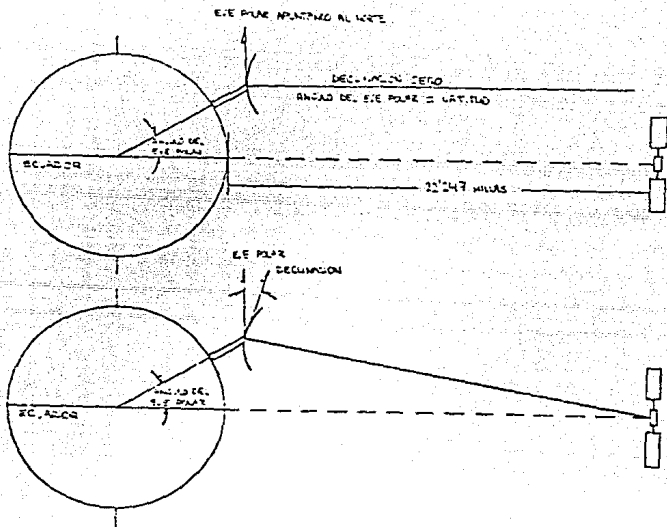
El montaje de una antena parabólica es tan importante como la parábola misma, ya que, además de ser el que permite el rastreo de satélites a lo largo del arco geosíncrono, soporta la antena, dándole estabilidad mecánica en cualquier condición. El movimiento de un décimo de grado de una antena parabólica de tres metros de diámetro representa un barrido de 45 millas por la órbita de satélites. La directividad de las antenas parabólicas nos obliga a diseñar un montaje adecuado. Existen dos tipos de montaje: azimutal y polar.

El montaje azimutal es fácil de entender, pero difícil de implementar. La localización de un satélite en la bóveda celeste requiere, en primer lugar, de mover la antena al azimut correcto y después, rotarla al ángulo de elevación del satélite. En la siguiente figura se observa dicho proceso:



El ángulo de azimut rota el plato en el plano horizontal y el de elevación lo levanta sobre el horizonte hasta el satélite. Este tipo de montaje es muy preciso, pero requiere de dispositivos complejos de control, ya que el ajuste es en dos ejes.

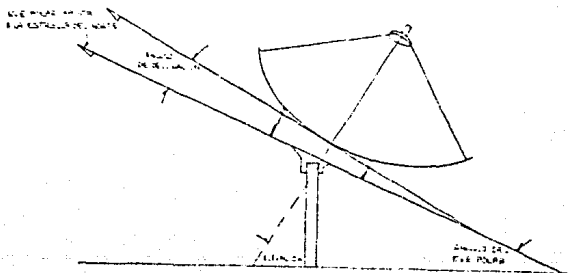
El montaje elegido para la antena experimental es el polar. Este tiene la ventaja de que gira sobre un solo eje, el polar, alineado paralelamente con la línea imaginaria que va del Polo Norte al Polo Sur. El montaje se ajusta por medio de dos ángulos: ángulo del eje polar y ángulo de declinación. Por medio de las siguientes figuras es más fácil comprender la operación del montaje polar:



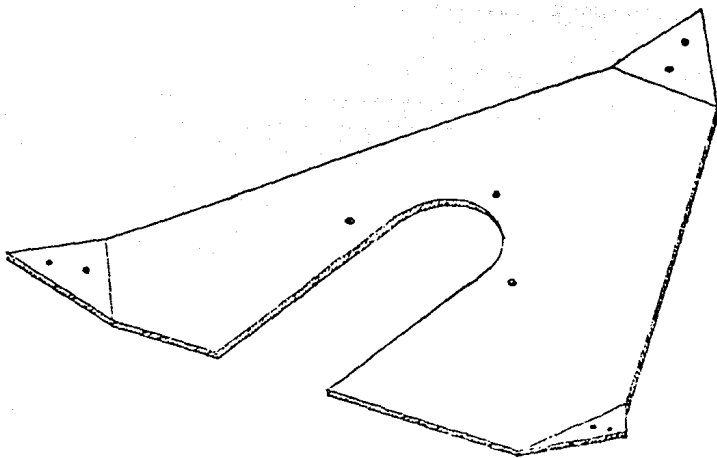
El ángulo de eje polar corresponde exactamente a la latitud del lugar donde se instalará la antena. Este ángulo hace que la antena se mueva en un plano paralelo al ecuador. Como ya sabemos, la órbita geostacionaria se encuentra sobre el plano del ecuador a 22 247 millas. El ángulo de declinación ajusta el barrido de la antena a la órbita geostacionaria. El movimiento de rastreo de la antena describe entonces una elipse plana en lugar de un círculo y compensa el hecho de que la órbita se encuentra a una distancia finita. La siguiente tabla muestra los valores de ambos ángulos para algunas ciudades de México.

CIUDAD	ANGULO POLAR	ANGULO DE DECLINACION
Cuernavaca	19°	3.28°
Ciudad Juárez	31.5°	5.17°
Guadalajara	20.5°	3.52°
La Paz	24°	4.07°
León	21°	3.60°
México D.F.	19.5°	3.36°
Mérida	19.8°	3.41°
Monterrey	25.8°	4.34°
San Luis Potosí	22.3°	3.80°
Tapachula	15°	2.61°
Tijuana	32.4°	5.29°
Toluca	19.3°	3.32°
Veracruz	19°	3.28°

Los montajes polares siempre tienen pequeños errores de rastreo, especialmente en los satélites de los extremos este y oeste. Aunque no hay manera de evitar esta imprecisión, un montaje correctamente ajustado tiene un error inferior a 0.1 grados. Para aplicación en banda C este no es considerable. La siguiente figura detalla la geometría del montaje polar :



El soporte de la corneta de alimentación en el punto focal de la antena se puede hacer de varias maneras. Una de ellas consiste en sujetar por medio de patas una placa sobre la cual se monta la corneta. Decidimos utilizar un soporte triangular como el que se muestra en la siguiente figura:



El montar la corneta en un triángulo de este tipo es conveniente, ya que al tener tres tornillos para fijarla, es posible ajustar la distancia focal con gran precisión, al igual que la dirección de la corneta.

VI.2 CONSTRUCCION DE LA ANTENA PARABOLICA

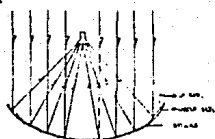
En este punto se describirá el proceso que se siguió en la fabricación de un modelo experimental de antena, de acuerdo a los parámetros obtenidos en el capítulo V. La descripción de dicho proceso se hará en tres partes: plato ó parábola, montaje y base.

La sección más importante del conjunto es, sin duda alguna, la parábola, también conocida como plato. Como se mencionó con anterioridad, decidimos hacer un modelo experimental en estructura de fierro, utilizando malla galvanizada como reflejante. Desde un punto de vista teórico, lo más importante del modelo experimental es que su comportamiento sea lo más cercano al modelo matemático antes propuesto. Para ello, es necesario que la curvatura de la estructura que soporta la malla se ajuste a la ecuación de la parábola. Es muy importante hacer notar que, además de que las costillas tengan la curvatura correcta, la separación entre ellas no sea demasiado grande, ya que al fijar la malla a las costillas, las secciones de malla sin apoyo son rectas. En la siguiente figura se aprecia mejor esta observación:

PARABOLA EN EL
 CASO DE UN
 PUNTO FOCAL



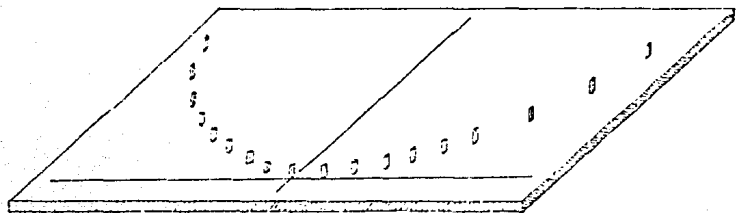
PARABOLA EN EL CASO DE
 UN PUNTO FOCAL
 EN EL CASO DE
 UN PUNTO FOCAL



PARABOLA EN EL CASO DE
 UN PUNTO FOCAL
 EN EL CASO DE
 UN PUNTO FOCAL

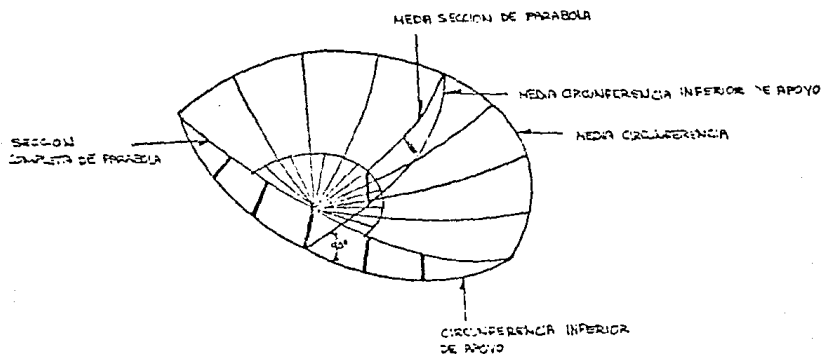


De acuerdo a los valores de la tabla procedimos a dibujar sobre una placa metálica la parábola con espaciamentos de 5 cm. Sobre dichas marcas se soldaron unas guías metálicas, con lo cual se obtuvo la plantilla para las costillas. En el siguiente dibujo se observa esto:

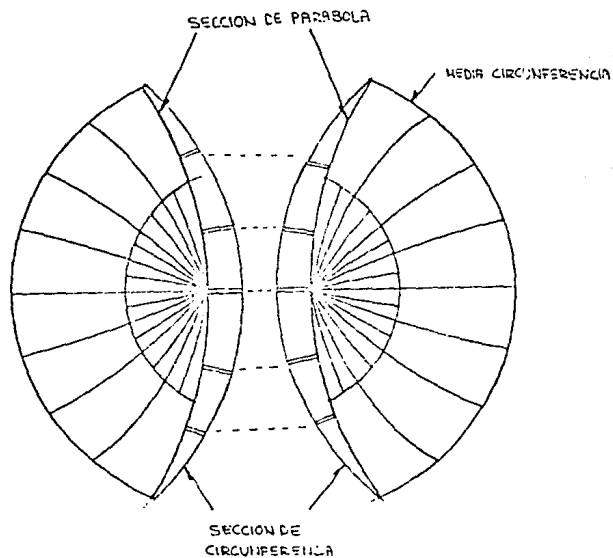


Como material para la estructura se utilizó tubo cuadrado de fierro de 1/2 pulgada. Las secciones de 2 m de longitud se pasaron a través de una roladora, con lo cual se les dió una curvatura circular aproximada. Posteriormente, utilizando la plantilla como molde, se ajustaron hasta obtener la curvatura parabólica deseada.

Como se especificó con anterioridad, el plato experimental consta de dos secciones. Esto implica que un par de costillas recorren la curvatura completa y son las que servirán para el empotramiento de los dos gajos. El resto de las costillas son sólo mitades de circunferencias, como se observa en la siguiente figura:



Una circunferencia exterior de 1.70 m de diámetro sirve de apoyo externo a las costillas. En el centro, son soldadas unas contra otras y a 85 cm del centro lleva una segunda circunferencia de apoyo. Además, cuatro costillas a 90 grados llevan una circunferencia inferior de apoyo. Dos de estas costillas son completas y sirven para empotrar las dos mitades y las otras dos son medias costillas. En la siguiente figura se muestra lo anterior:

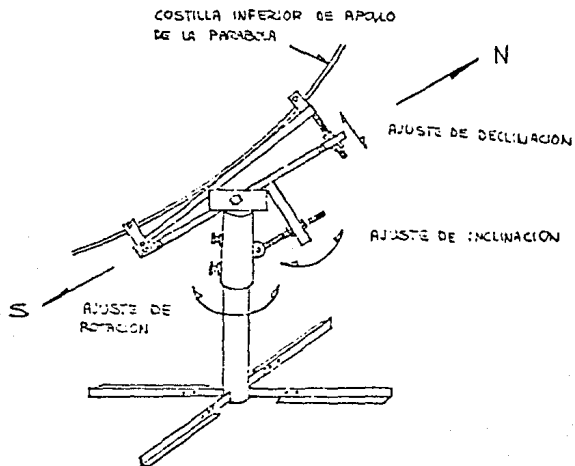


La separación de costillas utilizada en el modelo experimental es de 15 cm, por lo que se tienen 17 costillas por mitad, a intervalos de 11 grados. De esa manera, garantizamos que la curvatura de la malla será muy congruente con la parábola teórica. Sin duda alguna, el reducir el número de costillas a la mitad bajaría considerablemente el costo de la antena, pero pensamos que este punto es crítico para la calidad de imagen esperada. Aún así, como se verá en el capítulo VIII, el costo de la antena no resultó ser excesivo.

Una vez que las secciones se armaron y se soldaron, aplicamos un par de capas de pintura anticorrosiva e hicimos las perforaciones para el tendido de la malla. La malla se fijó por medio de remaches y, para evitar ondulaciones, se hicieron 9 remaches por costilla. Para tender la malla se recortaron dos secciones triangulares que se colocaron entre las dos costillas. Una vez remachada la malla, el pedazo sobrante se recortó. En el extremo externo de la antena, la malla se dobló hacia el interior y se remachó para evitar que superficies cortantes quedasen al descubierto. Por último, se pintaron las dos secciones en color negro.

La segunda parte de la construcción de la antena fue la elaboración del montaje que, como se explicó con anterioridad, es un montaje polar. El haber determinado el tipo de montaje no significa que en el momento de la construcción se siga simplemente un modelo ya establecido. Es necesario diseñar la manera

en que el montaje soportará la antena, los ajustes de latitud y offset, el ajuste de elevación para rastreo de satélite, el ajuste del eje norte-sur y que además, sea suficientemente robusto para cargar la antena sin tener vibraciones. Tomando en cuenta los anteriores aspectos llegamos al modelo de la siguiente figura:



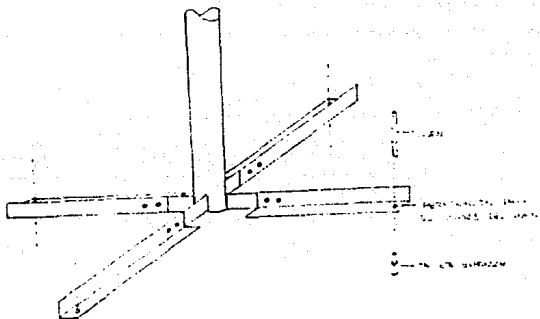
El cuerpo del montaje es un tubo circular de 7 cm de diámetro hueco, que va montado sobre la base. A los 8 cm y 23 cm ,lleva un par de tornillos que sirven para apretar el montaje contra la base. Cuando se hace la sintonización, se gira el montaje sobre la base hasta alinear el eje con el plano norte-sur y este par de tornillos fijan el montaje en dicho plano. En la parte superior está el eje que soporta la antena. Esta última gira de este a oeste sobre el eje que se encuentra orientado de norte a sur. El tornillo lateral sirve para ajustar la latitud dependiendo de la zona geográfica en la que se monte la antena. En la parte superior del eje de giro, tiene la antena unas barras con perforaciones que sirven para dar el ángulo de offset.

La antena se monta con las costillas que unen las dos secciones sobre el eje. Un par de tornillos, que se pasan a manera de pernos a través de las barras paralelas, fijan perfectamente la antena sobre el eje.

En el pequeño brazo lateral que sale del cuerpo cilíndrico del montaje se coloca un sinfín metálico y en el extremo opuesto se atornilla a la parábola. El sinfín viene provisto de una manivela, la cual al girar transmite un movimiento angular de elevación a la parábola. De esta manera, es posible efectuar el rastreo de satélites a lo largo de la órbita geosíncrona. En los extremos del eje se colocaron unos bujes de nyla-

mid gracias a los cuales se hace posible un giro con muy baja fricción.

El tercer elemento de la antena parabólica es la base. Es sin duda el más simple, pero no por ello el menos importante, ya que es el que soporta todo el conjunto. En la siguiente figura se muestra la base seleccionada para el modelo experimental propuesto.



La base consta de un tubo circular de 6 cm de diámetro. El montaje se inserta en ella. La altura de la base es de 60 cm para garantizar que la antena tenga un giro de horizonte a horizonte y sea capaz de rastrear cualquier satélite en la banda de Clarke. Al tubo se empotran cuatro patas de 50 cm de largo a 90 grados entre sí. Las patas están diseñadas para dar es-

tabilidad al sistema e incluso son capaces de contrarrestar fuerzas de torque provocadas por vientos muy intensos. Estas patas se fijan al piso con espárragos roscados atornillados en taquetes expansores de 1/2 pulgada.

La construcción de estos dos últimos elementos es mucho más simple que la de la parábola y consiste básicamente en cortar las distintas secciones de tubo y placa a las medidas necesarias. Una vez hecho esto, se hacen las perforaciones que se requieren y se soldan las piezas de acuerdo al diagrama. Por último, se les da el mismo tratamiento de pintura que a la estructura parabólica.

VI.3 ARMADO

En el punto anterior, al describir la construcción del modelo experimental, ya se tomaron en cuenta varios detalles del armado de la antena.

El primer paso consiste en atornillar las cuatro patas a la base. Cada pata tiene un par de perforaciones para evitar movimientos verticales de la base. Enseguida, se procede a fijar una a una las patas en los espárragos previamente insertados en el piso. Una vez que han quedado fijas las cuatro patas, es posible montar el capuchón cilíndrico sobre la base. Los dos tornillos del montaje se aprietan al toque para evitar que

éste gire durante el armado. Inmediatamente, se atornillan los elementos restantes del montaje, dejando libres únicamente el extremo inferior del sinfín y las barras perforadas del eje. Hasta este momento, no importa cual sea el ajuste de latitud y de declinación que tenga el montaje.

A continuación se ensamblan los gajos de la antena con tornillos que atraviesan la costilla principal de las dos mitades. Es importante verificar, antes de apretar los tornillos, que el empotramiento entre las dos secciones sea correcto. Una vez hecho ésto, es importante apretar con fuerza los tornillos para evitar desplazamientos posteriores.

Ya que han quedado unidas las dos mitades, se monta la parábola en el eje, sobre las costillas principales. Se pasan los tornillos a través de las barras paralelas y sobre las costillas. Ya que las barras superiores tienen varias perforaciones que determinan el offset, es necesario calcular previamente dicho parámetro.

Para concluir con el armado, se ensambla el tripié que servirá de soporte al alimentador y al amplificador de bajo ruido. Cada uno de los tubos de apoyo se atornilla a la circunferencia de la antena en las perforaciones ya hechas. Por último, se fija el extremo libre del sinfín a la placa de la parábola. De esta manera queda armado el modelo experimental de la antena parabólica, listo para hacer los ajustes de orienta-

ción y llevar a cabo pruebas experimentales.

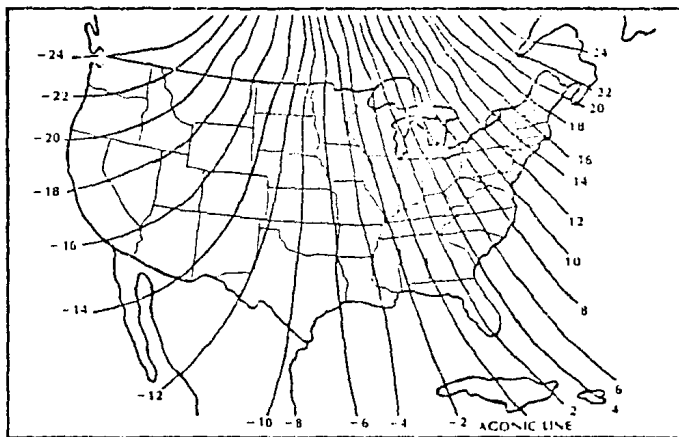
VI.4 ORIENTACION

Antes de proceder a la orientación de la antena es indispensable montar la corneta y el LNB sobre el triángulo en el punto focal de la antena. Como se explicó en el capítulo IV, la corneta que se utilizó es corrugada circular, con una guía de onda del tipo WR-229. El amplificador de bajo ruido tiene una cavidad igual, por lo que el acoplamiento de estos dos componentes es muy sencillo.

La corneta tiene unas perforaciones que coinciden con los tornillos del triángulo. Por medio de éstos, es posible ajustar la distancia focal a su valor nominal (69.44 cm). Es recomendable verificar que la corneta se encuentre dirigida al centro de la parábola. A continuación se aprietan las contratueras de las patas hasta que el tubo de la base esté perfectamente perpendicular. Esto se hace con una simple plomada, midiendo la perpendicularidad en las cuatro patas. Un montaje polar debe tener su eje alineado con el eje norte-sur de la Tierra, para poder así detectar los satélites de la órbita geosíncrona. Es más fácil de comprender si se visualiza una antena en el ecuador; sólo si su rotación es en un eje alineado con el centro de la Tierra, será capaz la antena de rastrear correctamente el círculo de satélites en el cielo.

La herramienta más útil para ajustar el eje de la antena con dicho plano es la brújula. Sin embargo, es necesario hacer una corrección debido a la variación entre el Polo Norte magnético y el geográfico.

Una brújula apunta hacia el Polo Norte magnético, localizado cerca de la isla Bathurst, en Canadá. Dependiendo del punto en el cual se utilice la brújula, será la variación entre los dos polos. Mientras más cerca estemos del polo, más crítica será la variación. La siguiente gráfica es una aproximación de dicha variación para Norteamérica:



Una vez que se tiene el valor de variación, se puede fijar el eje provisionalmente. Como dijimos con anterioridad, el ángulo polar es exactamente igual a la latitud del lugar donde nos encontremos. Este ángulo se fija con ayuda de un inclinómetro, el cual mide el ángulo entre el horizonte y cualquier punto en el cielo. Como se explicó durante el diseño del montaje, este ángulo fija el rastreo de la antena en un plano paralelo al ecuador. El inclinómetro se coloca en el eje de la antena y el tornillo del ángulo polar se ajusta a la latitud deseada. Para entonces, el ángulo de declinación ha sido previamente fijado. Como dijimos, este ajuste baja el plano de visibilidad de la antena del plano paralelo al ecuador, al arco ecuatorial de satélites.

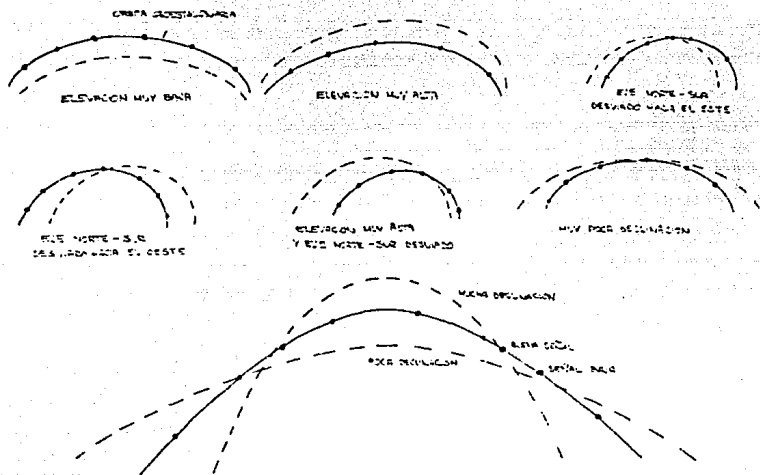
Finalmente, ha llegado el momento de hacer las conexiones eléctricas necesarias y de determinar la validez de nuestras suposiciones teóricas. Utilizamos un receptor de canales con sintonizador analógico y polarizador integrado. Además, tiene un medidor de señal, que será de gran utilidad en los ajustes finales. El polarizador se conecta al servomotor de la corneta y el detector se coloca entre las dos polaridades.

Con el receptor conectado a un televisor portátil, se comienza el barrido del arco a una elevación cercana a la del satélite Morelos I (50 grados). Nuevamente, se utiliza el inclinómetro para determinar de manera aproximada el ángulo de inclinación.

Una vez que obtenemos imagen, intentamos mejorarla afinando los ajustes de norte, ángulo polar y elevación. De esta manera es posible llegar a obtener un máximo de señal en el satélite Morelos I. Sin embargo, fué nuestra intención efectuar la orientación para que el rastreo cubra todos los satélites del cinturón de Clarke. Con este propósito, movimos la antena al extremo este del arco para detectar el satélite Satcom F4. Se detectó señal gracias al medidor del receptor, pero la imagen en el receptor fué sumamente baja. Debido a ésto, ajustamos ligeramente el eje norte-sur, con lo cual mejoró considerablemente la imagen. Hubo también que corregir ligeramente el ángulo polar con cinco vueltas para llegar al máximo de señal. Nuevamente nos dirigimos al Morelos I y hubo que corregir muy ligeramente el norte y con sólo dos vueltas el ángulo polar. Por último, regresamos al Satcom F4, corregimos una vuelta del ángulo polar y no hubo que hacer mas ajustes.

Anteriormente comentamos que el montaje polar tiene ligeras imprecisiones, lo cual se hizo patente en la orientación de la antena al tener que fijar el ángulo polar definitivo en un valor intermedio entre los ángulos óptimos del este y del oeste. Con los ajustes definitivos, se le dió un apretón final a la antena y procedimos a obtener los resultados experimentales. Los siguientes diagramas son útiles para determinar errores de rastreo por orientación deficiente [GALE y BAYLIN, 1986]:

PROBLEMAS COMUNES EN LA SINTONIZACION DE LA ANTENA



VI.5 RESULTADOS EXPERIMENTALES

Al hacer el cálculo del enlace en el capítulo V, fijamos un valor de portadora a ruido de 8dB como mínimo indispensable para obtener imágenes de calidad.

A pesar de que no contamos con el instrumental necesario para hacer una medición del anterior parámetro, estamos seguros de que se cumplió con dicho requerimiento. La calidad de imagen obtenida para todos los transpondedores activos del saté-

te Morelos I fue impecable. Tuvimos oportunidad de hacer pruebas en tres puntos de la ciudad de México y, sin tomar en cuenta una ligera interferencia alrededor de los 3.9 GHz en la zona norte de la ciudad, la calidad de imagen fué equivalente en el sur, el centro y el norte de la ciudad. También tuvimos oportunidad de hacer pruebas en las ciudades de Cuernavaca y León, obteniendo resultados igualmente exitosos.

Es indudable que lo más recomendable hubiera sido probar la antena en todas las regiones del país, pero, por falta de recursos y de tiempo, tenemos que confiar en los datos proporcionados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, al respecto de que la intensidad de la señal radiada por el satélite Morelos I es la misma para toda la superficie de la República Mexicana. Uno de los resultados más gratos fué el descubrir que, para el Morelos I, el sistema se encuentra sobrado de señal, ya que era posible desajustar ligeramente la antena sin que la imagen dejara de ser perfecta. Utilizamos un receptor de formato norteamericano para 24 canales en banda C. Hasta el canal 12 dicho receptor selecciona perfectamente los canales y cambio de polaridad es total y sin interferencias del canal adyacente. Para los canales 12 al 18, dicho receptor no es lo más conveniente si se toma en cuenta que el Morelos transmite seis canales con un doble ancho de banda. Sin embargo, es posible sintonizar perfectamente cualquiera de estos canales.

Realizamos también pruebas con amplificadores de bajo ruido con temperaturas que van desde los 90 grados Kelvin hasta los 50 grados Kelvin. Las diferencias de imagen no fueron demasiado apreciables y en un caso crítico, la antena puede llegar a operar con un LNB de hasta 85 grados Kelvin. De cualquier manera, el rendimiento óptimo, considerando el factor económico, se obtiene utilizando un LNB de 55 grados Kelvin.

Al llevar a cabo pruebas con receptores de distintos umbrales, las variaciones en la potencia de la señal fueron despreciables. Cuando mucho se llegó a notar una diferencia en la calidad de los colores ó en el tamaño del grano, pero la imagen siempre estuvo libre de la nieve que se presenta cuando hay escasez de señal.

Pudimos también hacer pruebas en circunstancias de lluvia intensa. Tanto en Cuernavaca, como en la ciudad de México, pudimos constatar que la imagen para cualquier canal de banda C no se ve afectada por la condición de lluvia. Este hecho nos ayudó a confirmar la suposición de que la antena experimental está operando con un razonable margen de intensidad de señal.

No obstante que el sistema fué diseñado concretamente para la recepción del satélite doméstico Morelos I, efectuamos pruebas sintonizando la antena a satélites norteamericanos de la banda geosíncrona. Los resultados fueron mejores de lo que habíamos esperado; por ejemplo, el satélite Galaxy I, que está

dirigido al centro de la Unión Americana, se capta ligeramente nevado, pero sin llegar a distorsionar el audio ó el video. Si tomamos en cuenta que la diferencia teórica de señal entre el Morelos I y el Galaxy I a la altura de la ciudad de México es de 9 dB, es explicable nuestro entusiasmo al observar las imágenes del anterior satélite a través de una parábola de 1.70 m de diámetro. La siguiente tabla clasifica de manera aproximada las imágenes captadas de distintos satélites de la banda geosíncrona:

SATELITE	IMAGEN	DEFINICION DE AUDIO	DEFINICION DE VIDEO
Satcom F1	nevada	buena	regular
Galaxy G1	ligeramente nevada	muy buena	buena
Satcom F3	sumamente nevada	regular	mala
Westar 5	sumamente nevada	regular	regular
Spacenet 1	ligeramente nevada	muy buena	muy buena

Morelos 1	impecable	excelente	excelente
Anik D1	nula	nula	nula
Westar 4	irreconocible	mala	muy mala
Satcom F4	nevada	buena	regular
Telstar 301	irreconocible	mala	mala
Satcom F2	ligeramente nevada	muy buena	buena

Basándonos en los anteriores resultados, llegamos a la conclusión de que, desde un punto de vista técnico, se cumplió con el objetivo primordial. Queda abierta la posibilidad de optimizar este primer prototipo recurriendo a materiales reflejantes que permitan una mayor eficiencia. Igualmente, es posible realizar estudios para determinar el comportamiento de la antena en banda Ku. Sería, sin duda alguna muy conveniente, el adaptar el prototipo para recepción dual.

CAPITULO VII. COMPONENTES COMPLEMENTARIOS.

VII.1 EL AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO.

El amplificador de bajo ruido (LNA), junto con el reflector parabólico, son los componentes más críticos en el sistema TV-RO, ya que la calidad de recepción depende directamente de ellos. El objeto del LNA es el de amplificar la débil señal reflejada por la antena a un nivel dentro del rango de operación del receptor. Como todo componente del sistema, genera ruido que, aunado el ruido de la antena, constituye el ruido base del sistema.

Mientras mayor sea la señal recibida en relación al ruido base, mejor será la recepción. La calidad del LNA se determina por la temperatura equivalente de ruido, que es un índice de la cantidad de ruido con que contribuye el LNA al sistema. En la actualidad se considera que un amplificador de bajo ruido de 65 K ó menor es muy bueno.

El LNA se conecta directamente a la corneta de alimentación, ya que cualquier pérdida entre estos componentes degrada directamente la calidad de recepción. Comunmente, el LNA se encasqueta en un blindaje mecánico intemperizado e inmune a radiofrecuencias

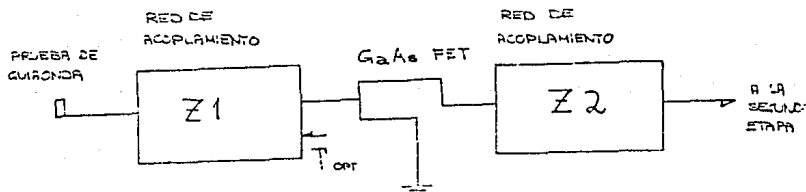
Para 4 GHz, se ha estandarizado la guía de onda WR-229, de manera que el acoplamiento entre el LNA y el alimentador sea directo. La salida del LNA es usualmente un conector coaxial tipo N para interconexión con el convertidor de frecuencia. La ganancia típica del amplificador de bajo ruido es de 50 dB; esto quiere decir que incrementa la potencia de la señal de la antena 100 mil veces.

El LNA es el primer componente activo en la cadena del procesamiento de la señal vía satélite. La potencia que llega a la entrada del LNA es menor a $1/10^{-11}W$, por lo que la contribución de ruido de este elemento debe ser mínima para poder llevar a cabo la amplificación. Lo anterior se hace posible gracias a los recientes avances en tecnología de transistores. Teóricamente, la antena y el alimentador representan una impedancia de 50 ohms a la guía de onda del LNA. En la práctica, esto no se cumple y por esa razón es necesario utilizar un aislamiento en la etapa de entrada. Un aislante es un dispositivo de ferrita, no recíproco, que permite que la señal recibida pase en una sola dirección, pero elimina cualquier señal reflejada en una resistencia de carga. Los aislantes modernos tienen pérdida de inserción baja [MADDOX, 1985].

Uno de los factores determinantes para la reducción tan drástica en el costo del LNA fué la eliminación de este aislante. Pero entonces, si no es indispensable, porqué fué puesto ahí en principio? En la primera etapa del LNA es vital lograr un

correcto acoplamiento entre los transistores de efecto de campo para conseguir la ganancia máxima. Sin embargo, este acoplamiento provoca que una parte de la potencia de entrada sea reflejada en la primera etapa del GaAs FET.

En un LNA con aislante, la potencia reflejada en la primera etapa es absorbida, mientras que en los nuevos diseños dicha potencia es radiada hacia el espacio a través de la corneta y posteriormente la antena. La primera etapa del LNA es un transistor de efecto de campo de bajo ruido, integrado en un circuito de microstrip (MSE, 1985).



El circuito Z1 representa a la compuerta del FET. La impedancia correcta para obtener la figura de ruido mínima es conocida como T_{opt} (gamma óptima). El circuito Z2 va acoplado al

drenaje del FET en impedancia correcta para obtener ganancia máxima. A esto se le conoce con el nombre de ganancia asociada (G_a) y es conseguida en el punto donde la temperatura de ruido es mínima. Se requiere una condición de acoplamiento distinta para obtener la máxima ganancia posible de un FET. Sin embargo, esta ganancia no corresponde a la condición de ruido mínima.

Para un FET típico de 0.3 micrómetros, la ganancia asociada es aproximadamente 12 dB, mientras que la máxima ganancia es aproximadamente 17 dB. La diferencia está en el acoplamiento de entrada: la condición de ganancia máxima se cumple cuando el 100% de la potencia de entrada es transferida al FET, esto es, Z_1 está diseñado para una potencia reflejada mínima (VSWR óptimo). La ganancia asociada ocurre a expensas del acoplamiento de entrada, por lo que la temperatura de ruido mínima se logra cuando el VSWR es tan alto como 6 a 1.

La fabricación de transistores de efecto de campo de gallium-Arsenide (GaAs FET) es el segundo parámetro determinante en el bajo costo de los nuevos amplificadores de bajo ruido. Los detalles del diseño del GaAs FET pueden ser resumidos en una dimensión crítica del circuito llamada : distancia de compuerta (gate length). Mientras menor es este parámetro, menor es la temperatura de ruido del amplificador. En muy corto tiempo se ha pasado de distancias de 1 micrómetro

(80-110 K) a 0.3 micrómetros (40-60K). Nuevos FETs en desarrollo de laboratorio han demostrado tener temperaturas de ruido de hasta 25 K en banda C. Sin embargo, estos dispositivos están aún a varios años de ser costeables para el mercado de TVRO. El LNA ha contribuido enormemente a hacer de la industria de TVRO lo que es hoy en día. Los amplificadores de 120 K y 1200 dólares de hace algunos años han sido reemplazados por otros de 50 K y precios inferiores a los 100 dólares. Esta reducción de precio sólo fue posible gracias a que la gran demanda de sistemas caseros permitió que, lo que hasta entonces había sido una tecnología de uso militar y científico, se comercializara , mejorando la calidad y abatiendo el costo.

A continuación se observaran gráficas con las variadas especificaciones que determinan la calidad del amplificador de bajo ruido. Las más importantes son: figura de ruido, ganancia y linealidad de ganancia. VSWR (razon de ondas estacionarias de tensión) es una medida del acoplamiento entre la entrada y la salida con relación a una impedancia ideal.

POTENCIA DE SALIDA, +dbm

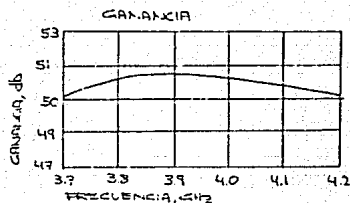
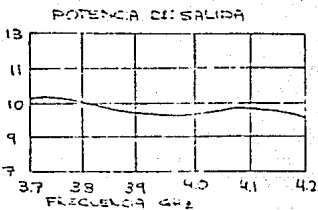
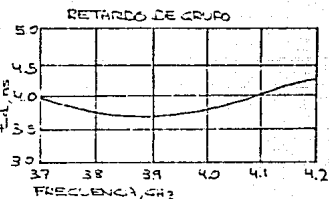
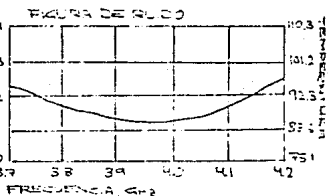
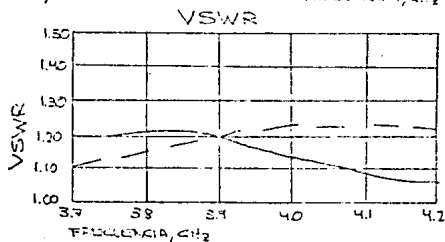
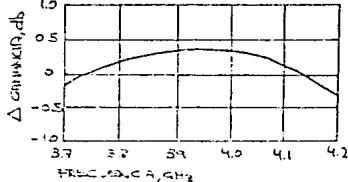
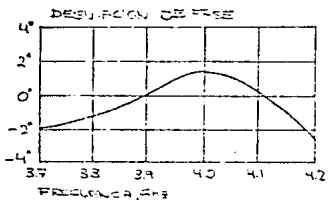


FIGURA DE RUÍDO, dB



$\Delta\theta$, grados



El LNA cuyas especificaciones se muestran anteriormente tiene una temperatura máxima de ruido de aproximadamente 95 Kelvin, una temperatura de ruido promedio de 87 y 85 Kelvin de temperatura de ruido de banda media. Es importante observar que la ganancia a media banda es usualmente mejor debido al acoplamiento y la sintonía de los circuitos GaAs-FET.

VII.2 EL CONVERTIDOR DE FRECUENCIA.

Las portadoras de microondas son difíciles de detectar y transformar directamente en video. Es necesario bajar la frecuencia de la portadora a un rango más razonable para poder demodular. En los primeros sistemas de recepción, esa frecuencia fué de 70 MHz. La manera más común para realizar este proceso consistió en adaptar un convertidor de frecuencia a la salida del amplificador de bajo ruido a través de cable coaxial calibre RG-214.

Los sistemas comerciales tiran una línea rígida entre el receptor y el LNA, pero por limitantes de costo y conveniencia, se optó por eliminar esta difícil instalación. Sin embargo, la creación del convertidor de frecuencia como un componente independiente y para intemperie tuvo algunos problemas en su comienzo. Las variaciones de temperatura, que eran mucho más evidentes afuera en la antena, provocaban que el oscilador controlado de voltaje operara incorrectamente. Hubo que integrar un

circuito de compensación automática de temperatura para garantizar la correcta sintonización de canales.

La conversión de frecuencia se hace posible gracias a un circuito llamado mezclador de rechazo de imagen. Un mezclador es un circuito que combina dos frecuencias entregando una tercera que puede ser la suma ó la diferencia de las iniciales. Utilizando circuitos sintonizados es posible aislar la frecuencia de interés. Para ilustrar este proceso consideremos el transpondedor 15 a 4 GHz, el cual se mezcla con una señal de 4.070 GHz. A esta segunda señal se le llama oscilador local (LO). La salida del mezclador contiene las dos señales originales, su suma (8.070 GHz) y su diferencia (70 MHz). Al filtrar las salidas por sobre 100 MHz se obtiene el canal 15 centrado en 70 MHz.

Desafortunadamente, en el caso real no sólo entra el canal 15 al mezclador sino la banda completa de 3.7 a 4.2 GHz. El problema se genera con la frecuencia que es 70 MHz superior a la del oscilador local, ya que como todas las señales que entran al mezclador, será sumada y restada. Debido a que es 70 MHz mayor, la señal diferencial es una segunda e indeseable señal de 70 MHz. Al sintonizar el canal 15 (4.0 GHz), la imagen será la del canal 22 (4.140 GHz). La imagen será siempre la de un canal 7 veces ó 140 MHz superior al que quisimos sintonizar y de polaridad opuesta.

Es aquí donde se utiliza el mezclador de rechazo de imagen, ya que, como su nombre lo dice, rechaza la señal indeseable de 70 MHz y refuerza la señal de interés. Esto es posible por medio de dos defasadores de 90 grados y 2 mezcladores. Las señales del LNA entran a un circuito híbrido, el cual entrega dos señales, una de las cuales lleva un defasamiento de 90 grados. Cada señal entra a un mezclador, cada uno de los cuales es excitado por un mismo oscilador local. La frecuencia indeseable, al ser invertida nuevamente 90 grados, presenta un defasamiento de 180 grados al entrar al segundo híbrido y por lo tanto se cancela a sí misma [MADDOX, 1985].

Actualmente, se han comercializado los llamados amplificadores de bajo ruido con convertidor de frecuencia integrado, mejor conocidos como LNB. Además, no se trata de un convertidor de frecuencia sencillo, ya que el receptor no sintoniza un solo transpondedor, sino la banda completa. Al mezclar las señales de 4 GHz con un solo oscilador de frecuencia, los doce transpondedores son transferidos a una banda inferior. Este proceso se conoce como conversión de frecuencia en bloque (BDC). En un principio se desarrollaron varios rangos para esta conversión, pero en los últimos años se ha llegado a un estándar para TVRO, el cual es de 950 MHz a 1450 MHz.

Para Banda Ku también se ha tomado este rango como estándar y hoy en día existen receptores que manejan simultáneamente banda C y banda Ku en el rango anterior y con alimentaciones

para ambos casos de 18 a 24 VDC. También se han desarrollado cornetas de dos bandas (C y KU) de foco primario con guías de onda independientes para los dos LNB. Una de las grandes ventajas del LNB es que se eliminan las pérdidas de acoplamiento entre el LNA y el convertidor de frecuencia y además, por su propiedad de convertir la frecuencia en bloque, es muy conveniente para instalaciones multiusuario.

VII.3 EL RECEPTOR DE CANALES

El receptor de canales es un componente vital, ya que es el que se encarga de seleccionar un canal dentro de la banda y, posteriormente, transformar la señal de manera que sea compatible con un televisor común.

Todos los receptores de video siguen un mismo camino para el procesamiento de las señales vía satélite. Sin embargo, existen modelos que, además de realizar esta función primordial, pueden procesar en estéreo, sintonizar digitalmente a control remoto, almacenar canales favoritos, etc. Aquí analizaremos el funcionamiento básico del receptor de canales.

Un receptor de canales está formado por los siguientes componentes: convertidor de frecuencia, etapa final de frecuencia intermedia (IF), discriminador, procesador de audio y video y

modulador. En el punto anterior se explicó la función del convertidor de frecuencia, el cual solía considerarse parte del receptor ,ya que se sintonizaba uno con el otro. Como se explicó también en el punto VII.1, actualmente dicha conversión de frecuencia se realiza en el amplificador de bajo ruido (UNB) y es por eso que los receptores más modernos no incluyen éste componente.

La etapa final de frecuencia intermedia se compone de: amplificadores, filtros paso banda y circuitos limitadores. Los amplificadores tienen la función de proporcionar un nivel suficiente de señal, ya que ésta llega muy debilitada al receptor debido a las pérdidas en el cable. Comúnmente, la amplificación se lleva a cabo por etapas intercaladas con filtros paso banda. Los amplificadores son transistores de banda ancha centrados en la frecuencia media de la banda de bajada. Los filtros paso banda fijan el ancho de banda del canal en 36 MHz ó menos al eliminar selectivamente señales indeseables. Debido que los demoduladores de FM detectan también las señales de AM ,y el ruido es en sí una señal de AM sobrepuesta en una de FM, antes de demodular el video es necesario eliminar la señal de AM. Esto se logra con un circuito conocido como limitador. Este transforma la onda senoidal de FM en una onda cuadrada, conservando las características de frecuencia (ceros) de la señal original.

Una vez que la señal ha pasado por el filtro paso banda, ajustándola al ancho de banda deseado, y se ha eliminado el ruido de AM en el limitador, se pasa a un circuito conocido como demodulador. Este último separa la portadora de la señal resultando lo que se conoce como video de banda base.

En un radio AM ó en un televisor, este circuito se conoce como detector, mientras que en un radio de FM se le llama demodulador o discriminador. Independientemente del nombre ó tipo de circuito, su función es básicamente la misma; la onda portadora, cuya frecuencia oscila 18 MHz arriba y abajo de la frecuencia central es eliminada y los cambios de frecuencia son convertidos en una señal de video.

Los receptores de TVRO utilizan generalmente dos tipos de demoduladores: PLL ó discriminador de retraso de línea. El primero es capaz de detectar señales débiles y discriminar entre la señal original y posibles interferencias. La limitante de los circuitos PLL es que no funcionan bien a frecuencias altas y es muy común que fallen a 70 MHz, lo cual produce colores demasiado brillantes e imágenes con demasiado contraste.

La línea de retraso coaxial no es tan efectiva como el circuito PLL para detectar intensidades de señal marginales ó discriminar interferencia, sin embargo, cuando la intensidad de señal es adecuada, proporciona imágenes bien definidas con muy buenos colores.

Una vez que el video ha sido detectado, es necesario hacer algunas modificaciones a la señal, antes de poder ser enviada al televisor. El primer paso es elevar el nivel de señal a 1 V pico a pico, que es el estándar de video. A continuación se contrarresta el aumento de frecuencia que las señales experimentan durante la transmisión. Por último, se elimina la señal de 30 Hz en amplitud modulada que fue sobrepuesta a la señal original durante el enlace de subida para evitar interferencias con la red telefónica terrestre.

La señal de video resultante contiene la información necesaria para ser procesada por un televisor común; una señal de sincronía que hace coincidir los pulsos de la estación transmisora con los del televisor, la luminiscencia o información de imagen y la información de color. Como se mencionó con anterioridad, el sistema de video utilizado en México es el NTSC, el cual es un estándar viejo que fue diseñado para la TV blanco y negro y es por ello que la información de luminosidad (blanco y negro) y la información cromática (color) se intercalan, a pesar de ser dos señales distintas.

Existen dos tipos de pulsos de sincronización para el barrido de la imagen. El sync horizontal dispara el oscilador horizontal del televisor, con lo cual la señal del oscilador regresa el haz de electrones de la parte derecha de la pantalla a la parte izquierda, sin dejar huella en la anterior. El número de pulsos horizontales de sincronización resulta del producto

del número de líneas por cuadro, que es 525 (NTSC), por el número de cuadros por segundo que es 30 (NTSC). Por lo tanto, los pulsos de sincronización horizontales se presentan 15 750 veces por segundo.

El sync vertical dispara al oscilador vertical para que regrese el haz de electrones de la parte baja de la pantalla a la parte superior sin dejar huella. Este pulso es mucho más largo que el horizontal (60 veces por segundo), ya que contiene mucha información como: señales verticales de prueba (VITS)- subtítulos y datos digitales.

El circuito de demodulación de audio se utiliza para separar la información de audio de su portadora. La portadora de audio es en realidad una subportadora impuesta a la señal de video. Las subportadoras de audio están arriba del video entre los 5 y los 8 MHz. La banda de subportadoras de audio contiene estaciones de radio FM independientes, estaciones de radio regionales y nacionales, teletexto, reportes bursátiles y varios tipos de información analógica y digital.

El audio transmitido vía satélite se subdivide en audio de banda ancha y audio de banda angosta. La banda ancha se utiliza para transmitir el audio del programa de video. La banda angosta se utiliza para los demás servicios.

La señal que entra al circuito de demodulación de audio debe de ser video banda base, ya que allí se encuentran las subportadoras de audio. Esta señal es dividida y pasada a través de dos filtros, los cuales separan las señales superiores e inferiores a 4.5 MHz. El filtro paso altas elimina las señales inferiores a 5 MHz para prevenir interferencia de los componentes cromáticos de la señal de video. Una vez filtrada, la señal de audio se divide nuevamente de manera que dos canales de audio independientes puedan ser detectados simultáneamente, permitiendo recepción en estéreo. Los seis métodos de transmisión de audio vía satélite son: subportadora monoaural de banda ancha en 6.8 MHz, estéreo discreto tanto en banda ancha como banda angosta, estéreo matricial y estéreo multiplex. No todos los receptores poseen los circuitos para procesar los diferentes formatos, pero normalmente es suficiente cuando se tiene el sintonizador de audio de 5 a 8 MHz y el procesador de estéreo discreto [MADDOX, 1985].

Ya que las señales vía satélite no son compatibles con los televisores comunes, es necesario pasarlas a través de un demodulador de radio frecuencia. Este componente combina las señales de audio y video y entrega una señal con impedancia de 75 ohms, la cual puede ser conectada directamente al televisor a través de un cable coaxial calibre RG-59 con conectores tipo F. Los canales de modulación son comúnmente el 3 ó el 4. Los moduladores más usados en los receptores de TVRO son los con-

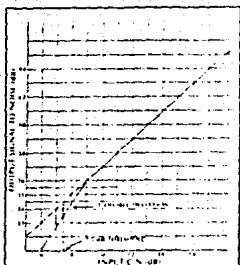
trolados por cristal ó los de circuitos sintonizados de inductor capacitor.

Los satélites de banda C tienen capacidad para transmitir 24 canales de TV y muchas subportadoras de audio por canal. El primer paso para detectar un canal consiste en orientar el detector de la corneta a la polaridad deseada. Para ello cuenta con un circuito que controla un servomotor empotrado en el alimentador. Posteriormente, el sintonizador envía un voltaje al oscilador, con lo cual, este ultimo genera la frecuencia apropiada para la seleccion del canal y toma los 36 MHz de ancho de banda del canal para pasarlo a la etapa de frecuencia intermedia.

La calidad del receptor depende de la claridad y fidelidad de la imagen y la limpieza del sonido. Esto se mide por medio de los siguientes parámetros: ancho de banda de video, umbral del receptor y método de sintonización.

Las transmisiones via satellite tienen un ancho de banda de 36 MHz. Sin embargo, un televisor reproduce únicamente 15 MHz. La fidelidad de imagen empeora conforme se reduce el ancho de banda. Se ha encontrado que el optimo para este tipo de receptores es de 28 Mhz. El umbral del receptor determina qué tan baja puede ser la señal de entrada, de manera que aún sea procesable por el receptor. El umbral es medido en el punto en

el cual la desviación del comportamiento lineal es de 1 dB, como se observa en la siguiente gráfica:



El utilizar circuitos electrónicos de calidad o reducir el ancho de banda del video, contribuye a reducir este parámetro. Es común en receptores comerciales el valor de 8 dB de C/N.

VII.4 EL LOCALIZADOR DE SATELITES

El posicionador de satélites es un elemento opcional del sistema TVRO, ya que como se especificó en el capítulo anterior,

la antena cuenta ya con un posicionador manual. Los posicionadores automáticos proporcionan la fuerza mecánica que permite a la parábola moverse a lo largo del arco de satélites. En caso de que la antena vaya a estar en constante movimiento entre varios satélites, es recomendable considerar este elemento. Los localizadores actuales se componen de 3 elementos: control, motor y actuador.

El control se encarga de proporcionar el voltaje que acciona el motor y lleva un conteo del número de vueltas, lo cual permite asignar las posiciones de los distintos satélites. Los modelos más recientes incluyen microprocesadores y memorias para programar satélites y tener acceso directo y automático. El motor es comúnmente de corriente directa con 1/4 de caballo de potencia y tiene integrado el circuito de conteo. El número de vueltas se obtiene por un sensor de efecto Hall, el cual permite una buena precisión. Por último, tiene un juego de engranes reductores, los cuales dan el movimiento al perno que acciona el actuador. Este no es más que un tubo empotrado al motor con un sinfín recíprocante. Al girar, el sinfín desplaza la sección interior del tubo y ya que la sección exterior del tubo está fija al motor, se produce un desplazamiento. Al empotrar este elemento a la parte exterior de la parábola, se consigue que ésta gire sobre su eje a lo largo del arco de satélites.

VII.5 OTROS.

Debido al rapido desarrollo de la industria de la TV via satélite, han surgido toda una serie de componentes adicionales al sistema básico. Esto ha permitido que usuarios con necesidades muy especificas puedan sacar el máximo provecho de su sistema de TVRO. Existen comercialmente decodificadores para todos los formatos de estéreo, decodificadores de subtítulos para sordomudos, decodificadores de información financiera mundial instantanea, etc.

Sería muy extenso entrar en los detalles de cada uno de estos componentes. Sin embargo, se mencionan para que se comprendan las variadas posibilidades que encierran las transmisiones para TVRO. Sin duda alguna, en los próximos años, este campo encontrará nuevas aplicaciones, ofreciendo al usuario un servicio más completo.

CAPITULO VIII. POSIBILIDADES DE COMERCIALIZACION.

VIII.1 FUNDAMENTACION

En un principio, al establecer las condiciones del sistema que planeábamos diseñar, nos dimos cuenta que, además de que a nivel técnico se cumplieran los requerimientos, era indispensable que el costo no se elevase demasiado. Como se mencionó en la introducción, el interés fundamental de este trabajo es el de diseñar un sistema de recepción de un satélite doméstico para aplicación rural.

Es debido a ello que no bastó con obtener resultados experimentales satisfactorios y decidimos hacer un análisis de la factibilidad de comercialización del sistema a nivel rural. Al tomar en cuenta el nivel económico promedio de la población campesina del país, estamos fijando una severa limitante al costo final del sistema.

Estamos conscientes de que el ingreso promedio de la familia campesina mexicana es críticamente bajo y de que, la mayoría de los casos, difícilmente puede pensar en algo más que lo indispensable. Sin embargo, es imposible renunciar a la idea de que todos los mexicanos puedan, algún día, tener acceso a los

servicios culturales e informativos que podría proporcionar nuestro sistema de satélites. Es por esto que, aunque en esta tesis sólo diseñamos un componente del sistema de TVRO, la antena, hicimos lo posible por hacerla económicamente accesible. Afortunadamente, llegamos a un modelo experimental que técnicamente cumplió con las expectativas y necesidades, y cuyo costo resultó ser sumamente razonable.

VIII.2 COSTO DE PRODUCCION.

En este punto se analizará el costo del sistema de TVRO en dos partes; por un lado, el costo de la antena, y por el otro, el costo de los componentes complementarios (alimentador, LNB y receptor). Este estudio está basado en el costo particular del modelo experimental. Sin embargo, si se estableciera una línea de producción en serie, los costos aquí considerados bajarían apreciablemente. Por último, debido a la inestable situación económica que vive el país actualmente, y para darle al presente estudio una mayor trascendencia, todos los costos están considerados en dolares americanos.

Los costos directos en la fabricación de la antena son: material y mano de obra. El costo del material comprende tubo, placa, malla, tornillos, remaches, pintura, soldadura, taquetes, etc. Debido a que elaboramos exclusivamente dos prototi-

pos, gran parte de los materiales tuvieron un costo de hasta un 30% superior por no tratarse de mayoreo. El costo del material por antena fué de 80 dólares aproximadamente. El costo de mano de obra por antena fué de aproximadamente 35 dólares. Nuevamente observamos que estableciendo una línea de producción en serie, este último costo se podría reducir hasta en un 50%.

Existen una serie de costos indirectos en la fabricación de la antena, los cuales son difíciles de evaluar, especialmente cuando se habla de dos unidades. Ellos son: depreciación de la maquinaria, financiamiento en la compra de materiales, energía eléctrica, etc. Fijando este costo en 5 dólares por unidad calculamos estar cubiertos.

De esta manera, el costo total del modelo experimental fué de 120 dólares, lo cual resulta muy atractivo, especialmente si se consideran las posibilidades de ahorro antes mencionadas.

Los componentes adicionales del sistema fueron adquiridos en el extranjero. Tenemos conocimiento de que en el CICESE, en Ensenada, Baja California, se llevan a cabo estudios para la fabricación de alimentadores corrugados y amplificadores de bajo ruido. Desgraciadamente, fué imposible recabar la información necesaria para integrarlos en este estudio. Sin embargo, es alentador saber que en un futuro cercano el sistema de TVRO podrá ser integrado en su totalidad en el país.

Por su parte, el receptor de canales, es un componente que hace algunos años se estuvo fabricando en nuestro país con tecnología mexicana. Aunque la empresa en cuestión (MEXSAT) desapareció, es sin duda posible apoyarse en sus diseños para, en un futuro cercano, diseñar un receptor que se ajuste a nuestras necesidades.

Como fundamentamos en el capítulo IV, decidimos utilizar un alimentador corrugado marca Chaparral, modelo Polarotor 1. No obstante ser el más caro de los alimentadores de este tipo, en pruebas experimentales demostró ser de mucho mayor calidad que otros similares (Boman, Echo.). El costo comercial del alimentador Chaparral es, en los Estados Unidos, de 37 dólares. Como se determinó en el capítulo anterior, el amplificador de bajo ruido óptimo para el sistema propuesto es el de 55 grados Kelvin. Todos los LNB disponibles para banda C hacen la conversión de frecuencia de 950 a 1450 MHz, con una ganancia nominal de 50 dB. Probando distintas marcas de amplificadores con iguales niveles de ruido, pudimos darnos cuenta de que no hay diferencia apreciable en cuanto a la señal. Los LNB de mayor renombre en el mercado de TVRO son: Drake, California Amplifier, Norsat, Spacevision y Echo. Las variaciones de costo, de acuerdo a la marca, son mínimas, y para un amplificador de 55 grados Kelvin, el costo comercial en los Estados Unidos es de 90 dólares.

Para el caso del receptor de canales, existe una amplia variedad: desde aparatos muy simples, hasta aquéllos que incluyen una serie de características como son: display digital, procesador de estéreo, control remoto inalámbrico, bloqueador de canales, ajuste automático de frecuencia, etc. Nos concretamos a hacer pruebas con receptores simples, ya que su costo es inferior.

Después de experimentar con distintos modelos, resultó ser el Echostar 1000 el más conveniente. Cumplió con las características indispensables que garantizan buena imagen y, además, tiene un precio muy accesible. El aparato cuenta con un sintonizador de canales de perilla, un polarizador, ajuste de audio de 5 a 8 MHz, medidor de intensidad de señal analógico y etapa de frecuencia intermedia de 950 a 1450 MHz. Su costo comercial en los Estados Unidos es de 90 dólares.

Los tres componentes complementarios del sistema han sido cotizados en los Estados Unidos. La importación implica un costo adicional de impuestos, fletes y gastos aduanales. Considerando las disposiciones aduanales y fiscales vigentes, el costo de cada uno de ellos se ve incrementado en un 45 %. El gobierno tiene la facultad de exentar del pago de impuestos a aquellos artículos que son importados para fines educativos. En caso de que se decidiera establecer un programa para la promoción de estos sistemas a nivel rural, sería conveniente canalizar la importación a través de alguna dependencia de la SEP y reducir así el costo.

Sumando los anteriores conceptos (incluidos impuestos) al costo de la antena, resulta un costo total de 435 dólares. Por último, hay que agregar el costo del cable necesario; la conexión entre el LNB y el receptor se hace por medio de cable coaxial calibre RG6 ó RG59. La conexión entre el receptor y el servomotor del alimentador se hace por medio de un conductor múltiple calibre 3 x 18. Asumiendo un cableado promedio de 25 metros, el costo del cable es de 15 dólares. De esta manera, el costo total del prototipo de TVRO fué de 450 dólares.

Aunque el anterior costo podría parecer alto, hay que recordar que se trata del costo de un solo sistema. Al calcular el costo en la fabricación de 100 sistemas similares, el costo unitario sería de aproximadamente 315 dólares. Además, en caso de que se lograra la integración nacional de todos los componentes, dicho costo bajaría aún más.

De cualquier manera, nos parece, que si se pudiera llegar a ofrecer a los usuarios rurales un sistema de alrededor de 300 dólares, tendría mucha aceptación. Previamente, habría que realizar un estudio económico y de mercado más concienzudo. Ojalá que alguna dependencia ó institución se avoque a esta tarea, para poder hacer llegar, en un futuro próximo, este tipo de sistema a las poblaciones incomunicadas del país.

CAPITULO IX: ASPECTOS DE INTERES

IX.1 INTRODUCCION

A pesar de que hasta este momento se han cubierto los conceptos indispensable que involucra un sistema de TVRO, consideramos conveniente hacer mención de aquellos aspectos que, de una u otra manera, están relacionados a él, y, en un momento dado, pueden ser de interés.

IX.2 INTERFERENCIA TERRESTRE

La interferencia terrestre es algo a lo que todos los sistemas de TVRO están expuestos. La antena parabólica capta todas aquellas señales que estén presentes en su rango de operación y no es capaz de discriminar entre aquellas que son de interés y las señales indeseables que puedan estar presentes en el medio.

La interferencia potencial que puede afectar al sistema incluye microondas de la banda C y señales de audio y video en la región de banda base. Esto provoca deterioro en la imagen, el cual puede ser imperceptible ó total, dependiendo del tipo

e intensidad de la interferencia. Las fuentes más comunes de interferencia a alta frecuencia son las redes terrestres de TV, teléfonos, etc. Una vez que estas señales indeseables entran al sistema, son difíciles de eliminar, ya que no es posible filtrarlas, pues están en el mismo rango de frecuencia que la señal del satélite.

Dependiendo de su intensidad pueden llegar a interferir ó eliminar totalmente uno ó varios canales de la señal vía satélite. Lo más recomendable en zonas que presenten este problema es instalar la antena en un punto bajo que pueda estar protegido de dichas señales ó, en su defecto, levantar mallas verticales protectoras.

La interferencia a frecuencias más bajas tiene sus orígenes en fuentes muy variadas y puede, por lo general, ser solucionada a través de filtros. Actualmente existe ya literatura especializada al respecto, la cual permite al usuario determinar el tipo de interferencia y tratar así de corregirla.

IX.3 CODIFICACION.

La codificación es un aspecto de la TV vía satélite que ha sido considerado como negativo por los usuarios. Se trata simplemente de modificar la señal de manera que no esté directamente disponible para cualquier persona. La reacción inicial

negativa hacia la codificación podría considerarse justificada, ya que impide la recepción de algunas de las señales que viajan libremente por el espacio. Sin embargo, tomado en cuenta los criterios de los programadores para codificar su señal, es comprensible e incluso benéfico a largo plazo.

El transmitir información, radio ó televisión vía satélite tiene un costo, y cuando se trata de información o programación de calidad, dicho costo es muy elevado. Algunos de los programadores no tienen la posibilidad de comercializar su programación y la única manera de recuperar la inversión de transmisión se hace posible teniendo suscriptores. Sería ingenuo confiar en la buena fe de los usuarios si, al transmitir la señal libre, se esperara que aquellos a los que les interesara, pagaran voluntariamente la cuota.

La codificación resuelve este problema al permitirle al programador llevar un control efectivo de sus suscriptores. Actualmente existen muy variados métodos de codificación en todos los tipos de transmisiones vía satélite, desde simples inversores de video, hasta sistemas digitales de codificación que utilizan el intervalo del barrido vertical para transmitir los códigos de audio ó video. Por medio de ellos es posible acceder individualmente a millones de suscriptores.

Los beneficios para la industria de TVRO son que, al poder codificar, cada vez más y distintos programadores considerarán

la posibilidad de utilizar el satélite como medio de transmisión, y por lo tanto, tendrá el usuario una selección mayor de programación e información. Además, desde el punto de vista científico, la codificación impulsa el desarrollo tecnológico de la industria en general.

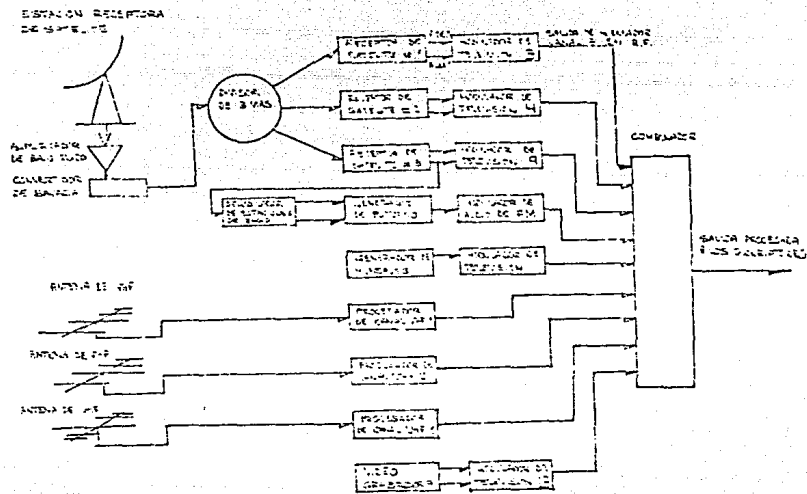
Actualmente son satélites americanos y canadienses los que han establecido distintos métodos de codificación, tanto para video como para datos. Habrá que seguir de cerca el desarrollo de dichos métodos, para que, en el momento que se requiera en México, se pueda implementar un sistema moderno.

IX.4 DISTRIBUCION.

La posibilidad de distribución de las señales captadas por una estación terrena, permite que usuarios como escuelas, clubes, hoteles y conjuntos habitacionales disfruten de los servicios del satélite.

Las diferentes configuraciones para distribución de señal dependerán de las necesidades particulares de cada caso. En general, la distribución de la señal se hace por cable coaxial con señales ya moduladas en los distintos canales de VHF, por lo que la conexión al televisor es directa y el costo de los componentes (divisores, acopladores, amplificadores, etc.) es muy

accesible. En el siguiente diagrama se muestra la instalación típica para usuarios con 30 televisores ó más (escuelas, hoteles, centros habitacionales, etc.), conocida con el nombre de cabeza terminal [NEXUS, 1987]:



La señal reflejada por la parábola incide a una corneta especial de doble polaridad. A la corneta se acoplan dos amplificadores, con lo cual son procesados simultáneamente los canales de ambas polaridades. A continuación, se divide cada una de las señales de acuerdo al número de canales que se deseen recibir por polaridad. Para cada canal, es necesario un receptor y un modulador. El receptor procesa el canal del satélite y el modulador lo acomoda en algún canal vacío del espectro de VHF ó de UHF, en caso de ser necesario. De esta manera, varios canales del satélite pueden ser acomodados, para posteriormente ser seleccionados en el sintonizador del televisor .

En este punto existe la posibilidad de integrar los canales locales al sistema, observando estrictamente que las ganancias sean equivalentes. Después de pasar por el combinador, la señal está lista para ser distribuida. El sistema soporta cuantos televisores sean necesarios. Afortunadamente, el costo no se ve afectado considerablemente al incrementar el número de televisores, y es por ello recomendable instalar el mayor número posible de ellos.

Otro punto importante es que los componentes de la cabeza terminal no necesitan ser adquiridos en su totalidad desde un principio. Es posible empezar con un sistema de uno ó dos canales e irlo complementando conforme vaya siendo necesario. Sería sin duda un gran éxito que el gobierno, a través de alguna de sus innumerables dependencias, promoviera este tipo de sistema en zonas escolares y habitacionales marginadas.

IX.5 RETRANSMISION

La retransmisión es una de las aplicaciones menos explotadas de la televisión vía satélite. Consiste, básicamente, en amplificar la señal entregada por el receptor para transmitirla en VHF y que pueda ser recibida por una antena aérea de cualquier televisor.

En áreas montañosas ó apartadas de las redes terrestres de microondas, este tipo de sistema tiene gran aplicación. Para las cadenas televisoras es incosteable extender sus redes hacia poblaciones pequeñas. Por años, millones de potenciales televidentes han tenido que prescindir de este servicio por encontrarse en lugares remotos e inaccesibles.

Desde la implantación del satélite Morelos I, todos esos territorios reciben, por primera vez, señales de televisión. Sin embargo, es imposible pensar que todas esas familias, en su mayoría de escasos recursos, tengan la posibilidad de adquirir un sistema de TVRO, por económico que sea.

Es en esos casos donde un sistema de retransmisión es costeable. Ya sea que se trate de una población de 100 habitantes, ó de un pueblo de 30 000, es posible diseñar un sistema

que brinde la potencia necesaria para alcanzar a todos [ANCIAUX, 1985]. Los componentes básicos para poder retransmitir, además del sistema de TVRO, son :

a) Convertidor de Frecuencia.

Convierte la entrada de frecuencia intermedia (generalmente canal 3) a la frecuencia de retransmisión.

b) Oscilador local.

Proporciona la radio-frecuencia apropiada a un nivel de potencia correcto para el convertidor.

c) Filtro Paso-Banda

Filtra las señales indeseables con lo cual se obtienen imágenes de TV nítidas en la nueva frecuencia.

d) Amplificador de Potencia.

Es un amplificador altamente lineal que incrementa el nivel de la nueva frecuencia a la potencia requerida.

Al igual que en el caso de distribución de señales vía satélite, la retransmisión no ha tenido el suficiente desarrollo, debido principalmente a la falta de programas informativos por parte del sector público. Es urgente promover este tipo de instalaciones en zonas rurales, las cuales, quizá sin saberlo, reciben señales de televisión desde hace algunos años.

CONCLUSIONES

El objetivo principal de esta tesis consistió en desarrollar un sistema rural para la recepción de televisión via satélite. Antes de entrar al análisis teórico, se establecieron los conceptos básicos de las comunicaciones por satélite. Es importante tener bien clara esta teoría ya que posteriormente, en el diseño, interviene directamente. Se especificaron las características generales de los enlaces de subida y de bajada para banda C, al igual que las del sistema de video NTSC. En vista de que el satélite doméstico para el cual se desarrolló el sistema de TVRO es el Morelos I, fué necesario determinar previamente aquellos parámetros que son de influencia en el cálculo de enlace.

A partir de las huellas de iluminación, se obtuvo el nivel de señal para la República Mexicana (PIRE). Con base en la posición que guarda el Morelos I en la órbita geoestacionaria, se determinó el ángulo de elevación, el cual es vital en el cálculo de la temperatura de ruido del sistema.

Después de analizar por bloques un sistema de TVRO común, se llegó a la conclusión de que era necesario analizar teóricamente el comportamiento del alimentador y de la guía de onda, y así poder elegir alguno que cumpliera con los requerimientos

particulares de este caso. El alimentador corrugado a 90 grados tipo Chaparral, presenta un patrón de radiación que es ideal para aplicación en sistemas de recepción vía satélite. Además, tiene la ventaja de tener una alta eficiencia y una apertura angular muy versátil.

Para el cálculo de la antena parabólica se consideraron parámetros muy conservadores. Tanto en el enlace como en la antena, se asumió el peor caso posible para garantizar la excelente recepción en cualquier circunstancia. De acuerdo a los cálculos teóricos, la antena parabólica debe brindar un nivel mínimo de relación portadora a ruido de 8 dB. El diámetro resultó ser 1.70 m y se optó por fijar la relación foco-diámetro en 0.39, punto en el cual la iluminación de la corneta es óptima.

Una vez obtenidos los parámetros de la antena parabólica, se inició la construcción del modelo experimental. El fabricarlo en estructura de fierro con malla como material reflejante se debió, principalmente, a la disponibilidad de equipo para trabajar los anteriores materiales. Las pruebas experimentales confirmaron las suposiciones teóricas en las que nos basamos, ya que la antena proporcionó imágenes perfectas en color y nitidez. Sin duda alguna que la relación portadora a ruido que proporciona el sistema es superior a los 8 dB.

Comparativamente, la antena experimental proporciona imágenes iguales a las de antenas comerciales de hasta 2.50 metros de diámetro. El prototipo de antena se comporta perfectamente en banda C en condiciones de lluvia intensa ó cintilación. Será muy interesante hacer las pruebas en banda Ku y banda Ka.

Se deja abierta la posibilidad de optimizar este primer modelo. El utilizar un material reflejante con menor rugosidad podría incrementar la ganancia de la antena apreciablemente. Otro proceso de fabricación, como el prensado, garantizaría una superficie parabólica más eficiente. Al estudiar estos aspectos habrá que considerar el costo, ya que se trata de un sistema para aplicación rural.

Al elegir los componentes complementarios, nos ajustamos a los estándares utilizados para TVRO en Norteamérica. En el caso del receptor de canales, no es el óptimo, ya que el satélite Morelos transmite 12 canales de 36 MHz y 6 canales de 72 MHz, mientras que los satélites americanos y canadienses tienen 24 transpondedores de 36 MHz.

El haber utilizado un montaje tipo polar deja abierta la posibilidad de acoplar al sistema un localizador automático de satélites. Sin embargo, hay que recordar que el diseño se basó en la recepción de un satélite doméstico, por lo que la imagen de la antena para otros satélites de banda geosíncrona no es

óptima.

Desde un principio, se planteó la necesidad de que el costo del sistema no fuese muy elevado y fuese así accesible para los habitantes de las zonas rurales de nuestro país. A pesar de que la solución a los problemas de comunicación actuales puede, en gran medida, estar en el Morelos I, esto sólo será posible si se desarrolla una infraestructura terrestre capaz de aprovecharlo eficientemente. El costo del modelo experimental (450 dólares) queda fuera de las posibilidades de la mayoría de los usuarios para los que fué diseñado. Sin embargo, estableciendo una línea de producción en serie se podría llegar a un costo mucho más accesible. Además, los componentes adicionales que son actualmente de importación se están desarrollando en México, por lo que cabe esperar, en un futuro cercano, una reducción adicional del costo.

Desgraciadamente, aunque se llegara a un costo tan bajo que permitiera la adquisición por gran parte del sector campesino, se tiene la problemática de la calidad de las transmisiones actuales del satélite Morelos. El gobierno no ha sabido, o no ha querido, aprovechar las posibilidades educativas de nuestro satélite. Convendría hacer a un lado la política y avocarse a la tarea de hacer llegar la cultura a todos los habitantes del país a través de canales educativos e informativos.

El sistema básico de recepción para televisión vía satélite se puede expandir para alimentar a comunidades enteras a través de redes de distribución ó de retransmisión. Estas últimas son de especial utilidad en comunidades rurales aisladas, especialmente si se toma en cuenta que el costo del sistema se divide entre todos los habitantes de la población ó municipio.

De la población total de nuestro país, un importante porcentaje son jóvenes y niños que habitan en zonas marginadas y que, desgraciadamente, carecen de la posibilidad de una educación adecuada. Hoy en día, México es una nación que está tratando de lograr la autosuficiencia en todos los ámbitos y, en pocos años, serán estos jóvenes los que determinarán el futuro del país. El brindarles la oportunidad de educación y de cultura permitirá que, llegado el momento, contribuyan activamente en su desarrollo. Tres años han pasado ya desde el lanzamiento del satélite Morelos y esperamos que, antes de que se agote su vida útil, actúen los funcionarios capaces de generar un cambio y promuevan la rápida implantación de este tipo de sistemas al igual que la de programación educativa y cultural sin tendencias.

APENDICE A

GLOSARIO DE TERMINOS

Alimentador: Dispositivo que capta las microondas concentradas por una antena en el punto focal.

Alineación: Proceso de maximización de sensibilidad de una antena ó de un receptor.

Amplificador de bajo ruido (LNA/LNB): Dispositivo que amplifica las microondas reflejadas, contribuyendo con un nivel mínimo de ruido.

Ancho de banda: Rango de frecuencia que pasa a través de un circuito.

Ancho de haz: Medida utilizada para describir el ancho de visibilidad de la antena. Se mide en ángulos, en el lugar donde la potencia alcanza su valor intermedio.

Angulo de elevación: Angulo vertical, medido desde el horizonte hasta el satélite.

Angulo de azimut: Angulo horizontal, medido en sentido horario a partir del norte geográfico.

Antena: Dispositivo que colecta energía electromagnética, lo cual resulta en una ganancia proporcional a la superficie de recepción.

Banda base: Señal pura de audio ó video sin onda portadora.

Banda C: Rango del espectro electromagnético que abarca de los 3.7 a los 4.2 GHz.

Banda Ku: Rango del espectro electromagnético que abarca de los 11.7 a los 12.2 GHz.

Canal: Segmento del ancho de banda que se emplea para un enlace de comunicaciones.

Canal único por portadora (SCPC): Sistema de transmisión vía satélite en el que se emplea una portadora separada para cada canal.

CATV: Abreviación utilizada para describir al sistema de televisión por cable.

Cifra de ruido: Relación entre la potencia que se genera a la entrada del amplificador y la que se generaría en un resistor

ideal.

Codificación: Método que se emplea para alterar la identidad de las señales con el fin de impedir que sean recibidas por usuarios no autorizados.

Control automático de frecuencia: Circuito que se emplea para fijar los canales en una frecuencia determinada.

Corneta: Dispositivo que se utiliza para la radiación y recepción de señales electromagnéticas.

DBS: Término que se utiliza para describir transmisiones de satélites dirigidas específicamente a usuarios particulares. Por lo general es en banda Ku.

Decibel: Término con que se expresa la relación de niveles de potencia y que indica la ganancia ó pérdida de una señal.

EIRP: (Effective Isotropic Radiated Power) Ver FIRE.

Enlace: Proceso de comunicaciones que considera los factores positivos y negativos que se presentan entre transmisor y receptor.

Estación terrena: Sistema completo para la recepción ó transmisión vía satélite.

Frecuencia intermedia: Rango de frecuencia que se genera después de la conversión descendente en el receptor.

Ganancia: Cantidad de amplificación de la potencia de salida con respecto a la entrada.

Guía de onda: Línea de transmisión a través de la cual se propaga la onda electromagnética.

Grados Kelvin: Unidad de medición de temperatura por sobre el cero absoluto.

Huella: Área geográfica iluminada por la señal de un satélite. La medida de la potencia de esta señal es indicada por el término PIRE.

Latitud: Medida de un punto de la superficie de la Tierra al norte ó al sur del ecuador, expresada en grados.

Lóbulo lateral: Esquema utilizado para describir la habilidad de una antena de recibir señales fuera de su eje principal. Mientras mayores sean estos lóbulos, más expuesta estará la antena a señales indeseables de interferencia y ruido.

Longitud: Distancia al este ó al oeste del primer meridiano medida en grados.

Montaje: Estructura que soporta la antena. Existen dos tipos de montaje, el polar y el de azimut-elevación.

NTSC: (National Television Standards Committee) Formato de video utilizado en México y Norteamérica.

Orbita geostacionaria: Orbita circular a 35 820 Km sobre el ecuador. En ella los satélites viajan a la misma velocidad de rotación de la Tierra y parecen estar fijos con respecto a un punto en la superficie.

PAL: (Phase Alternate Line) Formato de televisión de color utilizado en Europa.

PIRE: (Potencia efectiva isotrópica radiada) Parámetro que indica la intensidad de señal en la superficie terrestre, radiada por un satélite.

Polarización: Característica de las ondas electromagnéticas que permite la reutilización de frecuencias.

Razón de ondas estacionarias de tensión (VSWR): (Voltage Standing Wave Ratio) Medida del porcentaje de la potencia reflejada, con respecto a la potencia total que arriba al dispositivo.

Receptor de satélite: Dispositivo electrónico de la estación terrena que realiza la conversión descendente y el procesamiento de las señales de audio y video para que sean descifradas por un televisor común.

Relación portadora a ruido (C/N): Relación entre la potencia de la portadora recibida y la potencia del ruido en un ancho de banda determinado.

Relación señal a ruido (S/N): Relación entre la potencia de la señal a la salida del receptor y la potencia del ruido en un ancho de banda determinado.

Ruido de la Tierra: Señales electromagnéticas perturbadoras generadas por el calor emitido por la Tierra.

Ruido térmico: Señales electromagnéticas perturbadoras generadas por la agitación molecular. Se conocen comúnmente como ruido.

SECAM: Formato de video utilizado en algunos países de Asia.

Subportadora: Onda portadora que transmite información de audio entre 5 y 8.5 MHz en un enlace vía satélite.

Temperatura de ruido: Medida de la magnitud de ruido térmico presente en un sistema.

Transpondedor: Receptor, repetidor y transmisor de microondas que se emplea en un satélite para amplificar y cambiar la frecuencia de una señal entre el enlace de subida y el de bajada.

TVRO: (Television Receive Only) Abreviación utilizada para describir a las estaciones terrenas que operan como receptoras exclusivamente.

Umbral: Parámetro del receptor que indica la entrada mínima de señal requerida para el correcto procesamiento de imagen.

APENDICE B

ESPECIFICACIONES DEL MODELO REAL DE LA ANTENA

Diámetro.....D = 1.70 m
Distancia focal.....f = 0.6944 m
Relación foco-diámetro.....f/D = 0.40849
Directividad.....d =
Profundidad.....p = 0.2601 m
Temperatura total de ruido.....Ta = 17.46 K
Ancho de haz de potencia media..... θ = 44,7501
Eficiencia total.....N = 70 %
Rugosidad de la malla.....R = 0.1 cm (RMS)
Espaciamiento máximo de la malla....l = 0.45 cm
Ganancia de la antena.....G = 35.92 dB (4.2 GHz)
Resistencia al viento.....V = 95 Km/h aprox
Estructura de la antena.....fierro con malla de criba
Montaje.....polar
Secciones.....dos
Color.....negro
Peso.....42 Kg

APENDICE C

ESPECIFICACIONES DE LA CORNETA CHAPARRAL

Rango de frecuencia.....3.7 a 4.2 GHz
Rango de profundidad de antena.....0.33 a 0.45
Guía de onda.....WR-229
Tipo.....corrugada a 90 grados
Corrugaciones.....3
Selección de polaridad.....horizontal y vertical
VSWR.....1.2/1
Peso.....1.5 lbs.
Diámetro.....6.5"
Aislamiento.....35 dB

APENDICE D

ESPECIFICACIONES DE LNB

Frecuencia de entrada.....3.7 a 4.2 GHz
Frecuencia de salida.....950 a 1450 MHz
Temperatura de ruido.....55 K máximo
Ganancia.....60 dB mínimo
Alimentación.....18 VDC

APENDICE E

ESPECIFICACIONES DEL RECEPTOR ECHOSTAR 1000

Tipo.....conversión de frecuencia en bloque
Frecuencia de entrada....950 a 1450 MHz
Umbral.....7.5 dB
Alimentación al LNB.....18 VDC
Alimentación.....110 VAC
Banda.....C y Ku
Selección de canales....continua
Selección de audio.....continua
Rango de audio.....5 a 8.5 MHz
Polarizador.....integrado.

APENDICE F

NOTACION EXPONENCIAL

Los decibeles se utilizan para expresar los valores relativos de dos señales. La escala logarítmica permite manejar con mayor facilidad valores con grandes diferencias. Los decibeles se definen por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{diferencia en decibeles} = 10 \log (\text{señal A/señal B})$$

Por ejemplo, si la señal A es de 1000 W y la señal B es de 10 W, la señal A es 20 dB más potente que la señal B ya que:

$$\text{dBW} = 10 \log (1000/10)$$

$$\text{dBW} = 10 \times 2$$

$$\text{dBW} = 20 \text{ dB}$$

Por lo tanto, cuando se dice que la ganancia típica de un LNB es de 60 dB, quiere decir que la señal del satélite entregada por el amplificador es diez millones de veces más potente que la señal de ruido.

Los decibeles se utilizan para expresar niveles relativos de distintas unidades como son los Watts, los Volts, etc.

APENDICE G

CALCULO DEL ANGULO DE DECLINACION

El ángulo de declinación para un montaje polar se puede calcular por medio de la siguiente fórmula:

$$= \text{ang tan} [(3964 \sin L) / (22300 + 3964 (1 - \cos L))]$$

donde:

= ángulo de declinación expresado en grados

L = latitud expresada en grados

Los dos números de la ecuación corresponden a el radio de la Tierra (3964 millas) y a la distancia de la superficie terrestre a la órbita geoestacionaria (22300 millas).

Una vez obtenido el valor en grados, se hace el ajuste en la antena. Este ajuste variará para cada antena dependiendo de la longitud de su eje.

APENDICE H

TABLA DE PERDIDAS POR TRANSMISION EN CABLE COAXIAL

<u>TIPO</u>	<u>MODELO</u>	<u>IMPEDANCIA</u>	<u>ATENUACION A 900 MHz (dB/100 ft)</u>
RG-6	8228	75 ohms	6.9
RG-6	9248	75 ohms	6.9
RG-11	9230	75 ohms	5.2
RG-11	9292	75 ohms	5.2
RG-59	8241	75 ohms	10.9
RG-59	9275	75 ohms	8.4
RG-214		50 ohms	21.5 a 4 GHz

APENDICE I

CALCULO DE ANGULOS DE AZIMUT Y ELEVACION

$$X = X_{sp} = - R \sin (\text{long}) \sin (\text{lat})$$

$$Y = Y_{sp} = d \sin (\text{pos}) - R \sin (\text{long}) \cos (\text{lat})$$

$$Z = Z_{sp} = d \cos (\text{pos}) - R \cos (\text{long})$$

$$D = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

$$\text{Elevación} \quad e = 90^\circ - e'$$

$$e' = \text{ang} \sin \left[\frac{1}{2RD} \sqrt{(d+D+R)(d+D-R)(d+R-D)(R+D-d)} \right]$$

$$\text{Azimuth} \quad \beta = 360^\circ - \beta'$$

$$\beta' = \text{ang} \tan \left[\cot (\text{pos} - \text{long}/2) \cot (\text{lat}/2) \right] + \\ \text{ang} \tan \left[\cot (\text{pos} - \text{long}/2) \tan (\text{lat}/2) \right]$$

Lat = latitud norte de la estación terrena

Long = longitud oeste de la estación terrena

Pos = longitud oeste del satélite

R = radio terrestre (6780 Km)

r = radio de la OSG (35800 Km)

d = r + R

BIBLIOGRAFIA

ANCAUX, Louis. Television Translator and Transverter Systems.
Lunar Electronics, 1985, San Diego, Ca., U.S.A.

BAYLIN, Frank, BERKOFF, Steve y Meintz Tim. Satellite, Off-Air
& SMATV. ConSol Network Inc., marzo 1987, Boulder, Co., U.S.A.

BERMUDEZ, Guillermo. El reto de la era espacial. Información
Científica y Tecnológica, Vol. 7 Núm. 100, enero 1985, México,
D.,F.

BERMUDEZ, Guillermo. México entra en la historia contemporánea
de las comunicaciones. Información científica y tecnológica,
febrero 1985, Vol. 7, Núm. 101, México.

BIRKILL, Steven. Straight Talk About Circular Polarization. Sa-
tellite Dealer, julio 1984, Comm Tek Publishing Co., Pasadena,
Ca., U.S.A.

BOSTICK, Glyn, FANNETTI, John, JOHNSON, William. The Avoidance/
Suppression Approach to Eliminating Terrestrial Interference
at TVRO Earth Stations. Microwave Filter Inc., 1984, East
Syracuse, NY, U.S.A.

BRANNON, John. A World of Opportunity. Ku band World, enero 1986, Massachussets, U.S.A.

CANTU CAMARENA, César. Recepción de señal de televisión via satélite por medio de un lente de fresnel. Universidad La Salle, 1987, México, D. F.

CARRILLO, Rubén. Comunicaciones por satélites. Revista Telegráfica Electrónica 845, octubre 1983, México, D. F.

CLARRICOATS, B. y OLVER, A.D. Corrugated horns for microwave antennas. IEE Electromagnetic Waves Series 18, Peter Peregris Ltd., 1984, London, U.K.

COLLIN, Robert. Antennas and radiowave propagation. McGraw-Hill Book Co., 1985, Singapur.

CURRINGHAM, John. Cable Television. Howard W. Sams & Co., Inc., 1976, Indianapolis, In., U.S.A

División de Educación Continua de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Telecomunicaciones Vía Satélite. Septiembre 1983, UNAM, México.

FOLDES, Peter. Evaluating the effects of rain and wind on TVRO systems. T/PO Technology, diciembre 1985, Littleton, Co., U.S.A.

GALE, Brent y BAYLIN, Frank. The Home Satellite TV Installation and Troubleshooting Manual. Baylin/Gale Productions, 1986, Boulder, Co., U.S.A.

GARRIDO, Consuelo. Las entrañas del Morelos I. Información Científica y Tecnológica, Vol. 7 Núm. 100, enero 1985, México, D.F.

GOMEZ GONZALEZ, Amanda Oralia. Desarrollo de un conjunto de programas para el cálculo de parámetros de enlace para satélites de comunicación. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), febrero 1982, Ensenada, BC, México.

GOMEZ GONZALEZ, Amanda Oralia. Modelo de Temperaturas de Antena de Recepción de Satélite. Universidad de Guadalajara, 1983, Guadalajara, México.

GUSTAFSON, Mike. Are you ready for two-degree spacing? Home Satellite Marketing, septiembre 1984, New York, U.S.A.

GUSTAFSON, Mike. Satellite Spacing and its Effect on Video Quality. Satellite TV Magazine, noviembre 1983, Shelby, NC., U.S.A.

HOWARD, Taylor. Will mesh work for Ku band ? Ku band World, enero 1986, Massachussets, U.S.A.

KOOGLER, Steve. The Total System Approach to TVRO System Design. TVRO Technology, enero 1986, Littleton, Co., U.S.A.

KRAUS, John y CARVER, Keith. Electromagnetics. McGraw-Hill International Book Co., 2a. ed., 1973, Tokio, Japón.

LANDEROS, Salvador. El Sistema de Satélites Morelos. Mex-Com 1985, febrero 1985, México.

LANDEROS, Salvador y NERI VELA, Rodolfo. Sistema Morelos de Satélites Domésticos Mexicanos. Teledato, marzo 1984, No.29, México.

LARSON, Keith. Carrier to Noise Ratio. Satellite Dealer, diciembre 1984, Comm Tek Publishing Co., Pasadena, Ca., U.S.A.

LOEFFLER, John. Solar Outage Season. Satellite TV Magazine, agosto 1984, Shelby, NC., U.S.A.

LONG, Mark. International TVRO. Satellite World, octubre 1985, Comm Tek Publishing Co., Pasadena, Ca., U.S.A.

LONG, Mark. World Satellite Almanac 1985. Satellite World Magazine 1985, Comm Tek Publishing Co., Pasadena, Ca., U.S.A.

LOVE, A. Electromagnetic Horn Antennas. IEEE Press, 1976, New York, U.S.A.

MADDOX, Richard. Satellite TV Systems. TAB Books Inc., 1985, Blue Ridge Summit, Pa., U.S.A.

MARTINELLI, Larry. Calculating mesh antenna performance at Ku band. TVRO Technology, Vol.1, Núm. 9, diciembre 1985, Littleton, Co., U.S.A.

Microwave Systems Engineering, Inc. C-band & Ku-band LNB group delay performance. MSE, marzo 1985, Phoenix, Az., U.S.A.

NERI VELA, Rodolfo y MARTINEZ AVALOS, Bernardo. Cómo orientar una antena parabólica hacia el SSM ? Ciencia y Desarrollo, julio-agosto 1986, Conacyt, México, D.F.

NEXUS Engineering Corp. Cable Television Head-End. 1987, Burnaby, BC., Canada.

RAMO, Simon, WHINNERY, John y VAN DUZER, Theodore. Fields and waves in communication electronics. John Wiley & Sons, Inc., 2a. ed., 1984, New York, U.S.A.

SCHULTHEISS, Chris. A Practical View of Antenna Design. Satellite TV Magazine, marzo 1984, Shelby, NC., U.S.A.

SEAVEY, John. How to modify the TVRO system for Ku band operation. Ku band World, enero 1986, Massachussets, U.S.A.

SHELDON, Dave. The Right Dish Material for you. Home Satellite TV, noviembre 1985, Ventura, Ca., U.S.A.

SILVER, S. Microwave Antenna Theory and Design. MIT Radiation Laboratory Series, Vol. 12, McGraw-Hill, 1949, New York, U.S.A.

TRAISTER, Robert. Build a personal earth station for worldwide satellite TV reception. Tab Books Inc., 1982, Blue Ridge Summit, Pa., U.S.A.