



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ ARAGON ”

68  
24

“ CALCULO DE LA CALIDAD ”  
DE ENLACES DE COMUNICACIONES  
VIA SATELITE  
PARA LA TRANSMISION DE SEÑALES  
DE VOZ Y DATOS

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P r e s e n t a :

ANGEL RICARDO VAZQUEZ VICTORIA

Asesor: Ing. Raul R. Bribiesca Correa

SAN JUAN DE ARAGON, EDO. DE MEXICO

1996

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCION

ÁNGEL RICARDO VÁZQUEZ VICTORIA  
PRESENTE.

En contestación a su solicitud de fecha 30 de noviembre del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. RAÚL ROBERTO BRIBIESCA CORREA pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado "CÁLCULO DE LA CALIDAD DE ENLACES DE COMUNICACIONES VÍA SATÉLITE PARA LA TRANSMISIÓN DE SEÑALES DE VOZ Y DATOS", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento, me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"  
San Juan de Aragón, México, 1 de diciembre de 1995  
EL DIRECTOR

  
M. CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO

c c p Jefe de la Unidad Académica.  
c c p Jefatura de Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.  
c c p Asesor de Tesis.

CCMC/AIR/IIa



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
CAMPUS ARAGÓN

UNIDAD ACADÉMICA

Ing. RAUL BARRON VERA  
Jefe de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica,  
Presente.

En atención a la solicitud de fecha 18 de enero del año en curso, por la que se comunica que el alumno ANGEL RICARDO VAZQUEZ VICTORIA, de la carrera de INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA, ha concluido su trabajo de investigación intitulado "CALCULO DE LA CALIDAD DE ENLACES DE COMUNICACIONES VIA SATELITE PARA LA TRANSMISION DE SEÑALES DE VOZ Y DATOS", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del examen profesional.

Sin otro particular, le reitero las seguridades de mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU  
San Juan de Aragón, México., enero 19 de 1996.  
EL JEFE DE LA UNIDAD

  
Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS

c c p Asesor de Tesis.  
c c p Interesado.

  
AIR/vr

**A MI MADRE**

**SEÑORA MARIA HILDA VICTORIA SANTAMARIA**

**PORQUE SIEMPRE ME APOYO EN MIS GRANDES Y PEQUEÑOS PLANES**

**A MI PADRE**

**SEÑOR ANGEL VAZQUEZ RIVERA**

**QUIEN MAS QUE PADRE, AMIGO Y CONSEJERO NUNCA DUDO QUE LO LOGRARIA.**

**A MIS HERMANOS**

**IVAN Y JORGE VAZQUEZ VICTORIA**

**CON QUIENES SIEMPRE E CONTADO Y QUE CON SU ESPIRITU DE COMPETITIVIDAD SIEMPRE ME HAN IMPULSADO A SUPERARME AFRONTANDO EL CAMBIO Y LAS ADVERSIDADES.**

**CON CARÍÑO A MI PAREJA**

**SOLEDAD TECUIXPO HERNANDEZ RODRIGUEZ**

**CON QUIEN SIEMPRE HE CONTADO A LO LARGO DE NUESTRA RELACION EN TODO TIPO DE SITUACIONES CONLLEVANDO LOS LARGOS RATOS EN QUE NO NOS VEIAMOS POR CONSIDERACION A MI FORMACION PROFESIONAL.**

**A MI AMIGO DE TODA LA VIDA**

**ARTURO GARCIA GARCIA**

**POR SU AMISTAD DESINTERESADA Y POR LOS GRANDES Y MALOS MOMENTOS QUE HEMOS COMPARTIDO DESDE NUESTRA INFANCIA.**

**CON CARÍÑO Y RESPETO A LA U.N.A.M.**

**FEBRERO DE 1996**

**MEXICO D.F.**

## PROLOGO

La realización del presente trabajo es la culminación de una etapa de formación en la cual siempre tuve la intención de seguir adelante hasta el momento en que me fuera posible, consecuencia de ella fue el vivir experiencias de provecho y otras no tanto pero que al final tuve la suerte de canalizar adecuadamente para poder alcanzar una formación profesional, la cual no hubiese sido posible de haberme faltado el apoyo que da el contar con una familia unida y deseosa de que cada uno de sus elementos mejore día con día, es por eso que dedico este trabajo a mis padres y hermanos, cuyo apoyo incondicional siempre fue mi respaldo en toda empresa que deseara emprender.

El tema que trato en este trabajo de tesis considero será un documento de apoyo para los estudiantes de la carrera de ingeniería en comunicaciones ya que procuro presentar tópicos con los que el egresado se tendrá que enfrentar al salir al campo laboral actual.

Como antecedentes para la realización de este documento me encontré con lo siguiente: Que México entra en las comunicaciones espaciales en 1968, año en que inicia sus operaciones la estación terrena tulancingo 1. A partir de esta fecha las comunicaciones en nuestro país sufrirán una alteración muy significativa en su tratamiento ya que se dejara en un uso muy limitado a los antiguos cables telegráficos y telefónicos, ya que los adelantos en tecnología espacial, computacional y de telecomunicaciones han alcanzado metas insospechadas para aquellas fechas y que grandes grupos como lo son IBM, AT&T, ERICSSON, MICROSOFT, NOVELL, HEWELETT PACKARD, APPLE, INTERSYS, ACER y otros tantos consorcios privados dedicados a la investigación de sistemas electrónicos de procesamiento y comunicación de información ofrecen sus productos y servicios a empresas de todo tipo, estando entre ellas las grandes empresas para - estatales.

Es gracias a este panorama que decidí realizar este escrito en el cual concentro información actualizada hasta la fecha de su impresión, ya que considero que este es un campo laboral muy amplio y con mucho futuro y entre mejor preparados salgan los futuros ingenieros nuestro país tendera a ser mejor.

Agradezco sinceramente la ayuda de todas aquellas personas que me proporcionaron su apoyo para llevar a cabo la realización de mi tesis profesional

Quiero hacer patente mi agradecimiento a todos mis profesores quienes fueron mi guía y a quienes debo lo que soy, por su esfuerzo y dedicación en la misión de la enseñanza así como a mis compañeros y amigos con los que conté a lo largo de mi trayectoria escolar

Me otorgo agradecimiento al ING. RAUL ROMERO CASTRO y al ING. RUBEN DEL PRADO NAVARRETE por su paciencia y confianza al enseñarme los primeros pasos en el manejo real de equipo y situaciones que se presentan en el duro campo del manejo y control de sistemas de comunicaciones mientras realizaba mi servicio social.

Por los consejos y ayuda personal que siempre me brindaron desinteresadamente les doy las gracias a aquellos que menciono a continuación.

INGENIERO RAUL BRIBIESCA CORREA  
INGENIERO RAUL BARRON VERA  
INGENIERO BENITO ZUÑIGA VILLEGAS  
INGENIERO SERGIO ESPINOSA CAN  
INGENIERO JOSE MARIA CARDENAS ZAZUETA  
INGENIERO JESUS LINO RAMIREZ  
INGENIERO ANTONIO ANDREWS GONZALEZ  
INGENIERO PATRICIA ROSAS REYES  
INGENIERO TAIDE HERNANDEZ JUAREZ  
INGENIERO CARLOS ALFARO BOUCHAN  
INGENIERO MARTA ESPINOZA CHAVEZ  
INGENIERO MIGUEL ANGEL CASTRO SENSOR

En forma especial agradezco las facilidades que me brindaron para la realización de las investigaciones y para obtener la preparación adecuada para incursionar en este campo de la Ingeniería a las siguientes personas.

INGENIERO ENZO MOLINO RAVETTO  
INGENIERO ALEJANDRO OVALLE GONZALEZ  
INGENIERO ALBERTO OLIVA RUIZ  
INGENIERO MARIA DEL CARMEN DE LEON GARCIA

# TEMA DE TESIS

CALCULO DE LA CALIDAD  
DE MATERIAS PRIMAS AGRICOLAS

1950

1950

1950

1950

1950

1950

## INDICE

<b>PROLOGO</b>	<b>1</b>
<b>INDICE</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>6</b>
<b>CAPITULO I ANTECEDENTES.</b>	<b>7</b>
1.1 INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE COMUNICACION VIA SATELITE	8
1.2 HISTORIA DE LOS SATELITES DE COMUNICACIONES	10
1.3 COMO FUNCIONA UN SATELITE DE COMUNICACIONES	19
1.4 PRINCIPALES COMPONENTES DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES POR SATELITE.	25
SUBSISTEMA DE ANTENA	29
SUBSISTEMA DEL AMPLIFICADOR DE ALTA POTENCIA (HPA)	32
SUBSISTEMA DEL AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO (LNA)	32
SUBSISTEMA DE EQUIPO DE COMUNICACION TERRESTRE (GCE)	34
EQUIPO MULTIPLEX	37
SUBSISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL	38
SUBSISTEMA DE POTENCIA	38
1.5 DESCRIPCION GENERAL DE UN SISTEMA DE COMUNICACION VIA SATELITE.	39
SISTEMAS ANALOGICOS	39
SISTEMAS DIGITALES	39
1.6 SERVICIO FIJO POR SATELITE, CATEGORIAS Y CLASIFICACION.	41
SECCIONES	42
CUESTIONES	43
DESECCIONES	45

1.7	CARACTERISTICAS DE LOS SATELITES MORELOS Y SOLIDARIDAD	45
	SATELITES MORELOS	45
	SATELITES SOLIDARIDAD	49
1.8	SERVICIOS, BENEFICIOS, VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DEL SATELITE	57
	CRITERIOS PARA LA SELECCION DE PROVEEDORES DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES VIA SATELITE.	57
	SERVICIOS Y BENEFICIOS	58
	COSTOS DE OPERACION	58
	SATELITE	58
	COMUNICACION VIA SATELITE.	58
	PROCESOS BASICOS REALIZADOS EN UN SATELITE.	59
	APLICACIONES	59
	VENTAJAS SOBRE FIBRA OPTICA CABLES Y MICROONDAS TERRESTRES.	59
	VENTAJAS ESPECIFICAS REFERENTES A VOZ, DATOS, TELECONFERENCIAS Y FACSIMIL	60
1.9	PROTOCOLOS DE ENLACE Y REDES DE COMUNICACIONES.	61
	PROTOCOLOS DE COMUNICACIONES	61
	REDES DE TELECOMUNICACIONES	68
1.10	APLICACIONES DE LAS TELECOMUNICACIONES EN MEXICO Y PROYECTOS DE USO DE LA EMPRESA PARA LA CUAL SE REALIZO EL CALCULO DEL ENLACE.	81

<b>CAPITULO 2 FUNDAMENTOS TEORICOS.</b>	<b>85</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>86</b>
<b>2.1 PROGRAMACION DE LAS SEÑALES Y DE LAS COMUNICACIONES DIGITALES POR SATELITE</b>	<b>87</b>
<b>2.2 ASPECTOS RELACIONADOS CON EL TRATAMIENTO DE LAS SEÑALES DIGITALES</b>	<b>88</b>
<b>TRANSMISION DIGITAL</b>	<b>88</b>
<b>BPSK</b>	<b>90</b>
<b>ACCESO MULTIPLE</b>	<b>91</b>
<b>2.3 EVALUACION DEL FENOMENO DE PROPAGACION</b>	<b>94</b>
<b>EFFECTOS DE RADIOPROPAGACION EN LOS ENLACES VIA SATELITE</b>	<b>99</b>
<b>ATMOSFERA</b>	<b>100</b>
<b>PROPAGACION IONOSFERICA</b>	<b>104</b>
<b>DISPERSION Y ABSORCION POR PARTICULAS Y GASES</b>	<b>105</b>
<b>ATENUACION POR LLUVIA</b>	<b>114</b>
<b>2.4 RUIDO.</b>	<b>116</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>116</b>
<b>TEMPERATURA DE RUIDO</b>	<b>117</b>
<b>DENSIDAD DE RUIDO</b>	<b>118</b>
<b>RELACION PORTADORA A RUIDO</b>	<b>118</b>
<b>FUENTES EXTERNAS DE RUIDO</b>	<b>119</b>
<b>MAI. TIEMPO</b>	<b>122</b>
<b>FIGURA DE MERITO</b>	<b>123</b>
<b>RUIDO DEL EQUIPO</b>	<b>125</b>

2.5	TEMPERATURA DEL RUIDO DEL SISTEMA Y LA RELACION $G/T$	130
2.6	TEORIA DE TRANSMISION	133
2.7	PROPAGACION DE LAS ONDAS EN LAS COMUNICACIONES VIA SATELITE	138
2.8	TIORIA DE ANTENAS	140
	INTRODUCCION	140
	GANANCIA	141
	DIRECTIVIDAD	143
	SISTEMA DE TRANSMISION	144
	SISTEMA DE AMPLIFICACION COMUN	145
	SISTEMA DE MONTAJE DE LA ANTENA	145
	SISTEMA DE AMPLIFICACION INDIVIDUAL	146
	CAPTULO 3 DESARROLLO DEL PROYECTO.	147
	INTRODUCCION.	148
3.1	DATOS DEL SATELITE.	150
3.2	DATOS DE LA SEÑAL A TRANSMITIR.	150
3.3	DATOS DE LAS ESTACIONES TERRENAS TRANSMISORA Y RECEPTORA.	151
3.4	DATOS DEL SATELITE PARA LAS LOCALIDADES DE INTERES.	152
3.5	PERDIDAS GENERADAS POR LA PRESENCIA DE FENOMENOS ATMOSFERICOS.	152
3.6	CALCULOS PRELIMINARES.	153
3.7	CALCULO DE LOS PARAMETROS DEL ENLACE ASCENDENTE.	155
3.8	CALCULO DE LOS PARAMETROS DEL ENLACE DESCENDENTE.	158
3.9	CALCULOS PARA LA EVALUACION DEL ENLACE.	161
3.10	TABLAS DE DATOS	163

<b>CAPITULO 4 EVALUACION DEL PROYECTO.</b>	<b>165</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>166</b>
<b>4.1 MEMORIA TECNICA DEL ENLACE MEXICO - MEXICALI</b>	<b>167</b>
<b>MEMORIA TECNICA</b>	<b>167</b>
<b>SITUACION DE LA EMPRESA AL INICIO DEL DESARROLLO DEL SISTEMA</b>	<b>170</b>
<b>4.2 PRUEBA DE OPERACION REALIZADA AL ENLACE MEXICO - MEXICALI DE LA</b>	
<b>EMPRESA EN CUESTION</b>	<b>173</b>
<b>CAPITULO 5 CONCLUSIONES GENERALES</b>	<b>181</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>187</b>
<b>ANEXO A</b>	<b>188</b>
<b>ANEXO B</b>	<b>196</b>
<b>ANEXO C</b>	<b>200</b>
<b>ANEXO D</b>	<b>202</b>
<b>ANEXO E</b>	<b>205</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>214</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>216</b>

## INTRODUCCION

El presente trabajo es el resultado de una larga serie de investigaciones, las cuales tienen como finalidad principal, presentar al lector, ya sea estudiante, técnico, ingeniero, profesor ó cualquier otra persona interesada en esta área de la ingeniería, los métodos de cálculo de la calidad de enlaces para comunicaciones vía satélite para la transmisión de voz y datos.

Para ello me he apoyado en cursos tomados a lo largo de mi carrera, libros con temas afines, revistas de carácter científico, tecnológico y de negocios, cursos llevados en la Escuela Nacional de Telecomunicaciones ( ENTEL ), que es parte de TELECOMM y en la experiencia adquirida al realizar mi Servicio Social en la Gerencia de Informática y Telecomunicaciones de la Comisión Federal de Electricidad.

Primeramente se tratan los antecedentes de las comunicaciones vía satélite con el fin de introducir al lector en el ambiente de las telecomunicaciones, haciéndole notar como han evolucionado estos sistemas y qué uso se les ha dado a nivel nacional e internacional.

En el capítulo dos se presentan los fundamentos teóricos que nos servirán de base para la comprensión de terminología, fenómenos físicos con los cuales se trata y con el desarrollo de los cálculos del enlace. Posteriormente en el capítulo tres se realizan los cálculos en detalle del enlace México - Mexicali de una empresa perteneciente a la rama de la Industria de la transformación, la cual según sus necesidades de transmisión requiere de cierto tipo de consideraciones para realizar los mencionados cálculos.

En el capítulo cuatro se hace mención de la evaluación del proyecto, esto es, concretar cual fue el uso que se le dio a este tipo de cálculos y valorar la importancia de estos en el diseño e implementación de un sistema de comunicaciones vía satélite.

En el capítulo cinco se presentan una serie de conclusiones respecto al trabajo realizado y una lista de anexos en los cuales se mencionan tópicos relacionados con la adquisición, construcción y administración, que toda empresa con un sistema de red satelital debe contemplar para su operación.

Se anexa un glosario de términos utilizados a lo largo del desarrollo de los cálculos para mejor comprensión de las fórmulas y operaciones realizadas así como una bibliografía de referencia empleada en el desarrollo del trabajo.

CAPITULO 1

ANTECEDENTES

## **CAPITULO I ANTECEDENTES**

### **1.1 INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE COMUNICACION VIA SATELITE.**

La actividad del ser humano se basa en la información y nuestra era se caracteriza por el crecimiento acelerado de los volúmenes de la misma. Para que dicha información tenga utilidad tiene que moverse de alguna manera y utilizarse. De aquí se deriva la creciente importancia de la transmisión de datos.

Los técnicos y medios empleados para llevar a cabo la transmisión de datos varían en función de la distancia, habiendo una frontera cuando esta supera algunas decenas de metros, por esto es necesario recurrir a medios de comunicaciones públicos o privados.

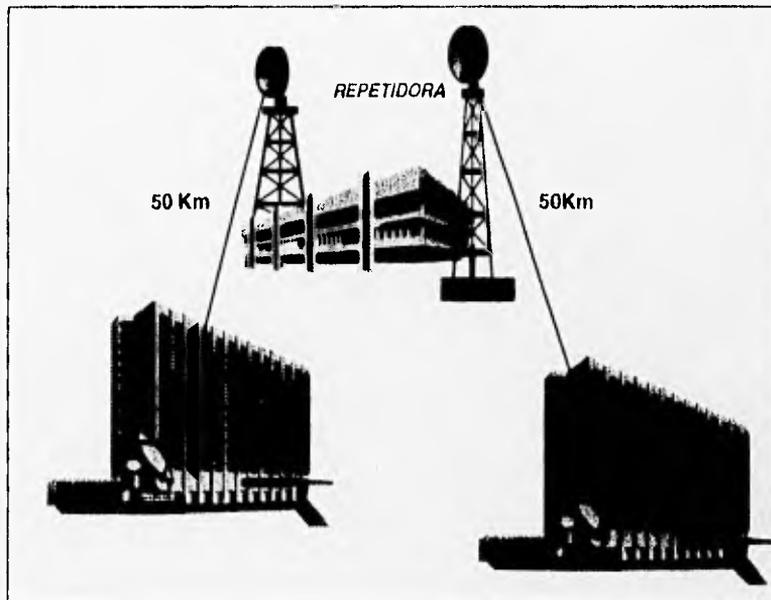
El satélite para telecomunicaciones ha acompañado, por mucho tiempo la comunicación a distancia de la voz y las transmisiones de televisión de un punto a otro del planeta desde hace muchos años, sin embargo, las telecomunicaciones vía satélite han ampliado sus propias tecnologías y han extendido su radio de acción. Los servicios directos en el área comercial son los principales protagonistas de esta evolución y juegan un papel indiscutible en Europa, Asia y América.

De la transmisión de datos a alta y media velocidad a las conferencias de audio y video, de las aplicaciones CAD/CAM a la transmisión de páginas de diarios, al servicio comercial vía satélite responde a las más diversificadas exigencias comunicativas de empresas y de organizaciones. De esta manera se facilita un intercambio de informaciones importantes en tiempo real, que se basa en una cualidad y en una seguridad elevadas. Si las innovaciones y la competitividad son hoy, más que nunca, puntos focales de cualquier crecimiento, los servicios comerciales vía satélite son uno de los instrumentos más eficaces para sostenerlo.

Así pues es claro que las comunicaciones satelitales hoy en día son indispensables para el género humano como una herramienta básica para sus actividades socioeconómicas. Este sistema de comunicaciones actual, es ahora ampliamente utilizado no solo en telecomunicaciones sino también en radiodifusión, observaciones meteorológicas, navegación y recursos de explotación, así como para la investigación del espacio.

Las comunicaciones satelitales ya son populares en las comunicaciones internacionales, más de 100 países están unidos por INELSAT. Ahora también son populares en las comunicaciones domésticas. El éxito de los nuevos vehículos de lanzamiento ( Ariane en 1979 y de los transbordadores espaciales desde 1981 ), aceleraron el desarrollo espacial, el rápido progreso de la tecnología espacial hizo económico el uso de comunicaciones satelitales para uso doméstico, así como internacional.

La única característica de los satélites de comunicaciones es su habilidad para enlazarse simultáneamente a todos los usuarios en la superficie terrestre, con lo cual provee insensibilidad a la distancia para una comunicación punto a multipunto. Esta capacidad se puede aplicar a terminales fijas en la tierra y terminales móviles sobre la superficie de la tierra. También, a los satélites se les puede asignar dinámicamente usuarios, quienes lo necesiten. Estas características hacen a los sistemas de comunicaciones satelitales únicos en el diseño.



SISTEMA DE COMUNICACIONES DE MICROONDAS USANDO REPETIDORAS

## 1.2 HISTORIA DE LOS SATELITES DE COMUNICACIONES.

El escritor británico de Ciencia - Ficción Arthur C. Clarke escribió en "Wireless World" en 1945, que un satélite con órbita ecuatorial circular a una altitud de 35,780 Km puede hacer una revolución, cada 24 horas; esto es, que puede rotar a la misma velocidad angular de la Tierra. Un observador mirando dicho satélite geostacionario podría verlo suspendido en un lugar fijo en el cielo. Clarke mostró que tres satélites geostacionarios alimentados por energía solar podían proveer una comunicación global para todo posible tipo de servicio.

Esto se muestra en la figura 1.2.1. La visión de Clarke llegó a ser una realidad, 20 años más tarde cuando INTELSAT (International Telecommunications Satellite Organization), establecida en 1964, lanzó el satélite INTELSAT I (Early Bird) en abril de 1965.

Como es normal, para un escritor de Ciencia - Ficción, las ideas de Clarke se adelantaron a su época. No fue sino hasta el lanzamiento del SPUTNIK I por la entonces URSS, el 4 de octubre de 1957, que la tecnología de cohetes fue capaz de poner un satélite en órbita baja.

El lanzamiento del SPUTNIK I fue seguido por una competencia espacial y un esfuerzo sostenido por los Estados Unidos para ponerse al día con la URSS. Esto fue reflejado en los lanzamientos SCORE (Signal Communicating by Orbiting Relay Equipment) por la fuerza aérea de los Estados Unidos el 18 de Diciembre de 1958.

El primer satélite de comunicación popular de interés general (porque en una noche clara eran visibles a simple vista), fueron los ECHO 1 Y 2 lanzados por AT&T el 20 de Agosto de 1960 y el 25 de Enero de 1964. Estos eran balones de 100 pies de diámetro en órbita, los cuales servían como reflectores pasivos.

El sistema Bell también desarrolló y lanzó satisfactoriamente el primer transpondedor en banda ancha en tiempo real en el TELSTAR 1 Y 2, el 10 de Julio de 1962 y el 7 de Mayo de 1963. Estos fueron también en órbita baja, y sus periodos eran de 158 y 225 minutos respectivamente.

La serie SYCNCOM proveyó satisfactoriamente los primeros satélites de comunicaciones geoestacionarios. El SYCNCOM 1 falló durante el lanzamiento, pero el SYCNCOM 2 y 3 fueron puestos satisfactoriamente en órbita el 26 de Julio de 1963 y el 19 de Julio de 1964. A través del SYCNCOM 2 se transmitieron por TV los juegos olímpicos de Tokio.

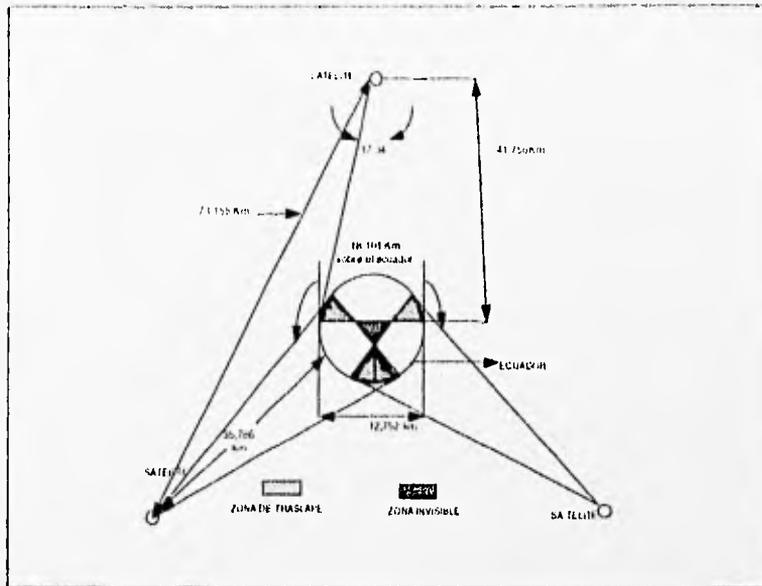


FIGURA 1.2.1. ARREGLO DE 3 SATELITES COLOCADOS EN ORBITA GEOESTACIONARIA PARA CUBRIR EL GLOBO COMPLETO.

El primer satélite comercial geoestacionario fue el INTELSAT 1 ( primeramente llamado el EARLY BIRD ), lanzado el 6 de Abril de 1965. La ruta de operación entre los Estados Unidos y Europa comenzó el 28 de Junio de 1965, esta fecha debe ser reconocida como el noticio de las comunicaciones por satélite comercial. En este mismo año la URSS lanzó el satélite MOLNYA - 1 de órbita elíptica, con una revolución de 12 horas.

Independientemente de la URSS, con el lanzamiento del satélite ANIK 1 en 1972 se inicia el primer sistema de comunicaciones satelitales doméstico en Canadá y con el lanzamiento del WESTAR-1 se inicia la operación de satélites de comunicaciones de los Estados Unidos.

El primer país de Latinoamérica en tener su red doméstica fue Brasil en 1974, a través de un transponder de INTELSAT. El lanzamiento del satélite MARISAT en 1976 por los Estados Unidos, es el primer satélite de comunicaciones marítimo. En 1978 se lanza el satélite OTS, el cual es el primero en usar las bandas de 14/11 GHz.

México entra en las comunicaciones espaciales en 1968 año en que inicia operaciones la estación Terrena Tulancingo I, operando en uno de los satélites del consorcio INTELSAT, del cual nuestro país es miembro.

Debido a la creciente demanda de las telecomunicaciones nacionales, fue conveniente y factible que nuestro país contará con un sistema de satélites propios, por lo tanto, en 1982 se firmaron los contratos para el desarrollo del proyecto del sistema de satélites Morelos (SSM). El satélite Morelos 1 fue lanzado en Junio de 1985 y el Morelos 2 en noviembre de 1985. Ambos satélites fueron puestos en órbita por la NASA. El Morelos 2 fue puesta en órbita geosíncrona (no geoestacionaria) de almacenamiento a que le permitió llegar a su posición operativa en un periodo de tres años.

Con lo que respecta a los satélites solidaridad 1 y 2, se contrataron los servicios de la compañía ARIANSPACE, quien brindo el servicio de lanzamiento y puesta en órbita para ambos satélites.

El lanzamiento de los satélites solidaridad, fueron realizados en Noviembre de 1993 para el primero y en Febrero de 1994 para el segundo.

Resumiendo lo anterior podemos decir que las comunicaciones por satélite no se hubieran dado de no ser por la carrera espacial la cual provoca que en 1957 la Unión Soviética lance el Spulnik 1 en el mes de Octubre y en Noviembre el Spulnik 2 y con esto los Estados Unidos no quieran quedarse atrás con lo cual van surgiendo satélites no solo de comunicaciones, sino de otro tipo como meteorológicos que ayudan en la

observación del clima mundial pudiéndose así prevenir catástrofes, y así podemos continuar con muchos ejemplos de gran importancia para la humanidad.

El que en 1945 el señor Arthur Clarke publique en la revista inglesa "El mundo inalámbrico" su teoría de que colocando un satélite a 35.800 Km de altura, este girara a la misma velocidad que la tierra y por consiguiente parecería fijo con respecto a un punto determinado y por ello se le podría dar el nombre de geoestacionario, dieron pie a las grandes realizaciones con las que contamos hoy en día.

Para completar el contenido de este subtema, se presenta la siguiente tabla:

1609. Johannes Kepler publica sus dos primeras leyes del movimiento planetario. posteriormente en 1619 publica su tercera ley.

1687. Isaac Newton promulga sus leyes de la gravitación y sus leyes de la dinámica.

1903. En Rusia un profesor de escuela llamado Konstantin Eduardovich Tsiolkovsky publica sus estudios teóricos sobre combustibles para cohetes así como los usos de propelentes como lo son el oxígeno y el hidrógeno líquido.

1918. El Dr. R.H. Goddard científico norteamericano hace pruebas con propelentes sólidos para cohetes.

1929. El Dr. Goddard lanza su primer cohete impulsado por combustible sólido el cual logra una altura de 60 metros. En este mismo año el ingeniero Austriaco N.Nordung presenta su teoría sobre satélites en órbita geoestacionaria.

1945. El científico, ingeniero y escritor Británico A.C. Clarke propone el uso práctico del uso de 3 satélites geoestacionarios para cubrir completamente el globo terráqueo.

1946. El proyecto Diana es puesto en operación con el cual a base de mandar pulsos de radar hacia la superficie lunar fue posible determinar exactamente su distancia (384.000 Km).

1954. Aprovechando el proyecto de reflexión Diana, la marina de los Estados Unidos logra entablar comunicaciones intercontinentales entre América y Europa.

1955. J.R. Pierce de los laboratorios Bell presenta sus estudios sobre satélites de órbita baja en su artículo "Orbiting Radio Relays" en la publicación JET PROPULSION Abril de 1955.

1957. Es lanzado el primer satélite artificial puesto en órbita por la U.R.S.S. el cual detecta ondas de radio provenientes del espacio. tenía un período de 96 minutos y estuvo en órbita por 21 días.

1958. Es lanzado el primer satélite norteamericano EXPLORER 1 el cual detecta el llamado cinturón de radiación VAN ALLEN, en ese mismo año es lanzado el Vanguard 1, segunda satélite Norte Americano, el cual es una esfera de 15 cm de diámetro.

1958. Es lanzado el SCORE primer satélite de comunicaciones propiedad de la fuerza aérea de los E.U. , el primero en transmitir una voz humana al espacio

1959. Es lanzado el Discover 1, el primer satélite de órbita polar en el mundo.

1960. Surge el primer satélite auxiliar para la navegación.

1960. Surge el primer satélite meteorológico TIROS el cual cuenta con observación satelital de televisión infrarroja. En este mismo año es lanzado el primer satélite de comunicaciones pasivo el ECHO I, el ECHO II sería lanzado en 1965.

1960. Es lanzado el COURIER I primer satélite activo registraba señales de 2 GHz así como también las reproducía.

1961. Es creado el primer satélite amateur, el OSCAR I.

1962. Es lanzado el TELSTAR I el cual transmite por primera vez programas de televisión através del atlántico, su período era de 145 minutos con una inclinación de 45 grados.

1962. Se pone en marcha el proyecto RELAY, satélites parecidos al TELSTAR pero más potentes este ya transmitía canales de T.V., datos y facsimil. Este tenía un período de 185 minutos.

1963. Se pone en marcha el proyecto WEST FORD el que consistía en un anillo de dipolos para reflejar señales emitidas de la tierra.

1963. Es lanzado el primer satélite de órbita sincrona SYNCOM II, en este mismo año es creada la UIT primera agencia reguladora de telecomunicaciones por satélite.

1964. Es lanzado el SYNCOM III primer satélite colocado en una órbita geoestacionaria con una inclinación de 0 grados. En este año es creado el grupo INTELSAT el cual empezó con 19 países miembros y que para 1992 contara con 121 miembros. Por último es lanzado el LES-1, primer satélite de comunicaciones de órbita circular, trabajando a una altura de 2800 Km.

1965. Lanzamiento del pájaro madrugador por INTELSAT.

Lanzamiento del MOLNIYA-1 por la U.R.S.S. cubriendo las latitudes del norte en órbita elíptica.

1971. Es establecida la organización Soviética INTERSPUTNIK compuesta por 9 signatarios este estaba desligado de INTELSAT. Es lanzado en estas fechas el primer satélite de rayos X que scrutó el conjunto del cielo, este es el UHURU.

1972. Es lanzado el LANDSAT I primer satélite topográfico.

Es puesto en órbita geoestacionaria el primer satélite Canadiense ANIK-1

Es lanzado el primer satélite doméstico de los Soviéticos (HS 333 bus).

Es creada la COMISION FEDERAL DE COMUNICACIONES la cual da protección de tipo policíaca a las compañías que dan servicio de comunicación por satélite.

1974. Es lanzado el primer satélite de comunicaciones doméstico de los E.U. El WESTAR I con funciones parecidas al ANIK-1 de Canadá.

También es lanzado en este año el ATS-6 de la NASA.

1975. Es puesto en marcha el primer sistema de transmisión de televisión por cable usando sistemas satelitales llamado HBO (Home Box Office).

Por esos días es lanzado también el primer satélite geoestacionario de la U.R.S.S. de la serie STATIONAR.

1976. Es lanzado el primer satélite de radiodifusión directa (DBS) por Canadá y las E.U.

Es lanzado también el primer satélite de comunicaciones marítimas MARISAT de los E.U.,

es lanzado también el primer satélite operado con un generador termonuclear de radioisótopos. Por estos días es lanzado el EKRAN satélite ruso de radiodifusión directa.

1976. Se presenta el primer transbordador orbital. En principio este iba a llamarse Constitución, pero su nombre fue cambiado por el de "U.S.S. ENTERPRISE" a petición de los seguidores de la serie de televisión entonces de moda, Star Trek. Esto no fue realmente lanzado al espacio, se concibió como un vehículo espacial de pruebas lanzado no desde tierra, sino en pleno vuelo desde un Boeing Junbo 747 especialmente adaptado.

1978. Lanzamiento del satélite Japonés de radiodifusión directa  
En estas mismas fechas es lanzado el satélite EINSTEIN - satélite dotado con un telescopio de rayos X que ofrecía vistas inéditas.

1979. INTERSPUTNIK empieza a trabajar con satélites geoestacionarios. Por estas fechas se establece el grupo INMARSAT el cual controlara ahora las comunicaciones marítimas inicio con 26 naciones como miembros y actualmente cuenta con 59.

1980. Es lanzado el INTELSAT IV cuya cualidad es usar bandas duales de transmisión y recepción.

1981. Es lanzado al espacio por primera vez un transbordador espacial con la misión de colocar dos satélites de comunicaciones en órbita, este fue el COLUMBIA.

1983. El vuelo inaugural del CHALLENGER en abril de 1983 tuvo menos suerte, al no funcionar correctamente los cohetes de posicionamiento lo cual termino con la colocación de un importante satélite de comunicaciones en una órbita equivocada. En octubre de este año se transportó en la bodega de carga el laboratorio espacial de procedencia europea SPACELAB.

1984. Hasta esta fecha el programa espacial de la NASA había logrado 3 recuperaciones de satélites y 3 reparaciones en órbita.  
Se lanza el cuarto transbordador "DISCOVERY" en agosto de este año.  
En abril de este año George Nelson y James Van Hoffen capturan el satélite de investigación solar SOLARMAX, que no había funcionado correctamente en órbita.

1985. En septiembre de este año es lanzada el quinto transbordador EL ATLANTIS.

1986. Transportando un satélite de gran tamaño y al primer ciudadano normal ( una maestra de escuela), despegó el Challenger la mañana del 28 de enero de este año, a los 73 segundos después del despegue este estalla pereciendo 7 miembros de la tripulación desvaneciéndose el sueño de un sistema de transporte viable comercialmente.

1987. Los soviéticos lanzan un vehículo espacial llamado ENERGIYA lanzado desde el cosmodromo de Baikonur.

1988. La U.R.S.S. pone en órbita el transbordador Unmanned Buran mientras que en E.U se diseña un nuevo transbordador al cual denominan Vehículo orbital OV- 105 al cual a raíz de la explosión del Challenger se le hacen 200 mejoras en su fabricación el cual fue bautizado finalmente con el nombre de ENDEAVOUR.

1989. El Discovery pone en órbita los satélites TRACKING Y DATA RELAY el 13 de marzo, el 4 de mayo el Atlantis lanza desde órbita la zonda Magallanes con destino a Venus y el 22 de Noviembre se lanza el satélite secreto de reconocimiento conocido como Magnum.

1990. Es lanzado el telescopio espacial Hubble en el Discovery de la NASA a 610 Km de altura, también se sitúa en órbita el observatorio de Rayos Gamma el 5 de Abril así como la realización de 3 misiones en el Spacelab.

En este año es lanzado el satélite ROSAT (Roentgen Satellite) en el mes de junio concebido por el Instituto de Física Extraterrestre del Max Planck (MPE). Con el se captaron por primera vez imágenes térmicas del cosmos y se descubrieron nuevos pulsosres, galaxias y estrellas de neutrones que estaban ocultos.

1991. Los japoneses lanzan el satélite YOHKOH (rayo de sol), hacia el sol que ofreció imágenes muy detalladas de erupciones solares.

1992. El 7 de Mayo el ENDEAVOUR repara en el espacio el motor de perigeo y piezas deteriorados del satélite INTELSAT IV.

En el mes de septiembre se lanza la zonda MARS para analizar la superficie y atmosfera de marle.

1994. Astronautas de la NASA reparan en órbita el telescopio hubble que resulto ser miope en su funcionamiento, pero que posteriormente un año después ya funcionando detectara que la cuarta luna de Júpiter (Europa) tiene oxígeno pero que su presión atmosférica es demasiado débil para que albergue vida.

1995. Ensamblaje de la estación espacial permanente FREEDOM (figura E 9) que se pretendía fuese un laboratorio científico internacional continuamente habitado y en punto intermedio en los viajes tripulados a Marte. Avanzados los trabajos de construcción de esta estación se detectan fallas en su estructura por lo que las obras se suspenden, al ver esto varias naciones incluyendo Estados Unidos coinciden en crear una nueva estación espacial verdaderamente internacional en cuya construcción intervienen RUSIA, CANADA, JAPON, EUROPA Y ESTADOS UNIDOS. La estación se llamará ALFA y será construida con el 75% de freedom y con la tecnología desarrollada para la estación imposible rusa MIR 2 (ver figura E 10). Los vuelos de los transbordadores norteamericanos, los cohetes rusos y japoneses así como la agencia francesa ariane se encargaran de poner en órbita todas las partes de esta nueva estación que tendrá el tamaño de dos campos de fútbol, esta estación se pretende terminar de construirla para el año 2002.

1995. El nuevo material para construcción de satélites es una aleación de magnesio, litio y una pequeña parte de aluminio que fue obtenida en la Universidad de Nagaoka en Japón por el profesor Jo Kojima. Esta aleación es más ligera que el agua.

1996. El 12 de enero de este año la compañía ARIANESPACE manda su cohete más potente llevando 4 toneladas de peso de las cuales 3 corresponden al satélite PANAMSAT 3 con cobertura en toda América, Europa y la zona poniente de África. Este es el primer satélite con la capacidad de recibir transmisiones digitales y retransmitirlas a sistemas digitales y analógicos. Acompañado de este viaje el MIRSAT 1 satélite de Malasia el cual da servicio a la región oriental de Asia.

1998. El satélite AXAF (advanced X-ray Astrophysics Facility; en español Dispositivo astrofísico avanzada de rayos X), será lanzado por la NASA. Este es el hermano menor del telescopio espacial Hubble está dotado con sofisticados receptores de rayos X y es el instrumento más eficaz conocida hasta el momento presente para explorar el universo. Será controlado y manejado desde la tierra por los astrónomos igual que si fuera un telescopio convencional (ver figura E 11).

### 1.3 COMO TRABAJA UN SATELITE DE COMUNICACIONES.

Los satélites de comunicaciones, como los Morelos, Intelsat, Anik o Galaxy, se encuentran colocados a 36,000 kms. de altura sobre el nivel del mar, y no son más que repetidores de señales que se transmiten hacia ellos desde estaciones en la tierra.

Son, por decirlo burdamente como grandes espejos en el espacio que rebotan las ondas de radio hacia los puntos sobre la tierra donde se desea que lleguen esas señales.

Por supuesto, los satélites modernos no son simples espejos, como si lo era el ECO 1 y que no era más que una inmensa estera de aluminio.

La cantidad de tráfico y la calidad con que se necesita conducirlo de un punto a otro, o de un punto a varios puntos, han obligado a que los satélites de comunicaciones sean cada vez más complejos.

Para describir a grandes rasgos el funcionamiento de un satélite, imaginemos que se quiere enviar un canal de televisión desde la ciudad donde está el estudio hasta varias ciudades. En primer lugar se necesita una estación terrena situada en la ciudad donde se genera el canal; esta estación terrena es compleja, esta estación envía señales de radiofrecuencia apuntadas hacia el satélite que se encargará de retransmitirlas; estas señales de radio contienen toda la información de las imágenes y el sonido del canal de televisión.

Para que el satélite pueda captar las señales de radio necesita forzosamente una antena parabólica que las amplifica muchas veces y después se las entrega a un amplificador electrónico dentro de él.

El amplificador entrega las señales a su vez a un aparato que cambia las frecuencias de las señales, para que puedan bajar hacia la tierra sin interferir, o sea mezclarse con las otras señales que siguen subiendo, pues debemos recordar que las imágenes y el sonido están cambiando constantemente y lo que se desea tener es un río de información que nace en la tierra, sube y pasa por el satélite, y baja hacia las estaciones receptoras. Este aparato se llama convertidor de frecuencia.

El conversor de frecuencia entrega las señales a otro amplificador, este a su vez se las pasa a la antena transmisora del satélite. Entonces las señales bajan y son captadas por las antenas parabólicas de las estaciones terrenas instaladas en las ciudades receptoras. En realidad, un solo satélite tiene muchos amplificadores y conversores de frecuencia. Por eso es que pueden trabajar simultáneamente con muchos canales distintos de televisión y miles de conversaciones telefónicas. Sin embargo, estos aparatos no forman sino solamente una parte de la estructura total del satélite.

Para que funcionen necesitan energía eléctrica, y por ello es que cada satélite tiene muchísimas celdas solares. Una celda solar es un elemento que convierte la energía del sol que llega a ella en electricidad, y mientras más aparatos electrónicos tenga el satélite, más celdas solares se necesitan. Aunado a esto, cada satélite se debe poder controlar por el hombre, por lo que respecta a su posición en el espacio y la orientación de sus antenas hacia la tierra. Por ello, existen dispositivos de telemetría y de comando para poder saber que está pasando en él y enviar órdenes que lo corrijan cuando se requiera.

Para poder corregir la posición y la orientación de un satélite se usa un sistema de propulsión que consiste de pequeños cohetes colocados en puntos estratégicos de su cuerpo.

El sistema consume combustible cada vez que se activa (esto como ya dijimos indica que se necesitan tanques de almacenamiento de combustible) y cuando ya no hay, es evidente que ya no se le puede controlar. Es en este momento cuando se dice que concluye la vida del satélite, que por lo general es de 9 o 10 años.

Todos estos controles, mediciones a distancia de lo que está pasando dentro del satélite y la transmisión de señales de radio hacia él se hace desde centros espaciales de control.

Al diseñar y construir un satélite de comunicaciones se deben tomar en consideración los siguientes factores: El propósito primario del mismo, o sea el manejo de las señales de radiofrecuencia que recibirá y retransmitirá con los niveles especificados de potencia y dentro de una zona geográfica definida.

El medio ambiente del espacio y sus efectos sobre los materiales del satélite, sus componentes y subsistemas en general y los esfuerzos mecánicos a los que se verá sujeto durante el lanzamiento y su colocación en órbita, debidos fundamentalmente a las fuerzas de aceleración y a las vibraciones

Como el costo de diseñar, construir y colocar en órbita un satélite es muy elevado, todas sus partes deben ajustarse lo mejor posible a los siguientes requerimientos: Masa mínima, consumo mínimo de potencia y una alta confiabilidad, o sea operación eficiente por muchos años.

Los principales subsistemas en los que un satélite puede subdividirse para su estudio son 8

- 1) De determinación y control de orientación.
- 2) De propulsión.
- 3) De telemetría, rastreo y comando.
- 4) De control térmico.
- 5) De su estructura física
- 6) De suministro de energía eléctrica.
- 7) De antenas de radio.
- 8) De repetidores o dispositivos electrónicos que procesan las señales de radio.

El subsistema de determinación y control de orientación es el más importante de todos, puesto que si falla, se pierde el control total del satélite y no se puede aprovechar; esto se debe a que dicho subsistema tiene como objetivos principales mantener a las antenas orientadas en la dirección correcta sobre la superficie de la tierra que se desea comunicar, así como conservar a las celdas solares en posición directa al sol.

Existen varios métodos de controlar o corregir la orientación del satélite, pero todos operan a base de sensores cuya información comparada con cierta referencia origina lo que se conoce como una señal de error y que se utiliza precisamente para efectuar las correcciones debidas. También hay varios tipos de sensores. Unos dan una precisión mejor que otros: los más comunes son los sensores solares y los sensores de horizonte terrestre.

El sensor solar es un dispositivo fotovoltaico en el que fluye una corriente eléctrica cuando es iluminado por el sol; de esta forma, de acuerdo con la intensidad de la corriente eléctrica en el sensor, se puede determinar el ángulo que hay entre el eje del satélite y la línea imaginaria que lo une hacia la dirección del sol; las variaciones que se vayan descubriendo en el ángulo con respecto a un valor de referencia, reflejan los cambios en la orientación del satélite.

El sensor de horizonte terrestre funciona a base de la detección de calor, consiste de un dispositivo sensible a los cambios de temperatura, como balómetro o una termopila. La tierra radia muy fuertemente en comparación con el manto negro del espacio, por lo tanto el sensor permite conocer la orientación del satélite con respecto del horizonte o al contorno del globo terráqueo.

Una vez determinada la orientación del satélite mediante estos sensores, auxiliándose por supuesto, con avanzados programas de computadora empleados en el centro de control espacial, se envían órdenes o comandos desde la tierra para activar los dispositivos de corrección, que reciben el nombre de actuadores. Estos actuadores generan lo que en mecánica se conoce como pares, que en realidad son fuerzas aplicadas como palanca que provocan giros, los que en consecuencia modifican la orientación del satélite.

Los actuadores más comunes son los giroscopios y los propulsores. Estos últimos también se emplean para efectuar las correspondientes correcciones de posición, o sea para mover al satélite de un punto a otro, ya que por varias razones no se mantiene siempre en el mismo lugar por efectos de la tierra y otros cuerpos celestes como la luna y permanentemente hay que regresarlo al punto que le corresponde por acuerdo internacional, además de mantenerlo bien orientado.

El campo gravitacional de la tierra no es uniforme esféricamente alrededor de ella, puesto que la masa de todos los elementos que la forman (agua, rocas, etc.), está distribuida en forma no homogénea y por consiguiente, la fuerza de atracción que se ejerce sobre un cuerpo orbitando el planeta depende de la región geográfica sobre la que esté sobrevolando.

Recordemos, que además que la tierra tiene forma de pera, aunque a simple vista no se aprecie, ya que las variaciones de su geometría con respecto de una esfera perfecta son pequeñas; por ejemplo, si partimos al planeta a la mitad, en la que se conoce como línea del ecuador, no obtendríamos un círculo perfecto en el área plana de cada una de las 2 caras, sino una elipse de poca excentricidad, con una diferencia de 150 metros entre el eje mayor y el eje menor, que en realidad es muy poco si tomamos en cuenta que el diámetro promedio de la tierra es de 12,756 Km. Sin embargo, estas variaciones con respecto de una esfera perfecta y la distribución no homogénea de la materia del globo provocan, conjuntamente con los efectos de atracción de otros cuerpos como la luna y el sol, que los satélites artificiales cambien poco a poco de lugar, y al mismo tiempo, de orientación. De manera que llega un momento en el que si no se realizan maniobras de corrección a control remoto, un satélite determinado pueda quedar en un lugar prohibido en el espacio que rodea al planeta.

Para el caso de un satélite geoestacionario como los Morelos, imaginémos una esfera invisible en cuyo centro está colocado el satélite en su posición idónea. Para que no interfiera con otros sistemas, el satélite no debe salirse de la esfera; cuando este a punto de hacerlo hay que encender el sistema de propulsión para regresarlo hacia el centro. Afortunadamente, el diámetro de esta esfera es de aproximadamente 150 km por la tremenda altura de 36.000 km a la que orbitan los satélites geoestacionarios, así que el pájaro electrónico tiene relativamente suficiente espacio para moverse dentro de su jaula invisible.

El principio bajo el cual operan los propulsores de los satélites se basa en la generación de gases a muy alta temperatura mediante la reacción química de propelentes. Al aumentar la temperatura se obtiene un mayor empuje. Estos gases son expulsados y acelerados dentro de una tobera, y entonces se genera el impulso deseado.

En los primeros sistemas satelitales se usaba nitrógeno y peróxido de hidrógeno, pero eran poco eficientes. Ahora se utiliza hidracina, la cual con la presencia de un catalizador se descompone exotérmicamente en amoníaco y nitrógeno, o bien hidracina monometilica como combustible y tetróxido de nitrógeno y como oxidante, mediante un mecanismo más complicado pero que proporciona mayor empuje aún que la hidracina sola.

Sea cual sea el tipo de combustible que se utilice, este se acaba después de cierto tiempo, como ocurre con un tanque de gas casero y ya con los tanques de almacenamiento vacíos el satélite no se puede controlar de posición a control remoto, por lo que hay que dejar de usarlo para que no interfiera con otros sistemas vecinos. Es entonces, cuando se dice que la vida útil del satélite ha terminado.

Todas las maniobras de encendido y apagado del sistema de propulsión dependen del sistema de telemetría, rastreo y comando. Este se encarga de transmitir a la tierra señales con información de la posición y orientación del satélite, cantidad y presión del combustible en los tanques, etc.

El centro de control espacial procesa esta información de Telemetría con programas de computadora; los mismos programas calculan las correcciones que hay que hacer y entonces se envían las órdenes o comandos al satélite mediante señales de radio para que se encienda el sistema de propulsión durante el tiempo necesario.

El espacio es muy frío, prácticamente actúa como una gran caldera de calor que lo absorbe todo. La radiación que recibe un satélite proviene principalmente del sol más algo de la tierra. Recordemos que en un momento determinado una parte del satélite está expuesta hacia el sol, mientras que el resto de su cuerpo, o su otra cara, está orientada hacia la tierra, oculta al sol. Por lo que una de las caras del satélite es calentada por el sol mientras que la otra se enfría mucho y por consiguiente es preciso diseñarlo para poder mantener en un balance térmico entre la radiación que absorbe del sol y el calor que el mismo genera en su interior, disipado por sus componentes.

Existen varias formas de asegurar que el satélite no se sobrecaliente o se enfríe demasiado. Una de ellas aprovecha las propiedades de absorción y emisión de calor de ciertos materiales y se les da un acabado con una cubierta de pintura de determinado color. Esto es fácil de comprender; tomando en cuenta que el blanco refleja la luz y el negro la absorbe.

En un satélite se usa pintura blanca en ciertas partes para absorber la radiación infrarroja de la tierra y reflejar los rayos del sol. En otras partes se aplica pintura de aluminio o pintura negra. Obviamente no se trata de pintar como sea, sino que hay que saber muy bien en qué zonas pintar de cierto color.

También se utilizan envolventes o cubiertas de material plástico especial, para cubrir internamente a las partes que conforman el satélite, con el fin de aislarlas de los cambios bruscos de temperatura, son materiales superaislantes, que en un interior le dan al satélite la apariencia de un conjunto de equipos embalsamados como momias.

Recordemos que las condiciones ambientales normales de operación del satélite pueden cambiar cuando ocurren los eclipses, pues en esos casos el satélite ya no recibe calor del sol y el balance térmico se viene por tierra, a menos que se tome alguna medida.

Aquí es donde entran en operación los calentadores internos para compensar la pérdida interna de calor garantizando una operación continua.

Cuando ocurren los eclipses entran también en operación otros componentes importantes como lo son las baterías, que proporcionan energía eléctrica. Las celdas solares están hechas de silicio y su eficiencia de conversión aún es muy baja, del orden del 15%, por lo que se están haciendo estudios de investigación con otros materiales mejores como el arseniuro de galio.

#### 1.4 PRINCIPALES COMPONENTES DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES POR SATELITE.

Un sistema de comunicaciones por satélite se compone de dos segmentos: el segmento espacial y el segmento terrestre. Del segmento espacial nos referiremos a lo que concierne a las naves espaciales que en este caso son los satélites de los cuales ya hablamos en los temas anteriores, por lo tanto ahora hablaremos de la sección terrena que consiste en toda la infraestructura de procesamiento, emisión y recepción de señales de video, voz y datos.

Así pues empecemos preguntándonos ¿qué es una estación terrena?

Para que un satélite de comunicaciones pueda ser aprovechado eficientemente, es necesario que en la tierra estén instaladas muchas estaciones terrenas que generen tráfico entre ellas y ocupen diversas porciones de radiofrecuencia en todo el ancho de banda de operación del satélite.

Por tráfico se entiende canales de televisión, conversaciones telefónicas y transmisión de información en forma de datos, por ejemplo entre bancos o medios distribuidores de noticias.

De todas estas señales que forman parte del tráfico, la que más espacio ocupa de la capacidad de un satélite es un canal de televisión; normalmente abarca todo un transpondedor, que es el nombre que se le da a cada repetidor del satélite.

El Morelos 1, por ejemplo tenía una capacidad equivalente a 36 transpondedores estándar, o sea, podía transmitir 36 canales de televisión simultáneamente.

En cambio un canal telefónico ocupa muy poco espacio en comparación al de uno de televisión.

Dependiendo de la forma en que se genere y transmita el tráfico, un transpondedor estándar puede dar cabida a unos 900 canales telefónicos en promedio.

Por otra parte, el espacio que ocupa un canal de datos, o sea la información digital, es variable dependiendo de la rapidez con la que se quieran transmitir, o la velocidad con la que se estén generando; por ejemplo, no es lo mismo transmitir una carta, que la información manejada por una computadora.

Es claro entonces que en la tierra deben transmitirse todas estas señales en forma ordenada, eficaz y al menor costo posible para que lleguen finalmente a su destino.

El enlace más elemental consiste de una estación terrena transmisora, un satélite (por supuesto, una porción de el solamente), y una estación terrena receptora.

En si, las estaciones terrenas transmisoras y receptoras son muy similares, con la diferencia de que realizan funciones opuestas.

La transmisora mezcla las señales que se deben transmitir al satélite, las coloca en un lugar adecuado del espectro radioeléctrico, las amplifica y las entrega a la antena que se encarga de apuntar la energía hacia el satélite.

Ya se sabe que el satélite capta estas señales, las amplifica, las cambia de frecuencia y se las entrega a la antena transmisora del satélite.

La señal baja entonces, de regreso hacia la Tierra, y la estación terrena receptora la captura con su antena que precisamente apunta hacia el satélite, la amplifica, la cambia a una frecuencia adecuada, y separa las señales de la mezcla recuperada, para distribuirlas posteriormente en la localidad.

Hay diversos tipos de estaciones terrenas. Unas son pequeñas, otras medianas y otras muy grandes, por supuesto sus costos varían también.

Es comprensible que mientras más tráfico tenga que manejar una estación terrena, deberá ser más compleja y por consiguiente más cara, por ejemplo las estaciones en las grandes ciudades como México D.F. y Tijuana, desde las que se transmiten cientos de canales telefónicos o varios canales de televisión vía satélite.

Hay estaciones menos complejas, que solamente reciben la televisión, aunque también pueden transmitir y recibir canales telefónicos, por ejemplo las de Guadalajara y Hermosillo.

Hay otras más pequeñas, que también reciben televisión generan tráfico telefónico, pero muy poca, como las instaladas en zonas rurales. Un ejemplo típico es la de Bahía Tortugas, en Baja California Sur, instalada fundamentalmente con fines de beneficio social.

En total, la República Mexicana cuenta actualmente con poco más de 200 estaciones terrenas con estas características, que evidentemente representan una inversión muy alta y un amplio cubrimiento del país.

Este número crecerá aún más, en forma impaciente, en los próximos años, especialmente en el área rural.

Esto es sin tomar en cuenta, por supuesto, los varios miles de estaciones caseras propiedad de particulares instaladas en azoteas o jardines para ver canales de televisión, en donde se dice que Monterrey es la ciudad con más antenas parabólicas particulares en toda Latinoamérica, ya que ahí han proliferado espectacularmente, así como en Cuernavaca se tienen muchas piscinas.

Usualmente el sistema de una estación terrena se puede dividir en los siguientes subsistemas:

**Subsistema de antena**

**Subsistema de ampliación de alta potencia (HPA)**

**Subsistema de amplificador de bajo ruido (LNA)**

**Subsistema de equipo de comunicación terrestre (GCE)**

**Subsistema de multiplex**

**Subsistema de control y monitoreo**

**Subsistema de potencia**

El Sistema Intelsat emplea 3 tipos de estaciones terrenas estándar. Las estaciones STD. A. requieren el uso de antena con 30 y 32 metros de diámetro y se emplean en áreas de tráfico alto. Las estaciones STD.B. emplean antenas de 10 a 14 metros de diámetro y son empleadas en áreas de trabajo ligero. Las estaciones STD.C. son empleadas para las bandas de frecuencia de 14 y 11 GHz.

STD.A:  $G/T \geq 40.7 \text{ dB/K PARA } 4 \text{ GHz}$

STD.B:  $G/T \geq 31.9 \text{ dB/K PARA } 4 \text{ GHz}$

STD.C:  $G/T \geq 39.0 \text{ dB/K PARA } 11.2 \text{ GHz}$

Estos valores son considerados para cielo despejado, y se tiene algún deterioro de la figura de mérito cuando las condiciones climatológicas varían.

## 1.- SUBSISTEMA DE ANTENA

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

Las antenas tipo reflector son las que más se han utilizado en sistema de microondas y satélites. Estas antenas se pueden clasificar por su estructura geométrica en simétricas y asimétricas; alternatively se pueden clasificar de acuerdo al número de reflectores en reflector sencillo y reflector doble (DUAL).

### 1.1 ANTENA CASSEGRAIN

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

El rayo se genera en el punto F2 y es reflejado en el punto P1 del subreflector, de aquí se refleja al punto P2 del reflector, sale en una dirección paralela al eje del reflector y finalmente llega al punto Q en el plano de apertura.

El comportamiento de una antena Cassegrain puede ser evaluado empleando el concepto de parábola equivalente, el cual es definido para una parábola la cual tiene el mismo diámetro y longitud focal equivalente. La longitud focal equivalente viene dado por:

$$f_c = d_1/d_2, \quad f = mf = ((e + 1) / (e - 1)) (f)$$

donde **m** es conocido como factor de magnificencia (el cual puede tomar valores entre 0 e infinito, un valor entre 2 y 6 es empleado. Para el caso de las antenas Cassegrain la relación entre el diámetro y la longitud focal ( $f/D$ ) es mayor que la de una parábola normal.

En estas antenas el equipo de radio puede acomodarse en el espacio disponible al lado de la antena, esto facilitara tener una guía de onda muy grande, permitiendo la flexibilidad en la instalación del equipo

### 1.2 ANTENA CASSEGRAIN MODIFICADA

Este tipo de antena tiene un reflector de corneta como radiador primario, el subreflector es parabólico con el objeto de transformar la onda plana radiada del reflector- corneta en una onda esférica, la abertura del diámetro del reflector corneta es grande en terminos de la longitud de onda y el subreflector es colocado en la región del campo lejano del radiador primario.

### 1.3 ANTENA GREGORIANA

Es un tipo de antena con reflector dual, el reflector principal es parabólico y el subreflector es elíptico. A diferencia de la antena Cassegrain esta antena tiene un foco real ( $f_1$ ) que enfoca todos los rayos emitidos del radiador.

### 1.4 ANTENA CON SISTEMA DE ALIMENTACION POR HAZ GUIADO

Este tipo de antena se ha diseñado para que el equipo de radio sea instalado sobre un plano de tierra eliminando los posibles problemas que se tiene con el movimiento de la antena. Esto es que el espacio entre los reflectores de haz guiado juega el papel de la unión giratoria de la antena.

Existen configuraciones para dos y cuatro reflectores. En el caso de dos reflectores surgen algunos tipos de problemas mecánicos debida a la no simetría causada porque el eje de rotación del ángulo de elevación no coincide con el eje de rotación del ángulo de azimuth, además se tiene una dificultad eléctrica con las características de polarización cruzada las cuales varían con la rotación del ángulo de elevación, ya que la relación geométrica entre los dos reflectores cambian cuando varía el ángulo de elevación.

La dificultad anterior se puede eliminar utilizando una configuración de cuatro reflectores, en esta configuración el eje del ángulo de azimuth se tiene en el espacio formado por el radiador primario y el primer reflector, mientras el eje del ángulo de elevación esta entre el espacio del tercer y cuarto reflector. Puesto que el primero y el cuarto reflector son planos no ocurre ninguna variación en la polarización cuando varía el ángulo de elevación.

La estructura de este sistema hace que el segundo y tercer reflector mantengan una simetría perfecta del haz principal y no se genere una polarización cruzada entre los reflectores que guían el haz. La longitud física de los reflectores esta en terminos de la longitud de onda.

#### 1.5 ALIMENTADOR

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

a) Separación de las señales transmitidas y recibidas, la cual es realizada por un transductor ortomodal o duplexor. El duplexor acepta las señales transmitidas del amplificador de potencia y las dirige al puerto común de la antena y acepta las señales recibidas de este puerto y las transmite al amplificador de bajo ruido. El duplexor es un acoplador de polarización ortogonal, que consiste de una guía de onda circular y una guía de onda rectangular las cuales estan unidas ortogonalmente, estas dos guías de onda se unen a traves de una abertura de acoplamiento. Con el objeto de asegurar que la potencia de salida del amplificador de potencia no cause ningún deterioro a la señal recibida en el amplificador de bajo ruido, un filtro de rechazo corrugado es integrado al puerto de 4GHz en el duplexor, el cual proporcionará aislamiento de 50 dB sobre la banda de transmisión.

b) Proporcionar la polarización adecuada a las señales transmitidas y recibidas, la cual es dada por el polarizador, este dispositivo tiene dos modos de aplicación, uno de ellos consiste en convertir la polarización de una señal de circular a lineal y la otra consiste en variar el ángulo de polarización arbitrariamente de una onda polarizada linealmente.

El cambio del modo de aplicación es realizado simplemente cambiando la alineación de los dos cambiadores de fase sin necesidad de reemplazar el polarizador.

c) Derivación de señales de rastreo para apuntar la antena de la estación hacia el satélite; esto puede ser realizado por un sistema de rastreo de monopulso, donde un acoplador de rastreo es instalado en el alimentador, cuando el satélite se desplaza fuera de la línea de vista de la antena el acoplador produce una señal de error que es usado por la unidad de control de antena para poner a esta en la línea de vista del satélite, otro método de rastreo es el de rastreo por paso, donde una señal variable en amplitud transmitida desde el satélite (BEACON) es empleada para apuntar la antena hacia el satélite.

## 2.- SUBSISTEMA DE AMPLIFICADOR DE ALTA POTENCIA (HPA).

Una estación terrena debe tener la capacidad de transmitir una o varias portadoras simultáneamente. Para el caso varias portadoras un HPA es comúnmente usado para amplificar las múltiples portadoras o bien se puede tener uno o varios HPA independientes que amplifiquen una sola portadora y la señal de salida de estos amplificadores son combinados a través de un combinador de potencia, cuando varias portadoras son amplificadas simultáneamente se utiliza un tubo de onda progresiva (TWT), donde productos de intermodulación son generados a la salida de HPA debido a la no linealidad del TWT. Para sistemas individuales de amplificación el KLYSTRON de cavidad es comúnmente utilizado.

Existen también amplificadores de estado sólido, realizados por diferentes tipos de transistores.

## 3.- SUBSISTEMA DE AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO (LNA).

Existen diferentes tipos de LNA que se emplean en las estaciones terrenas, los que actualmente se utilizan son los paramétricos y FET. Los amplificadores paramétricos son realizados por medio de un diodo varactor (o un circuito con capacitor), el cual es superior a otros amplificadores por tener una temperatura de ruido baja y por la flexibilidad de trabajar dentro de un rango de frecuencias amplio.

El amplificador FET utiliza un transductor de efecto de campo, los cuales han reemplazado en la actualidad a otros tipos de LNA'S

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

Los amplificadores paramétricos son empleados para los satélites INTELSAT, pueden ser o no enfriados y la temperatura de ruido oscila entre 30 y 60 grados K, para banda C y entre 80 y 100 grados K para la banda Ku, los entriados pueden ser por gas helio o termoeléctricamente

Las principales características de estos amplificadores son:

- a) TEMPERATURA DE RUIDO BAJA
- b) ALTA CONFIABILIDAD
- c) ALTA CONFIABILIDAD DEL VARACTOR
- d) FACIL INSTALACION
- e) MEDIDA PEQUEÑA Y PESO GRANDE
- f) FACIL TRANSPORTACION

Para el caso de los LNA tipo de FET pueden ser de varios tipos:

- a) MOS FET
- b) JUNTURA FET
- c) SCHOTKY BARRIER FET

Actualmente se ha desarrollado el amplificador Ga As Schottky y Barrier FET el cual tiene casi las mismas características eléctricas que el amplificador paramétrico, este tipo de amplificador muestra características superiores a las de los amplificadores con transistores bipolares, con respecto a las características de RF, como son bajo ruido, alta ganancia y rango de frecuencia amplio.

Los rangos de temperatura de ruido para los LNA S tipo FET es de 80 y 100° K para sistemas enfriados y no enfriados termoelectricamente en banda C. Para banda Ku el rango varia de 125 hasta 240° K. Estos amplificadores son empleados para sistemas de satélites domésticos.

#### 4.- SUBSISTEMA DE EQUIPO DE COMUNICACION TERRESTRE (GCE).

Es todo el equipo empleado entre el LNA y el equipo multiplex o entre el HPA y el multiplex. El equipo de comunicación terrestre incluye el convertidor de subida, y de bajada, el modulador y demodulador, los filtros de FI, recientemente el equipo de monitoreo y control es separado del equipo de comunicación terrestre.

El subsistema de GCE incluye el transmisor de T.V. en FM, el equipo FDM - FM para telefonía y el equipo SCPC FM o SCPC PSK que es empleado para transmisión de señales de voz, datos, telegrafía o difusión de señales de radio.

Para el equipo FDM/FM/FDMA el número de canales telefónicos que se pueden transmitir depende del ancho de banda de la portadora de RF, por lo tanto en este sistema es importante el tipo de transponder de algún tipo de satélite para saber cuantas portadoras se pueden acceder, para el sistema INTELSAT el número de canales FDM que empleadas sobre portadoras de FM para cierto ancho de banda asignado, se muestra a continuación:

ANCHO DE BANDA DE RF	CAPACIDAD DE CANALES
1.25 MHZ	12 IF
2.50 MHZ	24 - 72 IF
5.0 MHZ	60 - 192 IF
7.5 MHZ	96 - 252 IF
10.0 MHZ	132 - 312 IF
15.0 MHZ	252 - 432 IF
20.0 MHZ	432 - 792 IF
25.0 MHZ	432 - 972 IF
36.0 MHZ	972 - 1092 IF
ANCHO DE BANDA DE RF	CAPACIDAD DE CANALES
17.5 MHZ	1 T.V.
30.0 MHZ	2 T.V.

El servicio de televisión que fue proporcionado inicialmente por EL SISTEMA INTELSAT fue a través de portadoras de FM donde la señal de sonido estaba separada de la portadora de FM, actualmente la señal de audio esta contenida en una subportadora que esta dentro de la banda base de video, dicha subportadora también es modulada en FM.

Generalmente en un transponder de 36 MHz una o dos señales de televisión son acomodadas, en el caso de que se tenga un solo canal (transponder completo) el ancho de banda distribuido en el satélite es de 30 MHz. Si se transmiten dos canales en un solo transponder (medio transponder) el ancho de banda distribuido es de 17.5 MHz.

Es importante considerar que no todos los parámetros de transmisión son aplicables a todos los puntos internacionales, ya que en el mundo existen diferentes sistemas de video en uso. Para sistemas de difusión de televisión terrestre los sistemas H, K y L operan en la banda de UHF y los otros sistemas operan en la banda VHF o en ambas bandas VHF y UHF.

Para los sistemas de televisión a color existen 3 estándares empleados en el mundo; el NTSC (desarrollado en USA) es empleado por el sistema M, el estándar PAL (desarrollado en Alemania) empleado por los sistemas B, G, H o I y el sistema estándar SECAM (desarrollado en Francia) empleado por los sistemas B, D, G, H, K, K1 y L.

El equipo SCPC CFM que emplea la técnica de modulación en FM comprimida mejora la S/N y reduce el ancho de banda, esto significa que se tiene un número mayor de canales que se puedan transmitir comparada con el equipo SCPC con modulación digital. En otras palabras el equipo SCPC FM hace posible establecer un servicio de comunicación de alta calidad con estaciones terrenas pequeñas. El desarrollo del equipo SCPC FM fue basado del sistema SPADE (SCPC PCM multiple ACCESS DEMANDA ASSIGNMENT EQUIPMENT). El equipo SCPC FM tiene varias ventajas: simplicidad en la configuración de los circuitos, confiabilidad y operación estable y facilidad de operación y mantenimiento.

Características operacionales del equipo SCPC FM.

- a) EXCELENTE CALIDAD EN LA TRANSMISION DE VOZ, DATOS Y TELEGRAFIA.
- b) AHORRO DE LA POTENCIA DEL SATELITE A TRAVES DE LA OPERACION DE PORTADORA ACTIVADA POR VOZ.
- c) ACCESIBILIDAD MAXIMA DE 1600 PORTADORAS DENTRO DE UN TRANSPONDER DE 36 MHz  
CON UNA SEPARACION MINIMA ENTRE PORTADORAS DE 22.5 KHz

- d) FLEXIBILIDAD EN EL CAMBIO DE LOS PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN PARA VARIAS APLICACIONES DEL SISTEMA.
- e) POSIBILIDAD DE OPERAR CON EL SISTEMA DAMA (Demand Assigned Multiple Access) CON UN EQUIPO DE CONTROL (DAMA) POR SEPARADO

Actualmente en la construcción del equipo SCPC se utilizan los dispositivos IC/LSI los cuales contribuyen mucho a la reducción en el consumo de la potencia y al tamaño del equipo.

En general el equipo SCPC FM se puede dividir en las siguientes dos partes fundamentales: el equipo común y el equipo de canal.

El equipo común tiene los convertidores de subida y de bajada, las funciones de AFC//AGC, la transmisión de la señal piloto de 70 MHz (si es requerida), el oscilador común, el divisor y el combinador. El equipo de canal incluyen el número de moduladores/demoduladores de FM, cada modem de FM es empleado para transmitir y recibir un canal de voz y está compuesto por un solo modulo. El modem de FM incluye el procesador de voz de BB, el modulador/demodulador de FM, el sistematizador de frecuencia, el supresor de ECO, el comparador y el circuito lógico.

En el equipo SCPC PSK para voz modo preasignado las portadoras de los canales son asignados por la estación y son mantenidas (aún cuando la activación de la voz sea empleada), estos simplifican el equipo porque no hay necesidad de tener un asignador de frecuencia automático, además para el aumento de tráfico se pueden agregar unidades de canal al equipo SCPC.

Para el caso de datos el sistema INTELSAT emplea velocidad de transmisión de 40, 50 y 56 Kbps, en el transmisor y después son modulados en QPSK que tiene el mismo diseño empleado en los sistemas PCM para voz.

En el caso de sistema doméstico se puede manejar datos a baja velocidad como son 4.600 y 9.600 bps en los equipos SCPC FM y SCPC AD PCM/PSK (los cuales son empleados en el SMS).

El equipo SCPC PSK por asignación de demanda fue empleado por INTELSAT desde principios de los 70's en el sistema SPADE. El SPADJ es empleado solo en estaciones estándar de tipo A, para la región del Océano Atlántico (AOR). Dentro del sistema SPADE un conjunto de señales de RF espaciadas a 45 KHz son distribuidas por todas las estaciones equipadas con este sistema, cada portadora es empleada para un solo canal telefónico y la asignación a una estación particular es solo durante la duración de la llamada, tan pronto como la llamada finalice. La señal de RF se encuentra disponible para otra estación, esta asignación de frecuencias es referida a la operación DAMA y viene dada por una computadora que se encuentra en el sistema, debido a que la señal de RF se encuentra distribuida durante un tiempo la eficiencia en la utilización de las señales de RF es muy alta, lo cual implica una complejidad grande en el equipo y consecuentemente un costo mayor.

#### 5.- EQUIPO MULTIPLEX.

El equipo multiplex de las estaciones terrenas tiene algunas diferencias principales comparadas con el equipo multiplex usado en los enlaces de microondas terrestres, una de ellas es que debido a los diferentes destinos de la portadora transmitida de una estación en particular es necesario que otras estaciones reciban dicha portadora y extraen de esta solo los canales requeridos para el tráfico telefónico, para una estación que opera con diferentes estaciones es necesario extraer los grupos de canales de cada señal de banda base recibida y reunirlos de una manera conveniente para transmitirlo al centro internacional de telecomunicaciones por medio de un enlace terrestre. La segunda diferencia es la banda base empleada en satélites que empieza en 12 KHz (mientras que en el equipo multiplex terrestre empieza en 60 KHz): así el grupo "A" formado por 12 canales está en la banda de 12 - 60 KHz, abajo de los 12 KHz se tiene 2 canales de servicio de ingeniería (ESC), denominados P1 (4-8 KHz) y P2 (8-12 KHz) que para voz ocupa la banda de 300 a 2600 Hz y pueden llevar 5 canales telegráficos en FM separados por 120 Hz arriba de los 2700 Hz.

La banda de 0 a 4 KHz está reservada para el uso de la señal de energía dispersa (20 - 160 Hz) la cual permite trasladar las características de filtrado del sistema receptor de la estación debida a la diferencia de configuración de las señales de BB entre los enlaces terrestres y satelital, un equipo adicional de translación debe ser incluido en la estación terrenal. Señales de control y canales son insertados entre varios puntos de la trayectoria de transmisión para el mantenimiento propio del enlace.

Señales piloto adicionales (pilotos de grupo o supergrupo) son transmitidos entre los equipos multiplex del centro Internacional de telecomunicaciones para chequear en diferentes puntos de la trayectoria de transmisión los niveles adecuados y sus frecuencias. Los sistemas de canal de ingeniería contienen las facilidades de conversación y señalización que proporcionan la comunicación entre el Centro Internacional de Telecomunicaciones (ITC) y otras estaciones. La cual puede ser dada por un enlace de voz o de telegrafía.

#### **6.- SUBSISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL.**

Extensivo equipo de monitoreo y control es empleado en la mayoría de las instalaciones de una estación terrena, este equipo realiza las funciones de monitoreo y control ya sea remoto o local o bien ambos, además supervisa casi todas las partes del equipo de la estación por ejemplo ; En cualquier equipo ocurre un estado de alarma, este subsistema hará una indicación por medio de un zumbador y prendera una lampara que indicara la localización del problema. Interruptores de emergencia que bloquean el paso de la corriente son proporcionados para detener la operación del HPA o del equipo de manejo de la antena cuando existe un corte de energía eléctrica. esto es con el objeto de proteger el equipo de la estación.

#### **7.- SUBSISTEMA DE POTENCIA.**

Los sistemas de circuitos de comunicaciones deben operar continuamente, aún cuando el sistema de energía comercial falle. Por lo tanto en una estación terrena se debe tener una planta de generación de potencia de reserva, la cual sea capaz de dar la alimentación suficiente al equipo de la estación ordinariamente se requiere de un sistema de potencia ininterrumpible en AC o DC así como de una planta motogeneradora, algunas veces esta debe operar en estado fijo por lo que un sistema ininterrumpible de potencia opera en lugar de la planta. También para los subsistemas de potencia se tiene un equipo de monitoreo y control.

## **1.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES VIA SATELITE.**

En menos de 25 años las comunicaciones via satélite han llegado a ser primordiales en referencia a comunicaciones de larga distancia. Para comprender mejor todo lo que implican las comunicaciones via satélite, ejemplificaremos los usos más comunes de enlaces satelitales tanto en sistemas analógicos como en sistemas digitales

### **SISTEMAS ANALOGICOS.**

En la actualidad los sistemas analógicos son la telefonía y la televisión comercial.

En la figura 1.5.1 se observa el proceso de multiplexaje de un sistema telefónico tradicional, en el cual se tiene que doce canales telefónicos se integran en frecuencia para formar un grupo básico, en un rango de frecuencias de 60 a 108 KHz (4 KHz por canal), posteriormente cinco grupos básicos forman un supergrupo, en un rango de frecuencias de 312 a 552 KHz. Si se requiere de más canales telefónicos se pueden ir formando super grupos con una banda de guardia entre ellos de 12 KHz.

Los canales de televisión comercial en las comunicaciones via satélite manejan frecuencias de una amplitud de banda de 36 MHz, estando incluidas el video y el audio. En la figura 1.5.2 se muestra el formato de un canal de televisión.

### **SISTEMAS DIGITALES.**

Los usos más comunes de los sistemas digitales son para transmitir datos, voz digitalizada, facsimil, videoconferencias, etc. En la figura 1.5.3. se ilustra la configuración típica de un enlace digital de comunicaciones via satélite.

En las redes instaladas, casi siempre se usan multiplexares para un mejor uso del ancho de banda, ya que cuentan con diferentes interfaces de datos, tales como RS232, RS449 y V.35, entre las más comunes. También cuentan con varios tipos de conexión de la voz, como son la Interface E & M, extensiones, troncales y/o PBX digitales.

Existen varias formas de tener redes satelitales, siendo la más común la red estrella, la cual consiste de una antena maestra y varias antenas remotas.

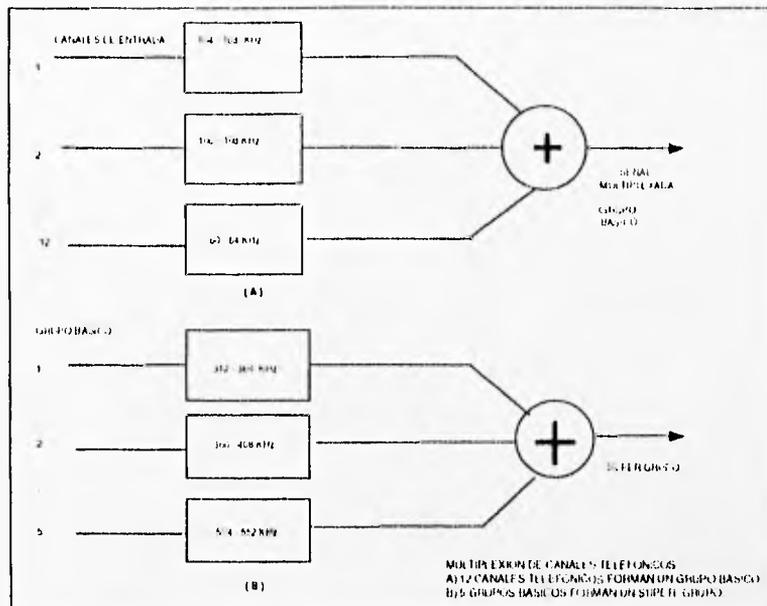


FIGURA 1.5.1. MULTIPLEXION DE CANALES TELEFONICOS.

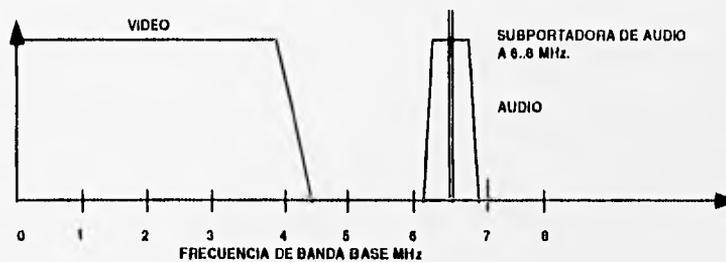


FIGURA 1.5.2. COMPOSICION DE LA SEÑAL DE T.V. (VIDEO Y AUDIO).

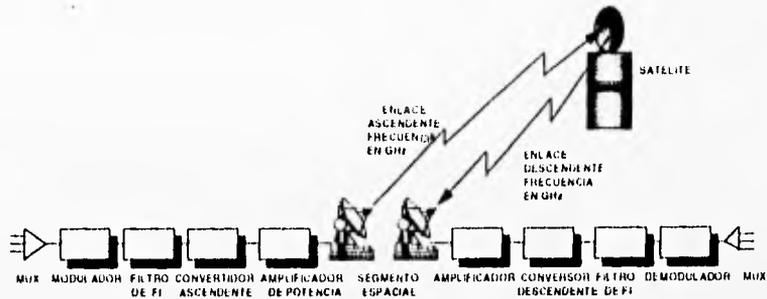


FIGURA 1.5.3 CONFIGURACION TIPICA DE UN ENLACE TIPICO DIGITAL.

#### 1.6 SERVICIO FIJO POR SATELITE CATEGORIAS Y CLASIFICACION.

Hablar del servicio fijo por satélite es hablar de todos los servicios que se pueden prestar con la infraestructura terrena y espacial de un sistema de comunicación vía satélite, así como todas las reglas (por así decirlo) que se tienen que seguir para hacer uso de él. Incurrir en este tema nos tomaría mucho tiempo, pues la amplia gama de aspectos que se toman en cuenta son tema de un trabajo muy completo en lo que se refiere a investigaciones que todas las instituciones reguladoras de servicios de comunicaciones a nivel mundial ya sea para telefonía, telegrafía, etc. realizan con cierta periodicidad a medida que los recursos tecnológicos van modernizándose.

El servicio fijo por satélite es un tema del cual todo Ingeniero en comunicaciones debe tener conocimiento ya que contempla todas las actividades que se realizan con estos equipos, también se mencionan todas las decisiones que los comités consultivos de comunicaciones a nivel mundial han generado para poder hacer un uso eficiente y coordinado de toda esta tecnología. El hablar de especificaciones de equipos, usos de frecuencias, uso adecuado de los satélites, aspectos espaciales como lo son puestas en órbita, cálculos de movimientos del satélite, selección de proveedores de equipo y todo lo que implica un sistema vía satélite es lo que se contempla en los escritos del sistema fijo por satélite.

Si bien no hemos de tratar todos estos temas a fondo en este apartado, lo que se hará, será dar el panorama completa de lo que contempla el estudio del servicio fijo por satélite.

Todo lo que se vera a continuacion en forma general es el contenido del llamado LIBRO ROJO de la UIT que es la Unión Internacional de Comunicaciones y la CCIR que es el Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones. Esta información se localiza en el volumen IV parte 1 que se encuentra en la biblioteca de la torre de telecomunicaciones localizada en el eje central Lazaro Cardenas en el Distrito Federal.

El llamado LIBRO ROJO consta de 14 volúmenes los cuales constituyen todas las regulaciones para el uso de cualquier sistema de comunicaciones alámbrico e inalámbrico.

Este temario se divide en 7 apartados los cuales estan constituidos por Secciones, Informes, Referencias, Programas de estudios, Cuestiones, Ruegos y decisiones. Estos a su vez forman parte de tres temas principales que son la Utilización de la Orbita y el Espectro, los aspectos relativos a la Calidad y Disponibilidad de los Sistemas y los aspectos relativos al Mantenimiento de las Estaciones Terrenas. En forma general se dividen los estudios en la siguiente forma :

#### **SECCIONES**

Sección 4 A  
Definiciones.

Sección 4 B  
Frecuencias, órbitas y sistemas.

Sección 4 C  
Características de la banda de base.

Sección 4 D  
Características y mantenimiento de las estaciones terrenas

Sección 4 E  
Compartición de frecuencias entre las redes del servicio fijo por satélite y utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios.

Sección 4 F  
Compartición de frecuencias entre las redes del servicio fijo por satélite y otros sistemas de radiocomunicaciones espaciales.

Cuestiones.

Cuestión 1-2/4

ANTENAS PARA SISTEMAS DEL SERVICIO FIJO POR SATELITE

Cuestión 27/4

CARACTERISTICAS TECNICAS DE LOS SISTEMAS DEL SERVICIO FIJO POR SATELITE.

Cuestión 29/4

INTEGRACION DE LOS SISTEMAS DE SATELITES EN LAS REDES DE TRANSMISION DIGITAL.

Cuestión 30/4

PROVISION DE ENLACES DE CONEXION ENTRE ESTACIONES TERRENAS FIJAS Y ESTACIONES ESPACIALES DE DIVERSOS SERVICIOS EN BANDAS DE FRECUENCIAS ATRIBUIDAS AL SERVICIO FIJO POR SATELITE

Cuestión 31/4

CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS DEL SERVICIOS ENTRE SATELITES UTILIZADOS POR EL SERVICIO FIJO POR SATELITE Y PROBLEMAS DE COMPARTICION CON OTROS SERVICIOS.

Cuestión 32/4

COMPARTICION DE FRECUENCIAS ENTRE SISTEMAS DEL SERVICIO FIJO POR SATELITE Y DE LOS SERVICIOS TERRENALES.

Cuestión 33/4

COMPARTICION DE FRECUENCIAS ENTRE EL SERVICIO FIJO POR SATELITE Y OTROS SERVICIOS ESPACIALES.

Cuestión 7-2/4

Variaciones de la transmisión en la banda de base, tiempo de propagación, ecos y discontinuidades debidas a conmutaciones en los sistemas del servicio fijo por satélite

Cuestión 13-1/4

Factores que contribuyen a la temperatura de ruido de una antena receptora de estación terrena.

Cuestión 20-1/4

Explotación y mantenimiento de las estaciones terrenas

Cuestión 22-1/4

Utilización de sistemas del servicio fijo por satélite en los casos de desastres naturales, epidemias, condiciones de hambre y otras situaciones críticas análogas para avisos y operaciones de socorro.

Cuestión 23-1/4

Estaciones terrenas de pequeña capacidad y sistemas de satélites asociados.

Cuestión 24-2/4

Disponibilidad de los circuitos o de los trayectos digitales e interrupciones breves de la transmisión en el servicio fijo por satélite.

Programa de estudios 24A-2/4

Interrupciones del tráfico en los circuitos o en los trayectos digitales del servicio fijo por satélite.

Cuestión 25-1/4

Emisiones no deseadas radiadas y recibidas por las estaciones terrenas y espaciales del servicio fijo por satélite.

Cuestión 34/4

INTERFERENCIA FISICA EN LA ORBITA DE LOS SATELITES GEOESTACIONARIOS

### **Decisiones:**

Compartición de frecuencias entre satélites de radiocomunicación. Consideraciones técnicas que influyen en la utilización eficaz de la órbita de los satélites geostacionarios.

Reorganización de algunas cuestiones y de los correspondientes programas de estudios y posible reducción de algunos textos.

Puesta al día del manual sobre telecomunicaciones por satélite. (Servicio fijo por satélite).

Establecimiento de sistemas digitales de satélites.

Cabe mencionar que todas estas normas se van modificando rápidamente por lo que para mayor información y actualización se recomienda revisar los libros por lo menos cada año. Hasta la fecha han salido los llamados libros azules y blancos, posteriores a los rojos. Los libros blancos son la revisión de estas normas hasta el año de 1995.

## **1.7 CARACTERISTICAS DE LOS SATELITES MORELOS Y SOLIDARIDAD.**

### **SATELITES MORELOS.**

El sistema de satélites Morelos consta de 2 segmentos fundamentales, el segmento espacial y el terrestre.

Los satélites de comunicaciones son iguales, de la empresa Hughes Aircraft Company; de la serie HS-376, y para su lanzamiento se contrataron los servicios del sistema de transporte espacial de la NASA de los Estados Unidos. El Morelos 1 está localizado a 113.5 grados y el Morelos 2 a 116.5 grados.

Cada uno de los satélites está constituido por varios subsistemas tales como el de comunicaciones, telemetría, rastreo y comando, control de orientación, propulsión, de energía eléctrica y el térmico. Desde el punto de vista de telecomunicaciones, el más importante es el de comunicaciones.

El subsistema de comunicaciones de microondas consiste en una sección de antenas y 22 canales repetidores (transpondedores) que consta de 18 en banda C, de 4/6 GHz; y 4 en la banda KU, de 11/14 GHz. La parte correspondiente a la banda C utiliza el concepto de reuso de frecuencias, lo que permite una capacidad de 12 canales de banda angosta (36 MHz) y seis de banda ancha (72 MHz).

El plan de frecuencias se ilustra en la figura 1.7.1. Referente a la banda KU, no se hace el reuso de frecuencias y se cuenta con cuatro canales de 108 MHz de ancho de banda cada uno. El plan de frecuencias se ilustra en la figura 1.7.2

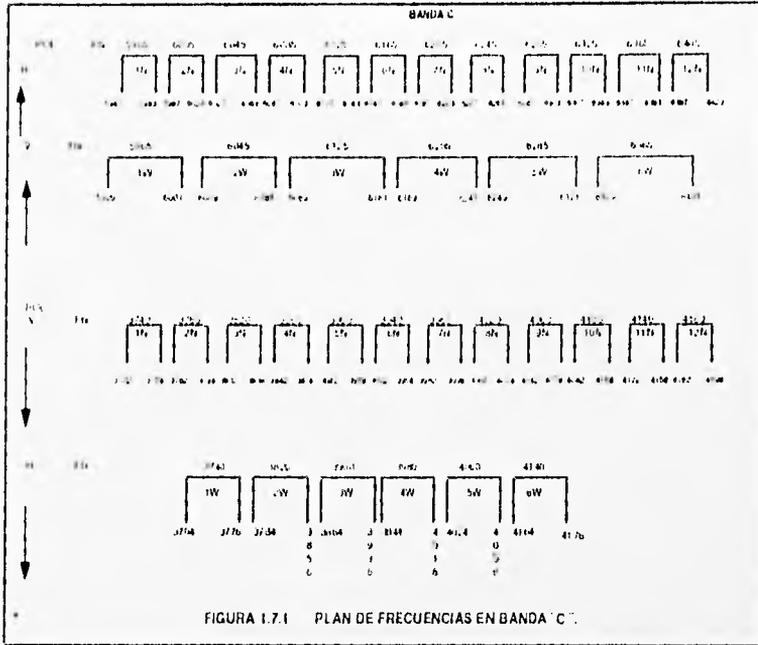
En la tabla 1.7.1 se muestran las principales características de los subsistemas de comunicaciones y en la tabla 1.7.2 los parámetros básicos.

Estos satélites son los primeros satélites híbridos de la compañía Hughes, esto es, que opera tanto en banda C (6 GHz de subida y 4 GHz de bajada), como en banda KU (14 GHz de subida y 12 GHz de bajada). Para transmisión y recepción en banda C así como la transmisión de banda K se utiliza un reflector parabólico constituido por dos platos sobrepuestos, cada uno de los cuales posee polarización contraria. Esto permite la doble utilización del espectro de frecuencias. Un nuevo tipo de antena, el arreglo planar, es utilizado para la recepción de banda KU. Ambas antenas, es decir, el reflector y el arreglo planar están diseñados para que sus patrones de radiación así como el de recepción cubran todo el territorio Mexicano con el nivel de potencia adecuado.

El satélite consta de 2 secciones: Una giratoria y otra no giratoria. La sección giratoria (spin) incluye todos los elementos de soporte del repetidor mientras que la sección no giratoria (Despun) es el repetidor en sí, es decir, en ella se encuentran todos los elementos necesarios para las comunicaciones.

Son 6 los subsistemas del satélite, estos son: El sistema de comunicaciones, El sistema de potencia, El sistema de propulsión, El sistema de orientación, El sistema térmico y El sistema de comandos y telemetría.

Hablando del sistema de comunicaciones podemos decir que es el sistema más importante del satélite ya que es la esencia del mismo. Se encarga de recibir, amplificar y transmitir canales de comunicaciones. Consta de receptores, filtros armónicos, múltiples de entrada-salida a base de filtros, atenuadores de paso, aisladores, interruptores de diversos tipos para conmutar las trayectorias de los canales, tubos de amplificación (TWTA) tanto primarios como redundantes.



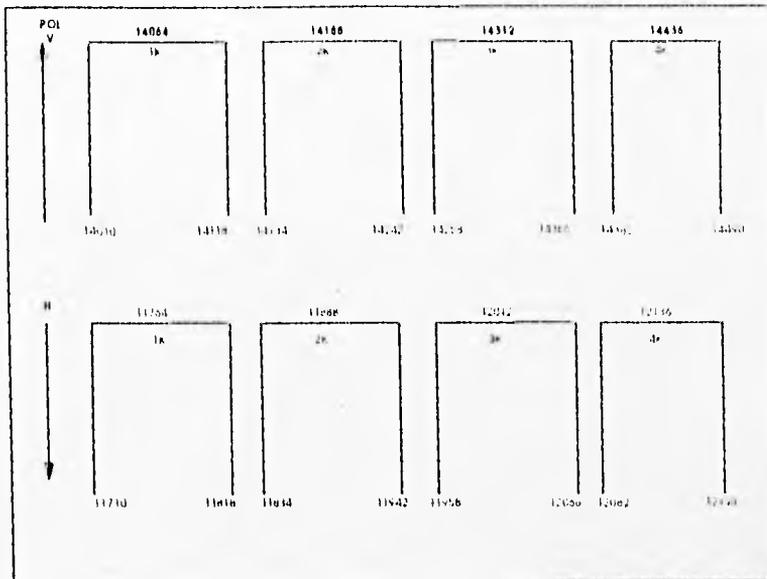


FIGURA 1.7.2 PLAN DE FRECUENCIAS PARA LA BANDA KU

DESCRIPCION	CARACTERISTICAS	
	BANDA C	BANDA KU
NUMERO DE CANALES	12 DE BANDA ANGOSTA 6 DE BANDA ANCHA	4
ANCHO DE BANDA DE LOS CANALES EN (MHz)	36 DE BANDA ANGOSTA 72 DE BANDA ANCHA	108
POTENCIA DE SALIDA DE LOS TWT	7 DE BANDA ANGOSTA 10.5 DE BANDA ANCHA	19.4
BANDAS DE FRECUENCIAS EN (GHz)	Tx 5.925 A 6.425 Rx 3.7 A 4.2	14.0 A 14.5 11.7 A 12.2

TABLA 1.7.1

PARAMETRO	BANDA C		BANDA KU
	banda angosta	banda amplia	
CANTIDAD DE ESTACIONES DE AERONAVECPT. (BA) (BB)	313	294	315
TEMPERATURA DE RUIDO DE AERONAVECPT. (BA) (BB) (K)	240	290	290
CANTIDAD DE ESTACIONES DE LA FAMILIA (BA) (BB) (K)	37	05	1
PERDIDA DE LOS TWT (BA) (BB)	87	104	129
CANTIDAD DE ESTACIONES DE LA FAMILIA (BA) (BB) (K)	292	277	322
PERDIDA (BA) (BB)	360	390	443

TABLA 172

#### SATELITES SOLIDARIDAD

El sistema de satélites solidaridad, consta de dos naves espaciales del tipo de estabilización de 3 ejes, del Modelo 601 de la compañía Hughes Aircraft Company, y en su subsistema de comunicaciones cuenta con las bandas L.C y KU con coberturas nacionales e internacionales.

Con lo que respecta a la banda C, están compuestos por el mismo número de transpondedores que los satélites Morelos, es decir, 12 de 36 MHz y 6 de 72 MHz, además 8 de los 12 transpondedores angostos pueden tener cubrimiento regional.

La banda KU esta completamente rediseñada, teniendo 16 transpondedores de 54 MHz, con reusa de frecuencias (dos polarizaciones).

La banda L es la última de las bandas en la que operan los satélites Solidaridad, la cual es usada para comunicaciones móviles por satélite.

Para su lanzamiento se contrataron los servicios de la compañía ARIANESPACE para los dos satélites. En la tabla 1.7.3 se dan las características generales de los satélites Morelos y Solidaridad. En la figura 1.7.3 se da el plan de frecuencias de los satélites Solidaridad 1 y 2. La ubicación del Solidaridad 1 es de 109.2 grados oeste y el Solidaridad 2 estará en el espacio que ocupa el Morelos 1 a 113.5 grados Oeste.

Un sistema de comunicaciones emplea el espectro de frecuencias electromagnéticas, la cual se muestra en la tabla 1.7.4, las frecuencias usadas para las comunicaciones satelitales, están asignadas en las bandas de super alta frecuencia (SHF) y extremadamente alta frecuencia (EHF), las cuales están divididas en subbandas, sumariados en la tabla 1.7.5.

El manejo del espectro es una actividad importante que facilita el uso del espectro de frecuencias electromagnéticas no solo para comunicaciones satelitales, sino también para otras aplicaciones de telecomunicaciones. Esto es hecho bajo los auspicios de la Unión de Telecomunicaciones Internacional (ITU), la cual es una agencia especializada de la ONU.

	MORELOS	SOLIDARIDAD
MODELO	HS - 376	HS - 601
ESTABILIDAD	POR GIRO	TRIAXIAL
PESO TOTAL	666 KGS	2,772 KGS
PESO SECO	521 KGS	1,282.6 KGS
COMBUSTIBLE	145 KGS	365.68 KGS
POTENCIA	777 WATTS	3,370 WATTS
VIDA UTIL	9 AÑOS	14 AÑOS
DIMENSIONES	2.16 MTS. DE DIAMETRO 6.66 MTS. DE LONGITUD	11 MTS. DE ANTENA A ANTENA Y 25.5 MTS. CON PANELES DESPLEGADOS.

TABLA 1.7.3

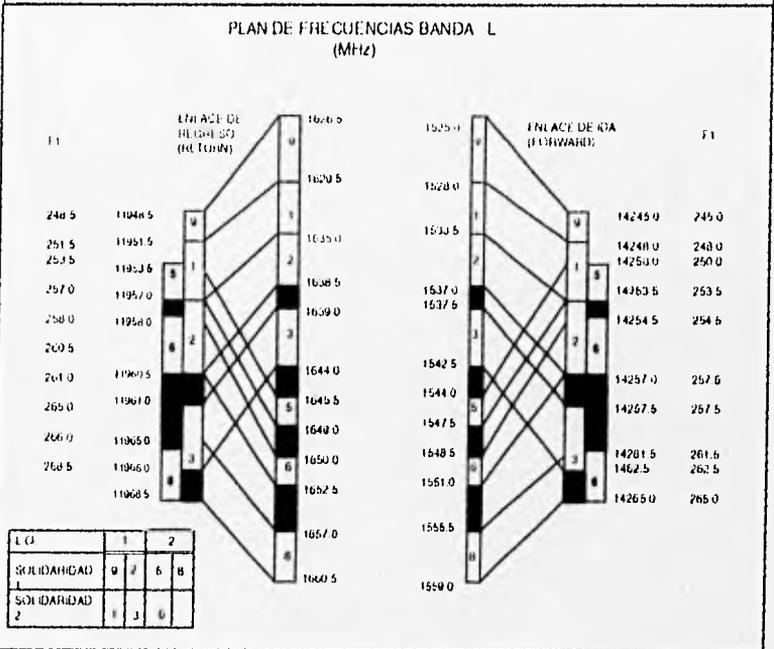
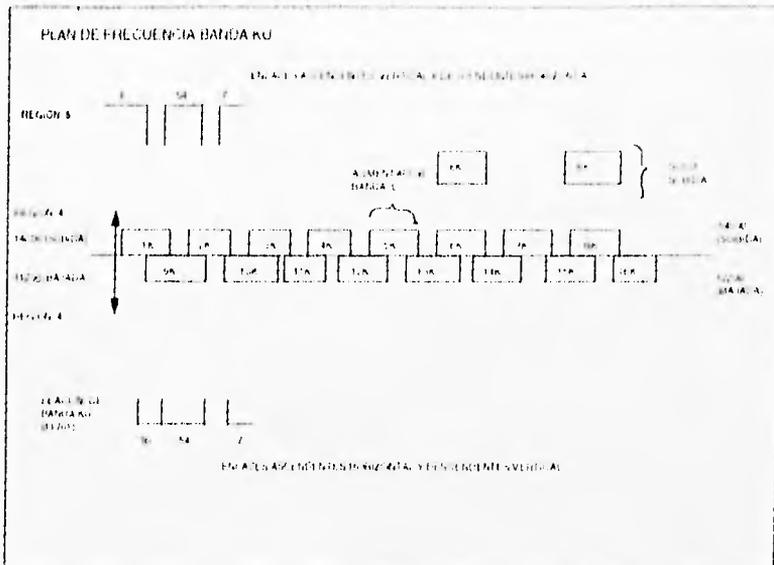


FIGURA 1.7.3 PLAN DE FRECUENCIAS DE LOS SATELITES SOLIDARIDAD 1 Y 2.

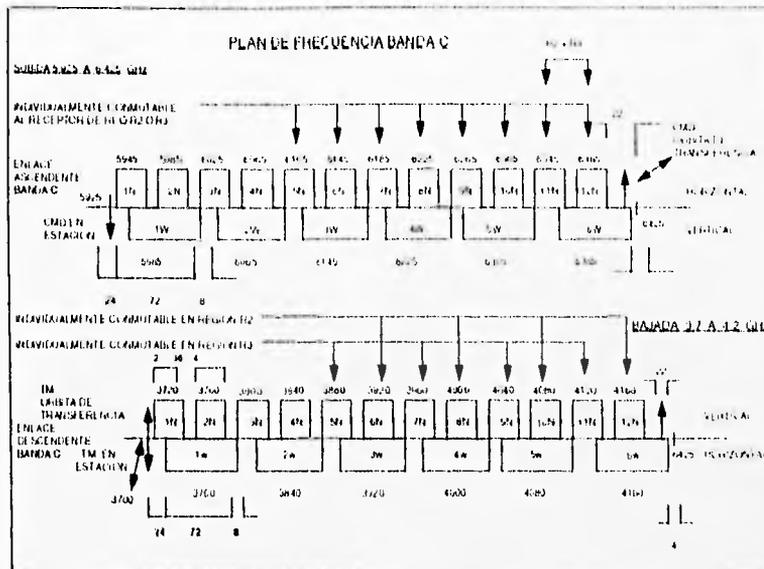


FIGURA 1.7.3 CONTINUACION DEL PLAN DE FRECUENCIAS DE LOS SOLIDARIDAD 1 Y 2

FRECUENCIA	LONGITUD DE ONDA	DESIGNACION
3 Hz - 30 KHz	$10^8 - 10^4$	VERY LOW FREQUENCY (VLF)
30 KHz - 300 KHz	$10^4 - 10^3$	LOW FREQUENCY (LF)
300 KHz - 3 MHz	$10^3 - 10^2$	MEDIUM FREQUENCY (MF)
3 MHz - 30 MHz	$10^2 - 10$	HIGH FREQUENCY (HF)
30 MHz - 300 MHz	$10 - 1$	VERY HIGH FREQUENCY (VHF)
300 MHz - 3 GHz	$1 - 10^{-1}$	ULTRA HIGH FREQUENCY (UHF)
3 GHz - 30 GHz	$10^{-1} - 10^{-2}$	SUPER HIGH FREQUENCY (SHF)
30 GHz - 300 GHz	$10^{-2} - 10^{-3}$	EXTREMELY HIGH FREQUENCY (EHF)
$10^3 - 10^7$ GHz - $3 \times 10^{-5} - 3 \times 10^{-9}$	$3 \times 10^5 - 3 \times 10^9$	INFRARED, VISIBLE LIGHT, ULTRA VIOLET

TABLA 1.7.4 ESPECTRO DE FRECUENCIAS ELECTROMAGNETICAS.

FRECUENCIA (MHz)	RANGO (MHz)
L	1 - 2
S	2 - 4
C	4 - 8
X	8 - 12
KU	12 - 18
K	18 - 27
KA	27 - 40
MILIMETRICA	40 - 300

TABLA 1.7.5 ESPECTRO DE FRECUENCIA DEL SATELITE

En las Tablas 1.7.6 y 1.7.7 se muestran los datos de rastreo para estaciones terrenas ubicadas en las ciudades listadas, con respecto a los satélites Morelos 1 y 2, así como los ángulos de apuntamiento para estaciones terrenas ubicadas en la lista de lugares ahí mencionadas respecto a los satélites Solidaridad respectivamente.

En la figura 1.7.4 se muestra la ubicación de los satélites Solidaridad en la órbita geoestacionaria.

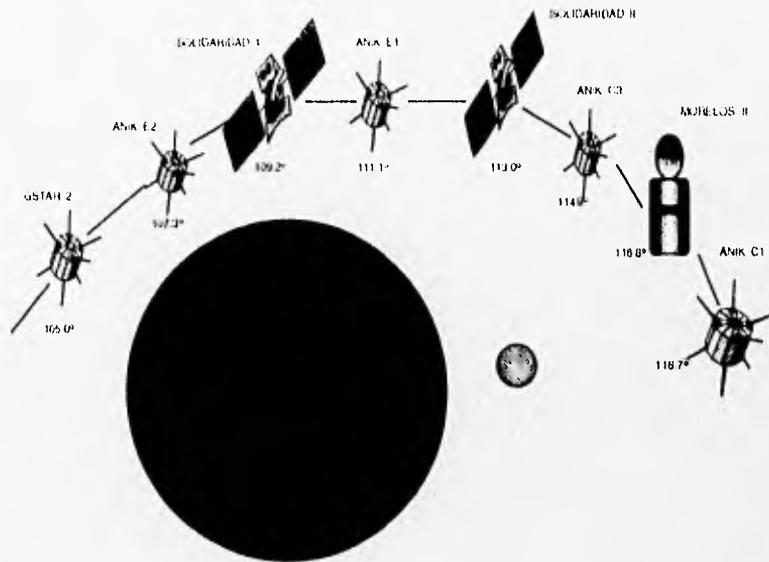


FIGURA 1.7.4 UBICACION DE LOS SATELITES SOLIDARIDAD EN ORBITA GEOESTACIONARIA.

TABLA CON LOS DATOS DE RASTREO PARA ESTACIONES TERRENAS UBICADAS EN LAS CIUDADES LISTADAS, CON RESPECTO AL SATELITE MORELOS I

SITIO	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE	ELEVACION	ALTIMET
ACAPULCO	16.83	99.93	64.81	219.62
AGUAS CALIENTES	21.86	102.30	61.41	208.00
CAMPECHE	19.86	90.48	54.98	231.37
CANCUN	21.08	86.86	51.06	234.36
CD JUARIZ	31.73	106.48	52.27	193.18
CD VICTORIA	23.75	99.13	57.84	212.46
CHETUMAL	18.50	88.28	53.98	236.03
CHIHUAHUA	28.65	106.06	55.57	195.24
CHILPANCIAGO	17.56	99.50	63.87	219.59
COAHUILCOALCOS	18.15	94.41	59.47	226.01
COLIMA	19.23	103.73	64.83	207.40
CUERNAVACA	18.92	99.23	62.45	218.11
CULIACAN	24.82	107.40	60.17	184.28
DURANGO	24.02	104.67	60.19	200.89
GUADAJAJARA	20.72	103.38	61.12	206.77
HERMOSILLO	29.07	100.97	55.91	156.77
JALAPA	19.56	96.92	60.28	211.66
LA PAZ	24.16	110.37	61.52	187.61
LEON G10.	21.07	101.25	61.65	211.13
MATAMOROS	25.88	97.51	54.88	213.29
MAZATLAN	23.20	106.41	61.68	193.52
MERIDA	20.93	89.63	53.50	231.09
MEXICALI	32.65	115.45	51.96	176.39
MEXICO D.F.	19.35	99.01	61.91	217.95
MONTERREY	25.68	100.30	56.55	208.42
MORELIA	19.70	101.18	62.95	212.94
OAXACA	17.07	96.73	62.20	225.75
PACHUCA	20.13	98.73	61.01	217.46
PUEBLA	19.03	98.20	61.64	220.00
QUERETARO	25.53	100.43	61.70	213.60
SALTILLO	25.42	100.98	57.14	207.35
SAN LUIS POTOSI	22.15	100.98	60.43	210.60
TAMPICO	22.21	97.85	58.53	216.54
TAPACHULA	14.91	92.26	59.90	236.50
TEPIC	21.52	104.90	62.96	202.41
TIJUANA	32.52	117.03	51.96	173.45
TLAXCALA	19.32	96.23	59.97	223.22
TOLUCA	19.28	99.67	62.41	216.71
TORREON	23.53	103.35	58.06	202.66
TUXTLA	16.75	93.12	59.44	232.20
VERACRUZ	19.20	96.13	59.99	223.67
VILLA HERMOSA	17.98	92.95	58.41	230.63
ZACATECAS	22.78	102.58	60.61	206.49
ZAMORA MICH.	20.00	102.28	63.28	210.11

TABLA 1.7.6

ANGULOS DE APUNTAMIENTO PARA ESTACIONES TERRENAS UBICADAS EN ALGUNA DE LAS SIGUIENTES CIUDADES CON RESPECTO AL MORELOS 2

SITIO	AZIMUTH	ELEVACION
ACAPULCO	238.78	62.66
AGUAS CALIENTES	214.20	59.75
CAMPICHE	238.18	52.40
CATEFOR	238.40	48.43
CD. JIQUILTEPEC	194.57	51.48
CD. VICTORIA	217.84	56.60
CHILIMAC	217.45	51.25
CHIHUAPANZA	231.62	54.54
CHILPANCIHUITO	238.40	61.63
COAHUILCO DE ZARAGOZA	232.49	56.97
COPIAMA	214.53	63.13
CUEPANTLA	221.80	60.30
CUEPANTLA	200.89	59.22
DALLAS	214.15	46.45
EGUAYAN	207.23	58.90
GUADALAJARA	213.58	61.47
HERMOSILLO	191.27	55.54
HUEHUETLAN	218.38	48.47
JALAPA	226.75	58.01
JALPA	189.71	60.91
LEON GARCIA	217.17	59.64
LOS ANGELES	177.06	50.40
MALAMOGOS	218.25	53.08
MAZATELAN	204.31	60.55
MERIDA	234.81	50.96
MEXICALI	181.95	51.99
MEXICO DF	223.56	59.78
MIAMI	239.74	39.97
MONTERREY	213.64	64.95
MORELIA	219.10	61.03
OAXACA	230.76	59.73
PACHUCA	222.96	58.92
PUEBLA	225.41	59.42
QUERETARO	219.40	59.78
SATILLO	212.90	55.58
SAN FRANCISCO	170.62	46.13
SAN LUIS POTOSI	216.37	58.67
TEPIC NAYARIT	209.23	61.55

TABLA 1.7.6

ANGULOS DE APUNTAMIENTO PARA ESTACIONES TERRENAS UBICADAS EN ALGUNA DE LAS SIGUIENTES CIUDADES CON RESPECTO A LOS SATELITES SOLIDARIDAD 1 Y 2

SITIO	SOLIDARIDAD 1		SOLIDARIDAD 2	
	AZIMUTH	ELEVACION	AZIMUTH	ELEVACION
ACAPULCO	209 41	67 54	219 82	64 81
AGUASCALIENTES	198 01	63 22	208 00	61 41
CAMPECHE	214 91	58 44	231 37	64 98
CANCUN	229 81	54 64	234 36	61 16
CD JUARIZ	185 35	62 93	173 19	62 27
CD VICTORIA	201 79	59 98	212 46	67 84
CHIHUAL	231 30	67 72	236 01	63 98
CHIHUAHUA	185 53	56 39	156 24	65 57
CHILPANCIAGO	211 55	66 57	219 59	63 87
COAHUILCOALCOS	220 78	67 78	228 01	59 49
COQUIMA	196 21	66 59	207 60	64 83
CUERNAVACA	208 46	65 04	218 11	62 45
CULIACAN	164 78	60 91	164 28	60 17
DALLAS	202 80	49 78	200 89	60 19
DURANGO	191 01	61 43	206 77	63 12
GUADALAJARA	196 07	64 82	155 27	55 91
HERMOSILLO	175 36	56 03	221 66	60 20
HOUSTON	206 85	62 36	187 61	61 62
JALAPA	213 01	63 12	211 13	61 65
LA PAZ	177 14	61 71	213 29	64 88
LEONCIO	201 23	63 70	197 52	61 68
LOS ANGELES	164 28	49 29	231 09	63 50
MATAMOROS	205 36	57 06	176 39	61 95
MAZATLAN	187 06	62 66	217 95	61 91
MERIDA	224 85	56 91	208 42	66 55
MEXICALI	168 63	51 41	212 94	62 95
MEXICO D.F.	208 48	64 49	225 75	62 20
MIAMI	232 30	46 07	217 46	61 01
MONTERREY	199 87	58 37	220 00	61 64
MORELIA	202 68	65 14	213 10	61 70
OAXACA	216 99	65 35	207 35	57 14
PACHUCA	208 23	63 65	210 60	60 43
PUEBLA	210 80	64 37	216 54	58 63
QUERETARO	203 74	63 94	236 60	59 90
SALTILLO	198 63	58 88	202 41	62 96
SAN FRANCISCO	169 16	44 43	173 45	51 96
SAN LUIS POTOSI	200 96	62 43	223 22	69 97
TEPIC NAYARIT	191 58	64 32	216 71	62 41

TABLA 1.7.7

## 1.8 SERVICIOS, BENEFICIOS, VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DEL SATELITE.

En este tema mencionamos tópicos de interés referentes a las características particulares de un sistema de comunicaciones vía satélite con referencia a otros sistemas de comunicación.

### CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE PROVEEDORES DE SISTEMAS DE COMUNICACION VIA SATELITE.

#### A) NIVEL SISTEMA.

- Cumplir con los requerimientos de la S.C.F.
- Uso eficiente de los sistemas Morelos y Solidaridad de Satélites.
- Contar con monitoreo y control del sistema.
- Posibilidad de expansión con reconfiguración automática de la red.

#### B) NIVEL EQUIPO.

Uso de auténticas tecnologías avanzadas para obtener:

1. Máxima confiabilidad.
2. Máxima eficiencia (Reducción de la potencia y/o Ancho de banda empleados por la estación).

Modularidad de las Estaciones Terrenas.

Estaciones Remotas potentes y pequeñas para facilitar su instalación.

Apoyo por parte del Proveedor Nacional, de un Grupo Técnico que proporcione Fácilmente un Soporte de Fábrica Profesional relativo a :

1. Asesoría por planeación de Redes.
2. Instalación.
3. Servicio y Mantenimiento.
4. Monitoreo y Control.

## **SERVICIOS Y BENEFICIOS.**

Enlazar localidades distintas con Equipos Modulares que permiten satisfacer las Necesidades de Telecomunicación de sus clientes, mediante:

Soluciones Tecnológicamente innovativas, Económicamente Factibles y Técnicamente Realizables

Una Tecnología de Comunicación que haga Económico y Flexible el Crecimiento de la Red.

## **BANDAS DE OPERACION.**

Los sistemas vía satélite comerciales, comúnmente:

Utilizan un ancho de banda de 500MHz y se encuentran ubicados en diferentes bandas de servicio.

Utilizan banda C con frecuencia de 6 GHz para transmitir y 4GHz para recibir.

Utilizan Banda Ku con frecuencias de 14 GHz. para transmisión y 12 GHz. para recepción.

El ancho de banda de 500MHz. se divide en diferentes transpondedores que pueden tener, por ejemplo, 36,72 y 108 MHz. de ancho de banda, como es el caso del sistema Morelos de satélites.

## **SATELITE.**

Es un repetidor en el espacio.

## **COMUNICACION VIA SATELITE.**

Es esencialmente, un enlace de radio entre un satélite con una o varias estaciones terrenas.

## PROCESOS BASICOS REALIZADOS EN UN SATELITE.

Recepción de las señales de los usuarios fuente  
Conversion de la banda de frecuencia  
Amplificación de las señales  
Retransmisión de las señales a los usuarios destino

## APLICACIONES.

Redes privadas de datos, telefonía, teleconferencias, facsimil, aplicaciones CAD/CAM, correo electrónico.etc.

## VENTAJAS SOBRE FIBRA OPTICA, CABLES Y MICROONDAS TERRESTRES.

### VENTAJAS.

1. Costos invariables con la distancia (Reducción de costos de comunicación).
2. Acceso sencillo a zonas aisladas (Fácil difusión de la información).
3. Fácil reconfiguración de la red (Instalación y Expansión rápida).
4. Mantenimiento sencillo (Componentes modulares reemplazables en campo).
5. Alta velocidad y precisión de la transmisión (Calidad, Confiabilidad y Reducción de Costos).
6. Control efectivo de los costos de comunicación.
7. Privacidad e Independencia de la red telefónica convencional.
8. Posibilidad de transmitir económicamente punto a punto, punto a multipunto y multipunto a punto.

### DESVENTAJAS.

1. Retraso de transmisión (1/4 segundo).
2. Posible falla catastrófica ( falla del satélite).

## **VENTAJAS ESPECIFICAS REFERENTES A VOZ, DATOS, TELECONFERENCIAS Y FACSIMIL.**

### **VENTAJAS ESPECIFICAS**

#### **VOZ.**

##### Reducción y Control Efectivo de Costos.

Transmitir señales via satélite a un punto opuesto 120 grados en el planeta, cuesta lo mismo que transmitirlos a una distancia de 160 Km. De ahí la reducción significativa de los costos generales por llamadas telefónicas de larga distancia. Además de reducir costos de instalación, dado su acceso sencillo a zonas aisladas.

##### Fácil Expansión y Reconfiguración de la Red Telefónica.

Debido a que no se requieren conexiones alámbricas (líneas telefónicas) entre localidades, puesto que los componentes esenciales de la red satelital son modulares, el usuario puede más fácilmente expandir y/o relocalizar su red.

##### Privacidad e Independencia de la red Telefónica Convencional.

Lo cual garantiza el poder enlazar la red en forma más eficiente, confiable y el poder contar con todas las ventajas derivadas de ello.

#### **DATOS.**

##### Alta velocidad de transmisión.

Velocidades hasta de 6.3 Mbps. comparadas con 10 Kbps. de una línea analógica convencional. Los 6.3 Mbps equivalen a transmitir en 1.25 seg. toda la información contenida en un periodo de gran circulación.

#### Alta calidad de transmisión.

Precisión, por ejemplo un rendimiento de solo un error en 100 Mb puede ser logrado, comparado con un error en 100 Kb transmitidos por un sistema terrestre

#### Interconexión de LAN's a bajo costo.

Permite que los usuarios dispersos y lejanos tengan acceso a una base de datos común y que puedan compartir recursos a un bajo costo, ya que los costos son invariables con la distancia.

#### TELECONFERENCIAS

No existen las limitaciones ni los costos prohibitivos convencionales.

Reducción de costos de viaje, pérdidas de tiempo y esfuerzo.

#### FACSIMIL

Alta resolución, reducción del tiempo requerido para transmisión y por lo tanto de los costos de transmisión.

### 1.9 PROTOCOLOS DE ENLACE Y REDES DE COMUNICACIONES.

#### **PROTOCOLOS DE COMUNICACIONES.**

Los protocolos de comunicación se refieren a los métodos con que se efectúa la comunicación entre las computadoras y el servidor de archivos, es decir la forma en que les da o restringe prioridad para solicitar y enviar las tramas para cada una de las aplicaciones o solicitudes que requiere cada computadora. La forma en que las estaciones de la red acceden al uso del canal común de comunicación para depositar y recoger datos, así como los mecanismos existentes para controlar éste acceso; esto representa una de las características más significativas de cada red y condiciona frecuentemente el comportamiento global de esta.

Los métodos aplicables en el control de acceso a las redes locales son múltiples y varios. Por el hecho de compartir un recurso por diversos usuarios, aquí serían aplicables gran cantidad de métodos estudiados experimentados en otras situaciones equivalentes de tecnología de computación. De hecho así ha ocurrido en la implementación de numerosas redes locales, experimentales a comerciales. No obstante, los organismos de normalización se han inclinado por adoptar un número reducido de estos.

La recomendación X.25 se limita a definir los protocolos de comunicación entre pares y no incluye los mecanismos para realizar la conmutación de paquetes (por ejemplo, el ruteo dentro de la red, la designación de rutas, etc.).

La recomendación X.25 define la interfaz entre el equipo del usuario y la red de conmutación de paquetes.

La norma X.25 aglutina un conjunto de tres protocolos que se refieren respectivamente a: la conexión física, la interfaz máquina a máquina y transferencia extremo a extremo. Estos protocolos son definidos por las recomendaciones CCITT.

El protocolo X.25 es responsable de la realización de transferencia de datos confiables entre ETDs para lo cual requiere realizar control de errores.

Un analizador de protocolos se usa para monitorear el tráfico en los canales X.25 y para en forma indirecta (modo de monitor) o directa (modo simulador) hallar solución a los diferentes problemas que ocurren en los elementos de la red.

#### **Funcionamiento de X.25**

El nivel 1 tiene como finalidad transportar una secuencia de Bits de una máquina a otra. Se requiere especificar los aspectos mecánicos, eléctricos y funcionales. X.25 define 2 estándares para efectuar el nivel físico: el X.21 para enlaces digitales y el X.21 bis para enlaces analógicos. Se considera que la transmisión se realiza punta a punta. Para lograrlo se establecen los siguientes procedimientos:

Operación sincrónica para contar con velocidades altas de transmisión. Las señales de control indican directamente el estado del circuito. Se establece un HANDSHAKING para establecer el orden en que se presentan las señales en el circuito. En el caso sincrónico no hay reloj y se forman los caracteres en forma serial.

El conector de cable tiene quince pines aunque se emplean solamente ocho para esta aplicación. En el ETD se emplean las líneas T y C para transmitir los datos y controlar la información (C es equivalente a la acción de colgar y descolgar un teléfono). El ECD se emplea en las líneas R e I para datos y control. La línea S contiene la señal de temporización del DCE al DTE, en algunas ocasiones se puede utilizar la señal B para agrupar los datos en tramas de 8 Bits.

La diferencia básica entre el X.21bis y el protocolo del CCITT radica en las señales de reloj para realizar sincronía de bit. Por un lado se tiene la dirección de la señal del reloj del ECD y por otro la generación de reloj de emisión desde el ETD. También se tiene la detención de la señal de campana del teléfono.

La interfaz RS-232-C da lugar a varios problemas por sus limitaciones y la velocidad de transmisión 820Kps y la distancia máxima de los cables empleados debiendo de ser de 5 metros. La Interfaz RS 449 incluye nuevas señales, básicamente para probar el módem, en forma local y remota. El X.21 bis utiliza el mismo tipo de conector y las señales del RS 232-C.

Cuando el conal esta desocupado los cuatro lineos (T,R,C,I) estan desconectados. Si el ETD desea hacer una llamada lo indica activando (ON) lo línea C. El ECD le indica al ETD que ya esta listo para recibir lo dirección activando la línea I. El ETD morca el número, el ECD indica que lo llamada esto en proceso, cuando la conexión esta lista tanto I como C estan activadas, el dispositivo que dese despedirse lo indica desactivando su señal de control (C en el caso de ETD e I en el caso de ECD).

Para poder usar terminales asincronos (los más comunes y fáciles de usar como ETD para acceder una computadora remota (HOST) provista de un ETD de modo de paquetes) se debera utilizar un ensamblador/desensamblador de paquetes (PAD). Existen PADs privados y PAD's públicos dependiendo del dominio en donde se encuentren los PADs. Soporte PAD es un protocolo de nivel mayor al de paquetes el X.25 que permite

que el HOST acepte la comunicación con los PADs de la red de comunicación de paquetes

El objetivo del PAD es la generación de paquetes a partir de cadenas de caracteres provenientes de la terminal y encaminarlos hacia la red de datos, también deberá desensamblar los paquetes que envía el HOST, es traer la porción de datos a la terminal en forma de caracteres. Se utilizara como una interfaz entre un dispositivo asincrono del protocolo X.25 usado para acceder la red de conmutación de paquetes. Se asemejan las funciones del PAD de una terminal asincrona en las que se deberan establecer una llamada, transferir la información y terminar la llamada.

La terminal asincrona recibe el nombre de ETD-C donde la C indica que la transmisión esta orientada en caracteres en lugar de paquetes. Los ETD-Cs pueden ser interactivos, como en el caso de terminales inteligentes, o no interactivas como en el caso de impresoras o plotters .

#### PROTOCOLO UNILATERAL RESTRINGIDO (UTOPIA).

Para emplear este protocolo, que en realidad es inútil, se hacen las siguientes suposiciones:

- 1.- Los datos se transmitirán en una sola dirección
- 2.- Las capas de red para transmisión y recepción siempre estarán listas para operar.
- 3.- Se podrá ignorar el tiempo de procesamiento de los datos en la recepción (se cuenta con una velocidad infinita de procesamiento).
- 4.- Se cuenta con un espacio infinito en memoria temporal (buffers).
- 5.- El canal de comunicación entre las capas de enlace nunca dañará o perderá ninguna trama.

La operación del protocolo No. 1 se puede resumir así: El emisor (operando en la máquina fuente) inyecta datos a la línea tan rápido como puede, mientras que el receptor (operando en la máquina destino) se encuentra esperando y lo único que puede ocurrir es que lleguen las tramas intactas enviadas por el primero.

#### PROTOCOLO UNILATERAL DE ALTO Y ESPERA

Si elimináramos la suposición número 3, es decir sabemos que los datos deberán ser procesados en una máquina real a velocidades finitas, o bien la suposición número 4 que implicaría tener un buffer suficientemente grande para que las tramas esperen su turno de procesamiento.

Las condiciones de unilateralidad en la comunicación, y la existencia de un canal libre de errores todavía se mantienen, así como el hecho de que el receptor y el emisor están siempre listos.

Para evitar que el emisor inunde al receptor con datos, debido a una mayor velocidad de procesamiento que es soportada por el receptor, se pueden tomar varias soluciones.

A). Que el emisor realice pausas entre cada envío. En la realidad cada capa de enlace tiene varias líneas que atender y los intervalos entre llegada y procesamiento puede variar dependiendo de distancias y de la aplicación. Si se programan los emisores para satisfacer los peores casos de retardo se caería en un total desaprovechamiento del ancho de banda de los canales de comunicación.

B). Una mejor solución consiste en que el receptor proporcione una retroalimentación al emisor de modo que le indique que la trama recibida ya fue pasada a la capa de red (Nivel 3) para autorrealizarse a enviar la siguiente trama. Esta clase de protocolos se conoce como protocolos de parada y espera. El emisor comienza buscando un paquete procedente de la capa de red, la utiliza para crear una trama y posteriormente la emite con su camino. Espera hasta recibir la trama de asentamiento que le informa que el receptor ya recibió la trama para buscar el siguiente paquete a enviar. El receptor al recibir la trama la envía directamente a la capa de red.

Aunque en este caso la comunicación es unidireccional las tramas se encuentran viajando en los dos sentidos por lo que el canal (capa 1) deberá ser direccional pero en sentido estricto para alternarse en el flujo de tramas bastaría contar con un canal físico de comunicación bilateral alternada.

#### **PROTOCOLO UNILATERAL PARA CANAL RUIDOSO DE ASENTIMIENTO CON RETRANSMISION POSITIVA.**

Si eliminamos la suposición número 5 tenemos la situación realista de un canal de comunicación en el que se generan errores, las tramas pueden dañarse o perderse por completo.

Si agregamos la consideración de que el receptor es capaz de identificar las tramas que lleguen dañadas mediante la obtención del código de redundancia Existen varias alternativas para resolver este problema:

A.- Tomando el protocolo no. 2 como base se concidera que el receptor solo enviaría un protocolo de asentamiento cuando los datos lleguen sin errores, bastaría entonces componer un temporizador en el transmisor para que en caso de no recibir el asentamiento del receptor volver a retransmitir la trama. En el caso de que se pierda la trama de asentamiento (el ruido no distingue la importancia relativa de las tramas ) el emisor enviará por segunda ocasion una trama que realmente ya llego a su destino. Como el nivel de red confia en que los paquetes que recibe del nivel de enlace son correctos no tendra fama de evitar equivocarse al interpretar su informacion.

B.- Para reconocer que una trama es nueva o repetida se incluye un número de secuencia en la cabecera de cada trama que transmite de modo que el receptor pueda comprobar la secuencia correcta de las tramas que va recibiendo.

El problema de esta alternativa es saber cual es el número mínimo de secuencia permitida para asignarle un número de bits adecuado, puesto que solo existe ambigüedad entre la N-ésima trama y la N+1-ésima ; bastara contar con un solo bit para controlar la secuencia. Cuando llega una trama con un número de secuencia correcta se acepta se pasa a la capa de red y el número de secuencia esperado se pasa a la capa de red y se incrementa el número de secuencia esperada (Usando el modulo 2, el 0 pasa a 1 y el 1 a 0).

En caso de que llegue una trama con número de secuencia incorrecto se rechaza ( resulta un duplicado ). Lo importante de este protocolo es que tanto el emisor como el receptor cuentan con una variable. Las tramas duplicadas o dañadas nunca llegarán a la capa de una red ( nivel 3 ) Asimismo con retransmision positiva.

#### **PROTOCOLO CON REPETICION NO SELECTIVA.**

Cuando el tiempo total desde que se envia una trama hasta que llega su confirmación (en un enlace satelital de 50 kbps transmitiendo tramas de 1000 bits puede existir un retardo de 520 mseg) el transmisor está desocupado durante mucho tiempo (98% ya que las tramas ocupan 20 mseg de transmisión de los 520 mseg mencionados).

Un tiempo de transito largo, un gran ancho de banda y tramas pequeñas seran un desastre si no se toman acciones prudentes

Si se elimina la restricción de que el receptor banda espera hasta que llegue la confirmación de la última trama transmitida se logrará una mayor eficiencia en la utilización del canal.

Se permitirá al canal enviar hasta un máximo de  $w$  tramas (el objetivo sería poder enviar tramas para ocupar completamente el tiempo de ida y regreso sin saturar la ventana) simulando una tubería de agua (pipelining).

En el caso de ocurrir un error en alguna trama se repetirá ésta y además todas las tramas subsecuentes.

En este caso se desaprovecha gran parte del ancho de banda.

#### **PROTOCOLO CON REPETICION SELECTIVA.**

Para aprovechar más el ancho de banda, el receptor almacena todas las tramas correctas y pide tan solo que se repita la trama incorrectamente recibida, con el cual el receptor aunque haya comenzado a repetir a partir de la última trama incorrecta antes de repetir todas las tramas hasta su nuevo límite superior recibirá el aviso de que ya llegaron algunas de las que pretendía repetir (debido a que el receptor validó la trama en error y todas las que se encontraban en los buffers).

El protocolo del nivel de enlace, convierte una línea de red de transmisión expuesta a cometer errores en un canal que se encuentra textualmente lleno de errores.

### **REDES DE TELECOMUNICACIONES.**

En el campo de la informática las computadoras han estado evolucionando constantemente y en el sentido de la conectividad hacia computadoras de su misma clase o de mayor jerarquía. Es en este sentido que se empezó a utilizar el concepto de Red de computadoras que se entiende como un conjunto de computadoras enlazadas entre sí con otros equipos cuya configuración permite transmitir, recibir, compartir y manejar información. Una red tiene como objetivo principal, el compartir recursos materiales ( Equipos y sus periféricos) además de los recursos informáticos( archivos de datos y programas ), actualizándolos, organizándolos y explotándolos de una manera más eficiente.

A todo esto se conoce que las redes son la respuesta correcta a la necesidad de compartir recursos entre usuarios, los recursos más costosos y la información centralizada y/o dispersa de un organismo, obteniendo con esto, la tan necesaria organización y economía en la informática. Todo esto aunado normalmente a que las micro computadoras necesitan distintos recursos periféricos como son: Impresoras, Graficadoras, Discos duros, Unidades de disco ópticos, Unidad de respaldo de cinta magnética, Programas de aplicación, Paquetería, etc. Estos recursos se van a compartir entre todas las terminales, mediante un canal de comunicación que por lo general es un cable dedicado a las comunicaciones. Las terminales se conectan a éste canal por medio de una interfase, que es una tarjeta electrónica que se coloca en una de las ranuras o slots de la computadora personal.

La computadora que cuenta con los recursos periféricos e informáticos recibe el nombre de estaciones de administrador de red o "SERVER" que auxiliado por el sistema operativo de la red viene a ser el "CEREBRO" dedicado a administrar los recursos y las comunicaciones entre las demás computadoras, mismas que trabajando así reciben el nombre de estaciones de trabajo.

#### **CLASIFICACION DE REDES POR MAGNITUD.**

De acuerdo al desarrollo de las redes de computadoras se dieron algunos términos para definir la magnitud y alcance de las redes es por eso que se manejan los siguientes conceptos WAN, MAN, LAN.

#### **RED DE AREA AMPLIA. "WAN" (WIDE AREA NETWORK).**

Las redes de comunicaciones de datos diseñadas para servir en una área de miles de kilómetros. Soporta velocidades relativamente bajas con respecto a las redes LAN y MAN además las tasas de errores son también mayores (entre  $10^{-5}$  y  $10^{-3}$ ).

#### **RED DE AREA LOCAL "LAN" (LOCAL AREA NETWORK).**

En una red de comunicación de datos limitada a una área geográfica de algunos cientos de metros. Lo cual básicamente se refiere a la comunicación entre computadoras y dispositivos periféricos. Utiliza elevadas velocidades de transmisión debido a que el medio de comunicación es dedicado y además utiliza banda base como técnica de transmisión; alcanza velocidades hasta 10Mbps. Dentro de sus aplicaciones más comunes tenemos las siguientes: Procesamiento de información, Automatización de oficinas, Automatización industrial ( administración y control de procesos ).

#### **RED DE AREA METROPOLITANA " MAN " (METROPOLITAN AREA NETWORK).**

Este término está siendo usado actualmente para definir redes conectadas en áreas metropolitanas es decir se ocupa para redes enlazadas en ciudades. Este concepto principalmente se refiere a redes conectadas a altas velocidad (100Mbps) para una aplicación tanto de transmisión de voz como de datos.

#### **CLASIFICACION SEGUN SU TOPOLOGIA.**

Es básico conocer algunos conceptos para entender este término. Entre los matemáticos que estudiaron esta disciplina está: A. Listing quien dio el nombre de topología y la definió como la parte de las matemáticas que estudia la disposición de agrupaciones de elementos. Por lo tanto en el ambiente de las redes y en congruencia con la definición anterior, en adelante se entenderá simplemente que:

**TOPOLOGÍA:** Es la forma en que están configurados geoméricamente el grupo de elementos que conforman una red.

La elección de la topología tiene un fuerte impacto en el comportamiento de la red. Aunque, el eficaz aprovechamiento de ésta dependerá de una serie de protocolos de comunicación entre sus distintos elementos, también la estructura física condiciona algunas características. Cabe citar entre las más relevantes:

- a) La menor o mayor flexibilidad de la red para añadir o quitar nuevas estaciones
- b) La repercusión que en el comportamiento de la red pueda tener el fallo en una de las estaciones.
- c) El flujo de información que pueda transitar por la red sin que se produzcan interferencias y los retardos mínimos que esta introduzca.

Las múltiples configuraciones que pueden presentarse obedecen básicamente a tres tipos de Topologías características de las redes WAN que se dan a continuación junto con sus características más importantes.

#### **Estrella:**

- Pocos Enlaces.
- Problemas de retardo.
- Problemas de disponibilidad.
- Depende del nodo principal.

**Arbol:**

Mayor disponibilidad que el anterior  
Consta de varios nodos principales.  
Si falla un nodo se aísla solo esa región.

**Malla:**

Alta disponibilidad.  
Costo mucho mayor que las anteriores.  
Se reduce el problema de retardo

Los enlaces generalmente suelen conformarse de circuitos ya sean permanentes o virtuales, utilizando técnicas de conmutación de circuitos o paquetes. Se puede sumar a estos tipos básicos, la topología de árbol, es una conexión compuesta.

**TOPOLOGIA EN ESTRELLA.**

En una red estrella todas las estaciones se comunican entre si a través de un dispositivo central. El nodo central asume un papel muy importante debido a su protagonismo en todas las transferencias de información que se realicen en la red. Lo usual será que el nodo central ejecute todas las tareas de control y posea los recursos comunes de la red, para reducir su influencia puede optarse por localizar el control en alguno de los nodos periféricos, de manera que el nodo central actúe como una unidad de conmutación.

Esta configuración presenta buena flexibilidad para incrementar o disminuir el número de estaciones, debido a que estas modificaciones no presentan ninguna alteración de su estructura y están localizadas en el nodo central.

La repercusión en el comportamiento global de la red de un fallo en uno de los nodos periféricos es muy baja y solo afectaría al tráfico relacionado con ese nodo. Por contar, si el fallo se produjese en el nodo central, el resultado podría ser catastrófico y afectaría a todas las estaciones.

El flujo de información puede elevarse y los retardos introducidos por la red pequeños si la mayor parte de este flujo fluye entre el nodo central y los nodos periféricos. En caso de que las comunicaciones se produzcan entre estaciones, el sistema se vería restringido por la posible congestión del dispositivo central. En este tipo de conexión, el elemento central se mantiene preguntando constantemente a cada estación de trabajo mediante comunicación exclusiva y por turno, si desea transmitir información, de ser afirmativo, la atiende y al terminar prosigue con otra su interrogatorio correspondiente y además es permanente.

Para este caso de pregunta-respuesta-pregunta a la siguiente etc. A la regla de comunicación se le conoce como protocolo POLLING (Poleo). Empleado en las minis. En el despertar de las redes esta topología fue la que se utilizó empero, resultaba una de las más caras.

#### **TOPOLOGIA EN ANILLO.**

Los nodos de la red están conectados formando un anillo de forma que cada estación tiene conexiones con otras dos. Los mensajes viajan por el anillo de nodo en nodo y en una única dirección de manera que todas las informaciones pasan por todos los módulos de comunicación de las estaciones.

Cada nodo tiene que ser capaz de reconocer los mensajes a él dirigidos y actuar como el retransmisor de los mensajes que, pasaron a través de él, van dirigidos a otras estaciones. El control de la red puede ser centralizado o distribuido entre varios nodos.

Esta topología permite incrementar o disminuir el número de estaciones sin gran dificultad. Debido a que cada estación está obligada a retransmitir cada mensaje, en caso de existir un número elevado de estaciones el retardo introducido puede ser demasiado grande para ciertas aplicaciones. En una estructura en anillo, un fallo en cualquier parte de la vía de comunicación deja bloqueada a la red en su totalidad. En caso de una configuración en estrella solo quedaría fuera de servicio la estación afectada y en las configuraciones en bus, como se verá a continuación, solo quedarían afectados algunos nodos. Si el fallo se produce en una de las estaciones del anillo, la repercusión en el resto de la red será diferente dependiendo de si se avería o no el módulo de retransmisión.

En caso de que la estación quedara fuera de servicio pero el módulo de retransmisión siga operando con normalidad, la avería solo afecta a la estación en cuestión. Pero si la falla es en el módulo de comunicaciones el anillo quedaría cortado y la red bloqueada.

Una forma de evitar estos riesgos como se mencionó anteriormente consiste en el uso de concentradores. El anillo lógico discurre por dentro del concentrador y cuando un nodo deja de funcionar, se cortocircuita la entrada hacia la estación en el propio concentrador, restableciéndose el anillo. A simple vista una red de estas características presenta un aspecto de una topología en estrella más que el de una configuración en anillo. Como el número de estaciones concebibles al concentrador es limitado, se puede recurrir a concatenar varios de ellos para conseguir redes en anillo con más nodos periféricos.

En esta conexión la información viaja ordenadamente en un sólo sentido a través de un solo cable describiendo un ángulo de 360 grados en cuyo anillo imaginario están conectadas en serie las estaciones de trabajo y el server.

Una señal llamada TOKEN (Receptáculo) a modo de estafeta, va circulando por la red y pasando por cada estación, si la primera resulta ser la solicitante, previa identificación entrega la información de lo contrario la deposita en un "sobre cerrado", para que esta a su vez así la envíe a la siguiente, llevando la consigna de entregarla hasta identificar al solicitante. Es por esto que el protocolo apropiado para este caso se conoce como:

- Token Passing

#### TOPOLOGIA DE BUS.

Esta conexión se considera que es la más sencilla de todas, las computadoras incluyendo al server están enlazadas por un único canal de comunicaciones y la información viaja en ambos sentidos. Las redes en bus son sencillas de instalar y se adaptan con facilidad a las características del terreno o local. Presentan una gran flexibilidad, en lo referente a reducir o aumentar el número de estaciones de la red, ello unido a su buena fiabilidad hace que esta topología haya sido la elegida por numerosos proveedores.

En las redes con estructura en bus, a diferencia de las de anillo, cada nodo no ha de actuar como repetidor de los mensajes, sino que simplemente ha de reconocer su propia dirección para captar aquellos mensajes que viajan por el bus y van dirigidos a él. Cuando una estación deposita un mensaje en la red, esta información se difundió a través del bus y todas las estaciones estarán capacitadas para recibirla. Debido al hecho de compartir el medio, antes de transmitir un mensaje cada nodo debe averiguar si el bus está disponible para él.

El fallo en una estación aislada solo repercute en los mensajes a ella vinculados, siendo su efecto nulo en el resto de la red. Una ruptura en el bus, en cambio, deja la red dividida en dos o inutilizada totalmente, según esté concebido su control.

El hecho de que exista un bus común al que acceden todas las estaciones le proporciona parte de las ventajas antes referidas, pero obliga a que el control de acceso a la red sea más delicado que en caso de las topología estrella o anillo, por lo que es necesario prevenir las colisiones. Por ello el protocolo apropiado es CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Acces/Collision Detection).

Con este protocolo de red, se transmite y espera a que se le confirme que la información fue recibida correctamente de otra forma, detecta la posible colisión, espera un tiempo a que el canal esté desocupado y la información se transmite nuevamente.

### **TOPOLOGIA DE ARBOL..**

Esta topología tiene la ventaja sobre la de anillo en el sentido de que una avería en una estación no afecta a todo el sistema; por otro lado, si la falla está en el canal ( Bus ) se afecta a toda la red. El medio de transmisión es utilizado para enlaces millipunto o de comunicación global ( broadcast ), hecho que deriva en ciertos inconvenientes, como lo es el que la extensión de la red es limitada e inferior si se compara con la de anillo , ya que el uso de repetidores en cascada se refleja en un error acumulado excesivo a elevadas velocidades de transmisión.

En segundo lugar, se tiene el inconveniente de centralizar el control del medio a una sola terminal, lo que disminuye el carácter distribuido de la red utilizándose la técnica de transmisión banda base.

El tercer inconveniente tiene que ver con el balanceo de la señal que se transmite, ya que debe ser lo suficiente fuertemente para mantener una adecuada relación señal a ruido, pero sin sobrecarga al circuito transmisor, ya que puede generar señales armónicas y otras señales de ruido, lo cual no ocurre en anillos, ya que su axión como se dijo anteriormente es combinada y es una opción mas para implementar redes, según las necesidades del usuario. Normalmente trabaja con el protocolo TOKEN PASSING. Tarjeta Arnet y conectores tanto positivos como activos. Aunque cabe mencionar que gracias a la ayuda de los concentradores para cada tipo de red, la tendencia actual es construir redes con topología física en árbol pero que lógicamente su topología siga siendo en anillo o en bus.

#### TIPOS DE RED.

##### **RED ETHERNET.**

Ethernet surge como el primer esfuerzo real hacia las redes locales de computadores. Nace en la década de los 70's del laboratorio de investigación de Xerox Parc. Su principal diseñador es Metcalf, actual presidente de 3Com Corp. El nombre de Ethernet surgió basándose en las experiencias con Aloha Net ( red de propósitos de RF ), el diseño de Ethernet se sustentaba en un bus general que unía a todo los elementos y por analogía con el antiguo éter de los antiguos griegos, que era la sustancia que unió todos las cosas, al sol con la tierra y los demás planetas así como los cuerpos entre si, se le denomina ETHERNET. El hecho de que Ethernet haya sido la primera red local y el que firmas tan importantes como Digital Equipment Corporation hayan lanzado sus productos al mercado, fueran las causas principales que proporcionarían su gran popularidad e implantación. Por ella gran cantidad de fabricantes han buscado la compatibilidad de sus productos con dicha red.

##### **RED TOKEN RING.**

Con la aparición de los IBM PC, XT y AT como estándares de hechos en el mercado de los micro-computadores, se puso en marcha el desarrollo de redes locales que tuvieran estas productos a comunicar. Distintas firmas han producido modelos de redes que han intentado imponer en el mercado. La falta de éxito se ha debido fundamentalmente a la negativa de la firma de IBM a comprometerse definitivamente con alguna de ellas.

En éste devenir de desarrollos, IBM han venido aceptado ( incluso comercializando ) algunos modelos concretos, lo que han provocado su expansión en mayor o menor medida. La sorpresa fue dada en Octubre de 1985, cuando IBM anunció la aparición de su red, basada en el método Token-passing. Existen dos de este tipo de redes, la red Token-Ring de IBM y otra la desarrollada por Sytek y Microsoft ( una de las más extendidas y claramente oceptada por IBM como producto de interés ). IBM fue una de las más tardías en definirse sobre la política a seguir en el ámbito de la LAN. Cuando ya el resto de las grandes firmas de la informática habían apostado por alguna opción, en Octubre de 1985 finalmente, se produce la oferta de la red Token Ring, con lo que IBM toma partido por la recomendación IEEE 802.5, que curiosamente fue hasta ese momento la menos popular de las redes locales. Con esta elección parece bastante probable su relanzamiento frente a la recomendación IEEE 802.3 ( CSMA/CD )

#### **TIPO DE RED ARCNET.**

Uno de las redes más populares en Estados Unidos y en el mundo es Arcnet: Attached Resource Computer Network. Desarrollada por Datapoint Corp. inicialmente la red y el protocolo eran del fabricante, pero el protocolo del nivel de enlace, los especificaciones de interfase y aún los circuitos integrados, fueron hechos públicos a partir de 1982.

Funcionalmente, Arcnet es una red de tipo Token Passing bus, similar a lo especificado en el documento IEEE 802.4 pero en su topología forma realmente un árbol utilizado un sistema de cableado a base de repetidores activos y pasivos.

#### **EVOLUCIÓN DE LAS REDES DE TELECOMUNICACIONES.**

A la fecha los objetivos de una red de telecomunicaciones es lo do asegurar la provisión de un paquete de servicios de transporte de información, maximizando el valor de la red.

Haciéndola confiable buscando que lo sea :

- Con un retardo en la conexión tan pequeño como sea posible.
- Con una calidad de transporte que permita una interacción cómoda.

Contando con los siguientes elementos para conseguirlo:

- Arquitectura de la red - Plan de enrutamiento
- Topología de la red - Plan de transmisión
- Identificadores de red - Plan de numeración
- Sincronía de red - Plan de sincronización

En 1995 una nueva opción para interconectar las redes de área local es el protocolo llamado FRAME RELAY el cual fue diseñado a raíz de que los usuarios de datos buscaban un medio para lograr la interconexión de sus LAN'S obteniendo una combinación de ahorro en costos, fácil administración y buen nivel de rendimiento. FRAME RELAY da solución a estas necesidades ya que en costos se logra un ahorro del 30% , en lo que se refiere a su topología brinda el rendimiento y redundancia de una red mallada, que de otra manera algunos usuarios no podrían alcanzar, evitando a los usuarios construir y administrar complejas redes en malla.

FRAME RELAY es una nueva forma de conmutación " modo paquete " para redes de área amplia (WAN) que engloba cuatro importantes características:

1. Alta velocidad.
2. Bajo retardo.
3. Compartición de puertos.
4. Compartición de ancho de banda.

FRAME RELAY es una tecnología adecuada para interconexión de datos vía satélite ya que aumenta la eficiencia del canal, minimizando " Tiempos muertos " por retransmisiones, es una tecnología natural para interconexión de redes LAN por líneas de alta calidad y es compatible con las redes públicas de conmutación de paquetes de datos.

El otro protocolo de comunicaciones de actualidad es el llamado ATM ( modo de transferencia asincrónica), el cual es una técnica de conmutación de paquetes de alta velocidad, que utiliza paquetes de longitud fija denominados células.

Este combina las ventajas de conmutación de circuitos, alto rendimiento, bajo retardo y transparencia a la información. En lo que se refiere a la conmutación de paquetes hace uso eficiente del ancho de banda ya que proporciona un ancho de banda sobre demanda para cumplir los requerimientos de cualquier aplicación del usuario.

Soporta una arquitectura MULTISERVICIO que permite a muchos usuarios compartir en formas simultánea la red, en un amplio rango de servicios actuales y futuros.

Los servicios para usuarios de redes ATM son:

TRANSPORTE DE VOZ  
TRANSPORTE DE VIDEO  
TRANSPORTE DE DATOS ORIENTADOS A CONEXION  
TRANSPORTE DE DATOS ORIENTADOS A NO CONEXION  
EMULACION DE CIRCUITO PRIVADO  
TRANSPORTE DE TRAMAS FRAME RELAY  
TRANSPORTE DE CELULAS ATM  
SEÑALIZACION  
LAN ATM  
SERVICIO CBR (CONSTANT BITE RATE)

PROPORCIONA UN CIRCUITO VIRTUAL CON UN ANCHO DE BANDA FIJO  
ADECUADO PARA APLICACIONES QUE REQUIEREN UN ANCHO DE BANDA CONSTANTE Y  
QUE SON SENSIBLES AL RETARDO ( COMO EL DE VOZ Y DE VIDEO EN TIEMPO REAL).

SERVICIO VBR ( VARIABLE BIT RATE)

ADECUADO PARA TRAFICO TIPO RAFAGA COMO EL DE LAN'S  
LAS APLICACIONES PUEDEN EVITAR ALTAS VELOCIDADES POR PEQUEÑOS PERIODOS DE  
TIEMPO, TAL QUE NO EXCEDAN UN PROMEDIO ESPECIFICADO

SERVICIO UBR ( UNSPECIEFIED BIT RATE)

UTILIZA SOLO ANCHO DE BANDA DISPONIBLE POR LO QUE NO SE GARANTIZA CUANDO O SI  
LOS DATOS ARRIBARAN A SU DESTINO.

## ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

ADECUADO PARA APLICACIONES NO EN TIEMPO REAL POR EJEMPLO CORREO ELECTRONICO.

SERVICIO ABR (AVAILABLE BIT RATE)

UTILIZA SOLO ANCHO DE BANDA DISPONIBLE, PROPORCIONANDO AL MENOS UN MINIMO PARA MANTENER LAS APLICACIONES FUNCIONANDO

ADECUADO PARA APLICACIONES DE DATOS NO EN TIEMPO REAL, EN LAS CUALES LOS DATOS NO SON EXTREMADAMENTE SENSIBLES AL RETARDO POR EJEMPLO TRANSFERENCIA DE ARCHIVOS.

La tecnología ATM en enlaces vía satélite brinda como beneficios:

1. Mejor aprovechamiento del ancho de banda disponible
2. integra eficientemente varios tipos de tráfico (voz, datos, video) en un solo enlace
3. conexión directa con redes públicas o privadas de banda ancha

Las limitaciones que le presentaria serían:

1. En enlaces de muy baja velocidad el "overhead" de trama ATM puede impactar en la eficiencia del uso del canal de transmisión.
2. El retardo inherente a los sistemas satelitales puede afectar a los servicios de voz y video (tráfico CVR).
3. requiere enlaces satelitales de muy alta calidad (BER MAYOR A  $10E-9$ ).

HACIENDO UNA COMPARACION DE ATM Y FRAME RELAY TENEMOS QUE :

FRAME RELAY	ATM
TECNOLOGIA PARA DATOS	TECNOLOGIA PARA MULTIMEDIA
UNA INTERFAZ DE ACCESO	UN METODO DE CONMUTACION Y MULTICANALIZACION
TEORICAMENTE VELOCIDADES DE HASTA 45 Mbps	VELOCIDADES ARRIBA DE 45 Mbps
SOLUCION EN SOFTWARE	SOLUCION EN HARDWARE
COMPATIBLE CON ATM	COMPATIBLE CON FRAME RELAY

Concluyendo.

- FRAME RELAY ESTA DISPONIBLE HOY EN DIA
- ATM YA ESTA DISPONIBLE EN LA RED PRIVADA, PRONTO EN LA RED PUBLICA COMO UN SERVICIO
- LAS DOS TECNOLOGIAS SON COMPATIBLES ENTRE SI
- AMBAS TECNOLOGIAS JUGARAN UN ROL IMPORTANTE EN EL FUTURO

#### SERVICIOS REQUERIDOS.

##### 1. SISTEMAS DE AUTOMATIZACION.

Transacción especializada

Sesión interactiva

Transferencia de archivos

##### 2. AUTOMATIZACION DE TRABAJO.

Transferencia de documentos

Servicio de archivos

Gráficos y CAD/CAM

##### 3. ENTRETENIMIENTO:

Video Juegos

Musica

Video en demanda

Media conferencia

## **1.10 APLICACIONES DE LAS TELECOMUNICACIONES EN MEXICO Y PROYECTOS DE LA EMPRESA PARA LA CUAL SE REALIZO EL CALCULO DEL ENLACE.**

En México varias empresas tanto para - estatales como del sector privado hacen hoy en día uso de los sistemas de comunicación via satélite aprovechando la adquisición de los satélites Morelos y Solidaridad , ya sea para comunicarse entre ellas mismas como para hacer todo tipo de transacciones a nivel mundial. Uno de estos casos son las instituciones bancarias que tienen enlaces con la mayoría de los países para realizar todo tipo de movimientos como lo son depósitos, transferencias, consultas, pagos, etc. teniendo como ejemplos a Bancomer, Banomex, Inverlat, Bancrecer, El sistema American Express y otros tantos. Las televisoras hacen uso internacional de los satélites, también en este caso las más fuertes como Televisa y Televisión Azteca tienen alcance internacional, ya que sus programas son vistos en muchos países del mundo. Recientemente la empresa TELEvisa realizó un convenio con la empresa PANAMSAT en la cual Televisa maneja el 50% de las acciones en el uso del satélite PANAMSAT 3, con este ya son dos satélites que manejan las dos empresas logrando la cobertura de dos de los océanos del mundo dando así servicio a diversos sistemas de distribución de información en todo el mundo o más de 300 clientes haciendo uso de un sistema de multicanales digitales. Agencias de viajes tienen contacto con todo el mundo a través de la empresa de TELMEX (teléfonos de México), cuya infraestructura es tremendamente poderosa pues esta usa equipo realizado con tecnología de punta la cual compete con la de cualquier país industrializado.

2 empresas para - estatales PEMEX y C.F.E. (Comisión Federal de Electricidad) cuentan con su propia red de comunicaciones via satélite ya que cuentan con estaciones terrenas propias en todo el país.

Claro que siempre hoy otros tipos de necesidades por los cuales usar un sistema de comunicación via satélite como lo sería la comunicación de cada persona este donde este ya sea en su casa, en la oficina, en su auto, o a pie.

Pero si no se cuenta con una celda telefónica o un local donde se encuentre un aparato, solo queda la alternativa de un teléfono celular el cual en nuestros días es bastante demandado y por lo cual existen varias compañías que los fabrican y rentan el servicio teniendo el caso de IUSACEL , TELCEL , RADIOCEL , ETC.

A nivel mundial se usa el sistema via satélite en los hospitales para las aplicaciones de teleconferencias, así como la consulta de bases de datos para conocer de la existencia de medicinas, especialistas, metodología, etc. que se requieran para cierto tipo de emergencias o tratamientos normales.

Las instituciones que se dedican a los estudios meteorológicos, geográficos, estadísticas, etc. hacen uso del satélite para obtener todo tipo de registros y datos que sin un observador còeleste serían imposibles de obtener.

Podemos mencionar a los grupos de rescate los cuales por medio de la detección de señales del satélite pueden localizar fácilmente accidentes de navegación y aviación tanto en selvas, marañas, mares, ríos, zonas glaciares y desiertos, lugares que normalmente suelen ser inaccesibles son registrados y graticados por el satélite mostrando así la ruta de acceso más adecuada para el contacto con los accidentados.

Es sencillo notar que los sistemas de comunicación via satélite son una gran herramienta en nuestra sociedad, la gama de aplicaciones es interminable, pues cada nueva actividad del ser humano ya sea en la tierra o en el espacio siempre ha estado respaldada por avanzados sistemas de comunicación y con la que respecta a la época actual estos sistemas seguirán teniendo una creciente demanda así como se pudo observar con el fenómeno de la computación la cual encuentra aplicaciones en todo rincón del planeta y cuyo desarrollo parece no tener fin, asimismo los sistemas satelitales aunados a la computación son una de las herramientas más poderosas con las que cuenta la humanidad para lograr su desarrollo y las cuales probablemente den pie al desarrollo de nuevas tecnologías.

Para finalizar mencionaremos como se utiliza el sistema via satélite en la empresa con la que estamos tratando para darnos cuenta de todas las aplicaciones que se dan y por que esta es la opción más adecuada.

En 1992, la gerencia de Informática y Telecomunicaciones de la empresa decidió adquirir y establecer la red satelital, para servicios privados.

La decisión se tomó con base a la estrategia de desarrollo de las telecomunicaciones aprobada por las autoridades.

A la fecha esta red está en implementación, y consiste de 31 estaciones terrenas en su primera fase.

La red suministrará servicios a todas las áreas de la empresa, esto es, se trata de un sistema corporativo en una fase inicial.

Especialmente se atenderán usuarios de sus Oficinas Centrales, de la Subdirección de Distribución, de la Subdirección de Generación, y de la Subdirección de Transmisión, Transformación y Control.

La topología de la red será de tipo árbol, y suministrará servicios de voz y datos a los abonados, por medio del satélite Morelos II, de Telecomm.

Las capacidades de transmisión de la red serán de 64, 128 y 256 Kbs cumpliendo con las siguientes características:

- Medio de telecomunicación primario para localidades geográficamente alejadas.
- Medio secundario de telecomunicaciones para áreas e instalaciones que, aún contando con facilidades terrestres, dispondrán de este medio opcional.
- Será medio principal para posiciones aisladas de importancia, como son algunas cabeceras divisionales, centrales de generación y zonas de distribución.
- Habilitará este medio de telecomunicaciones, el cierre de determinadas mallas en redes existentes.

Como otro proyecto de telecomunicaciones se tiene contemplado el de la Gerencia de Protecciones, Comunicaciones y Control, en esta área en donde se operan y mantienen una gran cantidad de telecomunicaciones para las instalaciones de la empresa en sus fases de generación, transmisión y transformación.

Destacan en sus proyectos la aplicación de sistemas opslat, fibra óptica y determinados enlaces digitales de alcance corto y mediano.

A la fecha se tiene el planteamiento de enlaces para la conectividad de abonados urbanos con las estaciones terrenas vía satélite.

Asimismo se tiene en análisis la conectividad necesaria para voz y datos, especialmente del programa de emergencia radiológico externo. Los sitios involucrados son las oficinas de Veracruz, Dos Bocas y el Farallón. En ellos se tiene importantes aplicaciones tanto normales como de tipo emergente.

Se manifiestan dentro de otras áreas aquellas que tienen una variedad de requerimientos como son telemedición sísmológica, conmutación de instalaciones y otras aplicaciones que conllevan al uso de dispositivos y medios de telecomunicaciones.

De esta manera notamos que a nivel empresa la premisa del uso de un sistema vía satélite radica en la interconexión de puntos alejados, entre los cuales habrá un tráfico de información importante la cual necesita de un medio de transmisión que la garantice en un porcentaje de un 99% para arriba de confiabilidad la llegada de su información de un punto a otro.

Como podemos ver, el uso y mantenimiento de una red satelital debe estar respaldada por todo tipo de información con la cual se pueda contar para dar solución a cualquier tipo de contratiempo que se pueda presentar, es por eso que el tema principal de este trabajo que es el cálculo de la calidad del enlace de comunicaciones vía satélite muestra los datos de funcionamiento óptimo de uno de los enlaces (cuya metodología es la misma para calcular la calidad de todos los demás), datos con los cuales podemos localizar el origen en las fallas de la transmisión y recepción de información en el momento en que falle alguna parte del sistema.

En los siguientes capítulos se presentan los fundamentos teóricos que se requiere conocer para comprender los cálculos realizados en el capítulo 3 con los cuales se determina la calidad del enlace con que se cuenta y este material servirá posteriormente para consulta de parámetros comparativos de diseño y de operación real del sistema y así tener un conocimiento en detalle del funcionamiento de toda la red a nivel equipo satelital.

CAPITULO 2

FUNDAMENTOS

TEORICOS

## CAPITULO 2

### FUNDAMENTOS TEORICOS.

#### INTRODUCCION.

El diseño de un sistema de comunicaciones satelital es un proceso complejo, involucra el compromiso de muchos factores, para obtener el máximo desempeño, con un costo aceptable.

En general, es más fácil y más barato el uso de frecuencias bajas. Sin embargo, el ancho de banda es limitado y la interferencia es más probable, ya que estas frecuencias (6/4 Gz), son usadas frecuentemente en sistemas terrestres.

La banda de frecuencias de 6/4 GHz, fue la de mayor uso en los primeros 15 años en los sistemas de comunicaciones satelitales; esto es debido a que ofrece bajos problemas en la propagación de las señales.

Un sistema de comunicaciones debe de estar diseñado para conocer con acierto el mínimo desempeño estándar, con limitaciones en la potencia transmitida y el ancho de banda de RF. La función más importante es la relación señal a ruido (S/N), en el canal de información.

La relación señal a ruido en un canal de banda base depende de un número de factores, tales como: la relación portadora a ruido (C/N) de la RF o la señal IF en el receptor, el tipo de modulación usada para montar la señal en banda base sobre la portadora, y la IF y el ancho de banda base en el receptor; son los más importantes por lo que hay que saber calcular la potencia recibida de la portadora en cada estación receptora y también la potencia del ruido en el receptor, para establecer la relación portadora a ruido C/N.

El cálculo de la calidad de un enlace de comunicaciones via satélite es una actividad que se realiza en la etapa de diseño del sistema, en la cual se realizan operaciones utilizando los diversos parámetros que caracterizan al equipo tanto de recepción como de transmisión, así como los valores propios de los servicios que se prestarán con la red ( características de las señales que se transmitirán ), esto ayuda a la comparación de valores teóricos realizados antes de la puesta en operación de los sistemas con los valores obtenidos en las pruebas de operación posteriores a la instalación de los equipos.

En este capítulo se presentan los fundamentos teóricos que se requieren conocer para desarrollar este tipo de cálculos, los cuales serán desarrollados en el capítulo tres para un enlace real.

## 2.1 PROGRAMACION DE LAS SEÑALES Y DE LAS COMUNICACIONES DIGITALES POR SATELITE.

Como se mencionó anteriormente, los satélites de comunicaciones, en una órbita geostacionaria se encuentran aproximadamente a 36,000 Km sobre el nivel del mar, luego entonces, la señal tiene que viajar esa distancia, reflejándose con un retardo en el tiempo de propagación de la señal, lo cual constituye una desventaja. El tiempo de propagación de la señal es aproximadamente de 270 ms, de una estación terrena a otra.

En un enlace telefónico via satélite, el suscriptor espera la respuesta de su correspondiente un tiempo extra de 540 ms, lo cual no sucede en una comunicación terrestre.

El retardo puede tener serios efectos en la transmisión de datos via satélite. Por ejemplo, en un sistema interactivo de transmisión de datos, el usuario terminal experimenta un incremento en el tiempo de respuesta. Esto es porque los protocolos y mecanismos empleados han sido diseñados para operar con enlaces terrestres que tienen tiempos de retardo de propagación muy pequeños. Los sistemas que operan con protocolos "Polling" tendrán este problema.

En conclusión, se puede decir que los satélites son eficientes para transmisión de datos, si los protocolos (como X.25) usados por el usuario son los adecuados.

Por otra parte, la comunicación digital presenta numerosas ventajas tales como:

- Lo fácil y eficiente multiplexión de numerosas señales o el mejor manejo de paquetes para su correcta conmutación.
- La relativa insensibilidad de los circuitos digitales a la retransmisión de ruido.
- Facilidad para lograr tasas de error bajas.
- Una alta fidelidad de información mediante técnicas de detección y corrección de errores.
- Para un enlace satelital de transmisión de datos, una tasa típica de bits en error (BER) es de  $10^{-7}$  (en enlaces terrestres es de  $10^{-5}$ ). En una transmisión de datos, los bits en error aparecen comúnmente en forma aleatoria, mientras que en circuitos terrestres, a menudo se presentan en ráfagas, siendo más difícil su detección y corrección.

## 2.2 ASPECTOS RELACIONADOS CON EL TRATAMIENTO DE LAS SEÑALES DIGITALES.

### **TRANSMISION DIGITAL.**

La modulación digital, obviamente es escogida para transmisiones de señales satelitales que se originan en forma digital y que son usadas por equipos digitales. Ejemplos familiares son la transmisión de datos entre computadoras y terminales entre otras. Señales analógicas, tales como canales telefónicos y de televisión, pueden ser puestos en forma digital, transmitidos y después regresarlos a su forma analógica. Este proceso puede ser costoso en términos de ancho de banda pero usualmente ofrece una mejora en el desempeño del ruido y aumento la inmunidad o la interferencia. La transmisión digital se presenta naturalmente en la multiplexión por división de tiempo (TDM). Las señales analógicas que son transmitidos digitalmente pueden compartir canales, con los datos digitales.

Una señal digital en banda base, se puede representar como una transmisión serial de unos y ceros lógicos. En computación un cero lógico puede ser representado por un valor bajo de voltaje normalmente cero y un uno lógico por un valor alto de voltaje normalmente 5v. este arreglo es inconveniente para transmitirse sobre una gran distancia, por lo tanto no es usado. Para evitar este problema la modulación digital usualmente acepta el formato NRZ (no retorno a cero)

Por razones históricas la modulación digital en fase es llamada PSK (Phase Shift Keying) Una modulación de N fases PSK, pone la fase de una portadora en uno de los N estados, de acuerdo al valor de un voltaje modulado. Dos estados o bi- fase PSK es usualmente llamada BPSK y 4 estados es llamado QPSK. Otro número de estados y algunas combinaciones de modulación en amplitud y fase son posibles, y son empleados en enlaces terrestres. Una razón importante del uso de la modulación en fase, es el alto valor del C/N requerido, para un aceptable BER (Bit Error Rate).

El tiempo de transición, más el tiempo empleado en una fase deseada, constituye un intervalo de tiempo fijo llamado periodo de un símbolo, la forma de onda transmitida durante el intervalo es llamado un símbolo. El grupo de todos los símbolos para un tipo de modulación particular es llamado su alfabeto. Luego entonces, la modulación BPSK tiene un alfabeto de dos símbolos y QPSK un alfabeto de cuatro símbolos.

Además, la figura de mérito para un enlace digital de radio es su BER. Matemáticamente esto es la probabilidad de que un BIT enviado sobre un enlace se reciba incorrectamente; es decir, que un uno se reciba como un cero o viceversa. El BER es un indicador de la calidad de un sistema digital de comunicaciones, así como la relación señal a ruido (S/N) lo es para un enlace analógico.

**BPSK (Binary Phase Shift Keying).**

En la figura 2.2.1 se ilustra la modulación BPSK de una portadora de RF, tanto en su forma vectorial, como en su representación analógica.

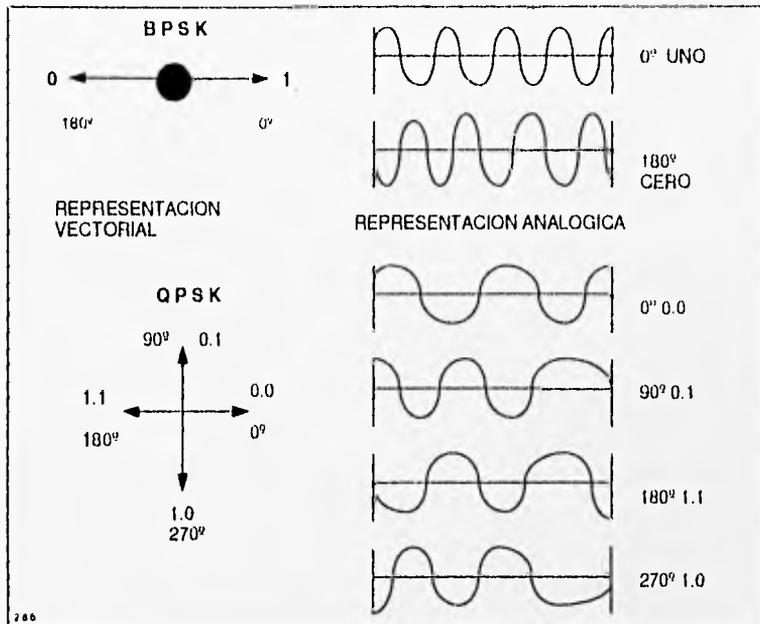


FIGURA 2.2.1 MODULACION BPSK Y QPSK.

En un sistema de comunicaciones de radio frecuencia que transmite datos digitales, un parámetro de la onda de RF debe ser variada; es decir, modulada para llevar la información en banda base. La selección más popular de modulación para un sistema de comunicaciones digital vía satélite es la PSK, la cual se describe más adelante. La transmisión pasa bandas (o de radio frecuencia) de datos digitales, difiere de la transmisión en banda base solo porque se requiere la modulación de una onda de RF. La onda de RF modulada es demodulada en el receptor para recobrar el flujo de datos en banda base.

#### ACCESO MÚLTIPLE.

El acceso múltiple, es la habilidad de que un gran número de estaciones terrenas, se interconecten simultáneamente, hablando de sus respectivos enlaces de voz, datos, televisión, etc., a través del satélite.

Los satélites usualmente dividen toda la banda disponible en frecuencia en varias sub-bandas (transpondedores), los cuales son amplificadas independientemente. El acceso al transponder puede ser limitado por una sola estación terrena a la vez o muchas portadoras de RF pueden ser permitidas simultáneamente. En un satélite ambas condiciones pueden ser encontradas, es decir, en un transpondedor solo puede llevar una simple portadora (como un canal de TV o una troncal telefónica) y otros manejan multiportadoras (como canales de datos para terminales).

En el transpondedor del satélite, el espectro de frecuencias de RF entrante es trasladado a frecuencias descendentes. Cada portadora puede ser independientemente modulada, ya sea analógicamente o digitalmente. El sistema FDMA representa la forma más simple de acceso múltiple y en el mercado de las comunicaciones, la tecnología del sistema requerido y el hardware se hayan fácilmente.

Cada portadora ascendente puede originarse por separado en una estación terrena o varias portadoras pueden ser transmitidas por una estación en particular. La selección en la banda de frecuencia puede ser fija o asignada. En la operación de frecuencias fijas, cada portadora es asignada a una banda de frecuencia dedicada en el enlace ascendente y ninguna otra portadora utiliza esa frecuencia. En el acceso múltiple por demanda DAMA, las bandas de frecuencia son compartidas por varias portadoras, con una banda en particular asignada en el tiempo necesario, dependiendo de la disponibilidad. El sistema DAMA puede servir para un gran número de portadoras, si el tiempo de uso de cada una es relativamente corto.

El espectro individual de las portadoras de RF en un sistema, deben de estar lo suficientemente separados una de otra, para que ambas puedan ser filtradas en la estación del enlace descendente y así prevenir las interferencias entre las portadoras (es decir que frecuencias del espectro de una portadora caen en la banda de otra portadora).

Sin embargo, una excesiva separación causa un consumo inútil del ancho de banda del satélite. Para determinar el espacio apropiado entre portadoras de FDMA, la potencia de la interferencia debe de ser calculada. Por ejemplo, para una portadora (SCPC) de 64,000 bps, se necesita un ancho de banda de 200 KHz y para una portadora de 128,000 bps, se necesita un ancho de banda de 400 KHz.

La capacidad de una portadora esta determinada por el ancho de banda disponible y la relación portadora a ruido (C/N)<sub>i</sub>, disponible a la entrada del demodulador de la estación receptora. Se asume que el ancho de banda disponible es fijo y se muestra a continuación, como el (C/N)<sub>i</sub> es influenciado por el acceso múltiple. La relación (C/N)<sub>i</sub> total de un cable satelital esta dada por

$$\left(\frac{C}{N}\right)_i = \frac{1}{\left(\frac{C}{N}\right)_u + \left(\frac{C}{N}\right)_d + \left(\frac{C}{N}\right)_i} \quad (2.2.1)$$

Donde (C/N)<sub>u</sub>, (C/N)<sub>d</sub>, (C/N)<sub>i</sub> son numéricos (no en decibelas) y son la relación portadora a ruido del enlace ascendente, del enlace descendente y del proceso de intermodulación. El valor de (C/N)<sub>u</sub> en decibelas esta dado por:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_u = F_s + \left(\frac{G}{T}\right)_s - 10 \log \left(4 \left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^2\right) - 10 \log k - 10 \log (B_{\Pi}) - BO_i \quad (2.2.2)$$

Donde F<sub>s</sub> es la densidad de flujo de saturación que una estación terreno puede transmitir al satélite en dBw/m<sup>2</sup>, medido en el centro del rayo. La expresión BO<sub>i</sub> es el "back off" de entrada, en dB; que es, la diferencia en dB entre la densidad de flujo de saturación de una simple portadora ascendente, que el transmisor de la estación terreno puede conseguir en el satélite y la densidad de flujo de multiporadoras, que estén actualmente en uso.

En otras palabras, la densidad de flujo en el satélite esta dada por:

$$F = (\text{dBw} / \text{m}^2) = F_i (\text{dBw} / \text{m}^2) - \text{BO}_i (\text{dB}) \quad (2.2.3)$$

Subsecuentemente mostraremos como el valor de  $\text{BO}_i$  es seleccionada para maximizar  $(C/N)_i$

El amplificador TWT produce una potencia de salida maxima, la cual es llamada punto de saturación, pero en saturación el TWT esta operando en la región no lineal, es decir la potencia de salida no es linealmente proporcional a la potencia de entrada. De este modo, los componentes de frecuencia aparecen a la salida del TWT no como estaban a la entrada. La operación en la no linealidad induce a la creación de productos de intermodulación (IM) y distorsión de intermodulación. Esto es particularmente serio cuando dos o más portadoras están presentes; ya que los productos de IM hacen que se traslape el espectro de las portadoras moduladas originalmente entrantes. El único camino para reducir la distorsión de IM en un TWT dado, es teniendo niveles bajos en la señal de entrada; de modo que, el tubo pueda operar a su máximo de operabilidad en la región lineal.

La no linealidad del TWT es diferente para múltiples portadoras, que para una simple portadora; ya que la potencia de salida debe ser dividida entre todas las portadoras de salida. Pero el remedio de la IM es aún el mismo, la potencia de entrada debe ser reducida. Para una portadora dada, la diferencia en decibelios entre el nivel de potencia entrante de la portadora sencilla en saturación y el nivel de potencia entrante para una portadora en particular en operación multiportadora FDMA es el "back off" de entrada  $\text{BO}_i$ .

A causa de que TWT es no lineal, la reducción de la potencia de entrada cerca de  $\text{BO}_i$ , causa una reducción en la potencia de salida, la cual es más chica que  $\text{BO}_i$ . Esto es llamado el "back off" de salida  $\text{BO}_o$ , el cual influye en el  $(C/N)_i$  total, através de la influencia del  $(C/N)_o$ .

El término  $(C/N)_i$ , esta incluido en la ecuación 2.2.1, para incorporar el efecto de la distorsión de IM en la relación portadora a ruido total del enlace.

### 2.3 EVALUACION DEL FENOMENO DE PROPAGACION.

En este tema se mencionaran los aspectos que se toman en cuenta al hacer un diseño de enlaces via satélite en lo que se refiere a la propagación a través de las diferentes capas atmosféricas. Estos parametros se concentran en tablas para posteriormente consultarlas ya que estos cálculos se hacen para cada región en especial y se suelen mantener constantes. Estos datos son los que se utilizan en el desarrollo del cálculo del enlace.

Un modelo general que representa un sistema de comunicaciones via satélite se ilustra en la figura 2.3.1. La señal se genera por un usuario y entra al sistema terrestre. En algunos sistemas, el sistema terrestre es simplemente un sistema dedicado a la estación terrena mientras que en otros casos es una red telefónica de conmutación. En la estación terrena se procesa la señal de banda base y se transmite a una frecuencia de radiofrecuencia (RF) al satélite donde se procesa y se retransmite a la estación terrena receptora. La estación terrena procesa la señal hasta la señal de banda base la cual se envía al usuario a través de la red terrestre, la figura 2.3.2. muestra un diagrama simplificado de la estación terrena.

El primer modelo del sistema de comunicación de interés es el modelo FI a FI mostrada en la figura 2.3.3. Este modelo considera que existe un solo haz desde la antena del satélite, el cual ilumina todas las estaciones terrenas del sistema.

El estudio del fenómeno de propagación contempla el estudio de ciertas características de interés, como lo son :

1. La técnica de acceso múltiple.
2. La potencia de la estación terrena y la ganancia de la antena.
3. El ruido y la interferencia.
4. El canal de subida.
5. La ganancia de la antena receptora del satélite.

- 6 El receptor del satélite
- 7 El transpondedor del satélite
- 8 La potencia del satélite y la ganancia de la antena
- 9 El canal de bajada
- 10 La estación terrena y el receptor

El canal de bajada se muestra en la figura 2.3.4. La potencia de recepción en la estación terrena será

$$P_b = EIRP_{sat} \cdot L_b - L_e + G_t \quad (2.3.1)$$

Donde  $G_t$  es la ganancia de la estación terrena

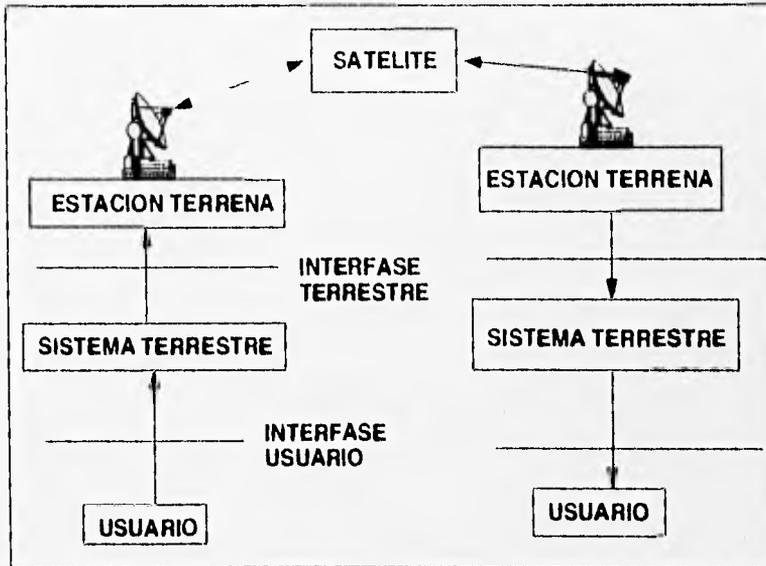


FIGURA 2.3.1. SISTEMA DE COMUNICACIONES POR SATELITE.

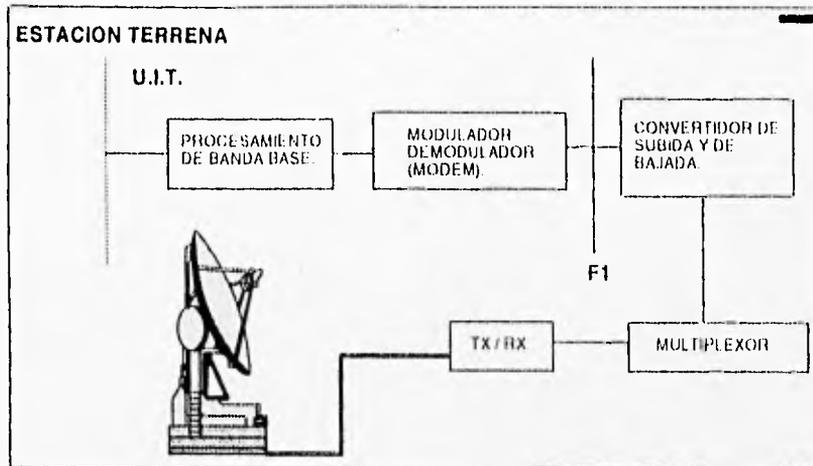


FIGURA 2.3.2. ESTACION TERRENA.

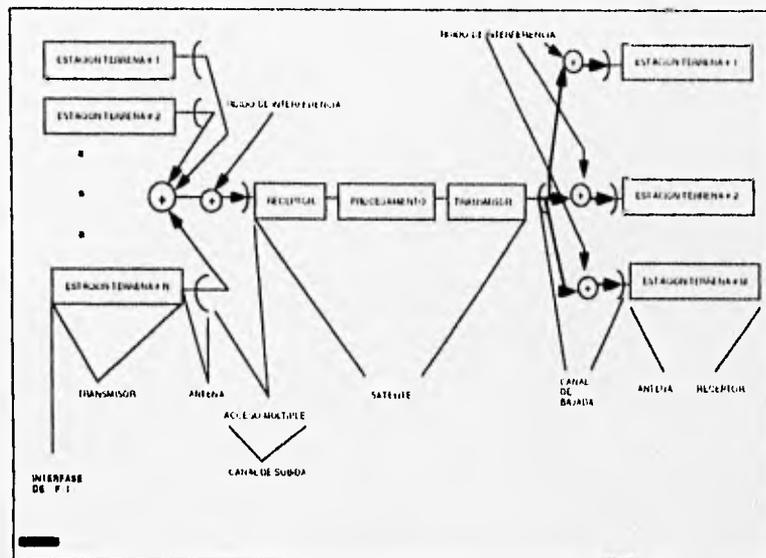


FIGURA 2.3.3 MODELO DE UN SISTEMA DE COMUNICACION (FI a FI).

Primero considerese la trayectoria de transmisión desde una estación terrena a otra vía satélite. El primer paso es obtener las atenuaciones de enlace. El modelo del enlace de subida se muestra en la figura 2.3.4. La densidad de flujo en el satélite está dada por:

$$P_s = \text{EIRP} - 10 \log(4\pi d^2) - \frac{W}{m} \quad (2.3.2)$$

Donde: EIRP es la potencia efectiva radiada isotrópicamente y es la potencia del transmisor tomando en cuenta la ganancia de la antena y las pérdidas en las líneas. (d) es la distancia de la trayectoria.

La potencia de la señal recibida en el satélite es:

$$P_s = \text{EIRP} - L_s - L_e + G_{ss} \quad (2.3.3)$$

Donde:  $L_s$  es la atenuación en el espacio libre,  $L_e$  otras atenuaciones y  $G_{ss}$  es la ganancia de la antena del satélite. La figura 2.3.5 muestra la relación entre el tamaño de la antena y su ganancia.

El EIRP de los satélites se ha incrementado con el tiempo, ya que tanto la potencia del transmisor como la ganancia de la antena han aumentado conforme los satélites generan más y más potencia y conforme tengan mayor facilidad para desplegar las antenas. La siguiente tabla muestra el incremento.

AÑO	SATELITE	EIRP ( watts )
1965	INTELSAT 1	14
1967	INTELSAT 2	36
1968	INTELSAT 3	200
1971	INTELSAT 4	6400
1974	ATS - 6	140000

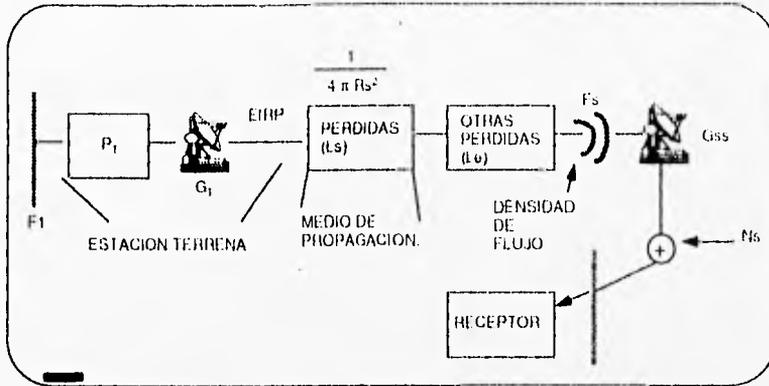


FIGURA 2.3.4. MODELO DE SUBIDA

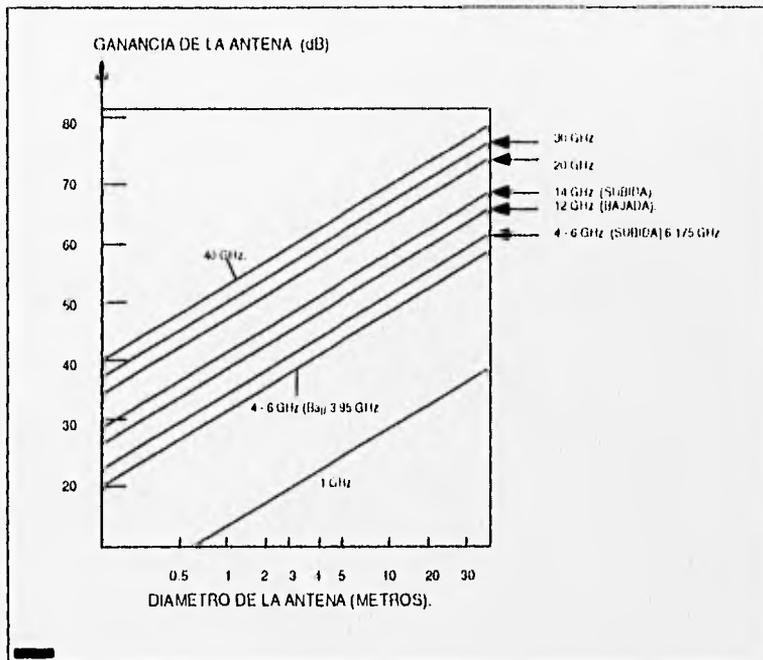


FIGURA 2.3.5. RELACION ENTRE EL TAMAÑO DE LA ANTENA Y SU GANANCIA.

En la figura 2.3.6 se muestra el diagrama del modelo de bajada

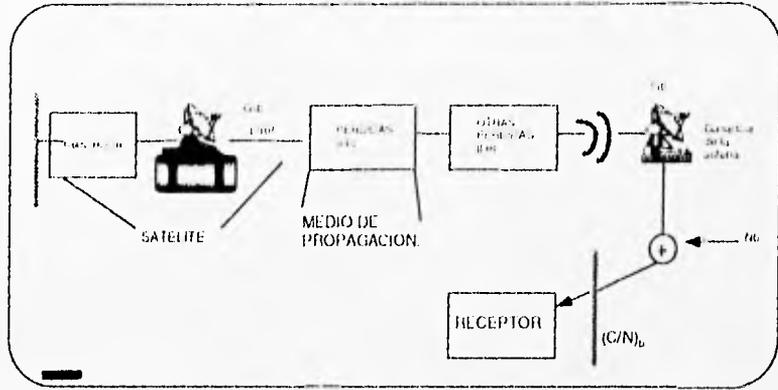


FIGURA 2.3.6 MODELO DE BAJADA

#### EFFECTOS DE RADIOPROPAGACION EN LOS ENLACES VIA SATELITE.

En la figura 2.3.7 se muestra un modelo en el que se citan los elementos que influyen en la propagación de las señales

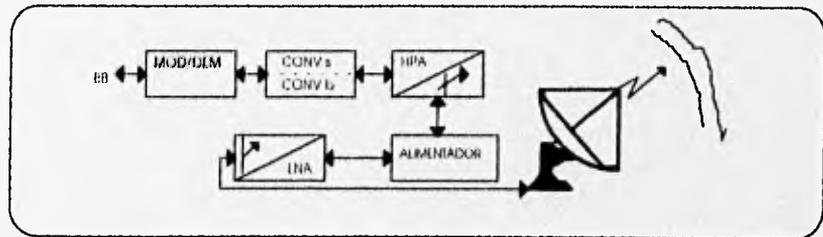


FIGURA 2.3.7 ELEMENTOS QUE INFLUYEN EN LA PROPAGACION DE LAS SEÑALES

$$(\xi) = (\xi)_1 + E.M.$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right)_T^{-1} = \left[\left(\frac{C}{N_0}\right)_U^{-1} + \left(\frac{C}{N_0}\right)_I^{-1} \left(\frac{C}{N_0}\right)_D^{-1}\right]$$

$$\left(\frac{C}{N_0}\right) = EIRP + \left(\frac{G}{T}\right) + 228.6 - L_s + F - L_c$$

Donde: (S/N) se da en dB, (C/N<sub>0</sub>) se da en dB - Hz<sup>-1</sup>.

$$EIRP = S + A_s - L_a \text{ dBW} \quad S = \text{Densidad de flujo.}$$

$$L_s = 20 \log (4 \pi R \lambda^{-1})$$

A<sub>s</sub> = Atenuación por dispersión

$$A_s = 10 \log (4 \pi R s^2)$$

F = Margen de desvanecimiento.

#### EFFECTOS DE RADIOPROPAGACIÓN EN LOS ENLACES VIA SATELITE.

##### ATMOSFERA.

##### ATMOSFERA ESTANDAR (U.S.A.). REFERENCIA INTERNACIONAL ATMOSFERICA (COSPAR).

La atmósfera es un medio físico que interactúa con un balance de energía tanto del tipo gravitacional, como térmico como magnético. El clima es la historia de la dinámica atmosférica terrestre, y los cambios geológicos a través de las centurias, con alta relación a la actividad solar y cósmica.

La actividad solar ocasiona algunas veces cambios dramáticos y disrupciones en la atmósfera superior, la radiación ionosferica solar y la rotación terrestre causan cambios de temperatura entre las latitudes altas y bajas asociándose las corrientes de aire. La conjunción con otros factores geofísicos hacen de la atmósfera un medio complejo y aleatorio en su comportamiento y composición.

El análisis de los eventos meteorológicos ayuda a determinar los efectos de la atmósfera en las ondas electromagnéticas.

La atmósfera puede reflejar y/o dispersar la onda electromagnética (OEM). También puede doblarla, cambiar su polarización o atenuarla. Reflexión, doblado y dispersión son causas por variación en el índice de refracción. La presencia de hidrometeoros durante los eventos meteorológicos puede absorber y/o dispersar la energía de las OEM dependiendo de su longitud.

Se manejan las siguientes ecuaciones para calcular pérdidas

**Referencia estándar.**

**Cálculo de pérdidas en el espacio libre.**

$$L_f = 20 \log_e(4\pi R^2 \lambda^{-2}) \quad (2.3.4)$$

**Pérdidas de Tx.**

$L_f$  = Pérdida de trayectoria.

$$L = L_f - G_p$$

$G_p$  = Ganancia de antena por trayectoria.

$L_s$  = Pérdida del sistema.

**Atenuación en trayectoria.**

$$A = L_f - L_p$$

Es una pérdida relativa con respecto al valor de las pérdidas por espacio libre.

**Propagación en la troposfera.**

El índice de refracción de la troposfera para las OEM está en función de la temperatura, presión y contenido de vapor de agua.

$$N = f(T, P, e) \quad (2.3.5)$$

Donde: T es la temperatura, P es la presión y e es el vapor de agua.

Smith y Weiraub encontraron la siguiente relación matemática, que expresa la refractividad atmosférica.

$$N = 77.6pT^{-1} + 3.73e(10^3T^{-2}) \quad (2.3.6)$$

o

$$N = 77.6T^{-1}(p + 4810eT^{-1}) \quad (2.3.7)$$

Nótese que existe una dependencia muy alta en  $e$  que es la presión del vapor de agua. La variación de la refractividad en la troposfera ocasiona un patrón de refractividad que influye sobre las OEM. Este patrón varía según el medio geográfico y con el tiempo. La medición de la refractividad se efectúa por medio de refractómetros, detectando diferenciales de la refractividad. En condiciones típicas cercanas a tierra se tiene:

$$SN = 0.27 SP - 1.3 ST + 4.5 Se \quad (2.3.8)$$

Ya que la temperatura varía con la altura, así también la refractividad en la troposfera, aproximadamente dada por:

$$N(h) = N_s (-h/h_0) \quad (2.3.9)$$

Donde:  $N_s$  es la refractividad de la superficie y  $h_0$  es la altura escalar.

El gradiente promedio de refractividad en el primer kilómetro de altura es dado por:

$$\Delta N = N(1) - N_s \quad (2.3.10)$$

Donde  $\Delta N$  es negativo por gran parte del tiempo.

CCIR define una atmósfera promedio como aquella donde  $N_s = 315$  y  $\Delta N = -40$

$$N(h) = 315 (-h/7.36) \quad (2.3.11)$$

Varios estudios han demostrado que

$$\Delta N = -A(BNs) \quad (2.3.12)$$

Donde:  $2.1 \cdot 10^{-9} < A < 9.3 \cdot 10^{-9}$  y  $0.0045 < B < 0.0094$  según el clima

La variación de la refractividad en la atmósfera ocasiona que las OEM no se propaguen en la línea recta, para un medio estratificado estericamente, la refractividad se puede expresar

$$\kappa = n(h) (h+a) \cos \alpha(h) \quad (2.3.13)$$

Donde  $(h)$  es el ángulo de doblez con respecto a la horizontal. Está demostrado que para un gradiente vertical en refractividad  $dn/dh$ , la onda se refracta hacia la región de mayor refractividad con un radio de curvatura

$$r^{-1} = -n^{-1} (dn/dh) \cos \alpha \quad (2.3.14)$$

Entonces:

$$\kappa = r_c r^{-1} = \left(1 + r \left(\frac{dn}{dh}\right) 10^{-6}\right)^{-1} \quad (2.3.15)$$

Cuando el gradiente de refractividad en los límites de dos masas de aire es suficientemente abrupto comparado con la longitud de onda, este puede causar reflexión parcial de la energía. La región Ducting es de menor importancia a frecuencias menores de 500 MHz, mientras que en la región de reflexión la es para frecuencias mayores a 1 GHz.

Cuando existen variaciones pequeñas en refractividad debido a cambios locales de humedad y/o temperatura, si estas variaciones son suficientes en intensidad, esto causará dispersión de energía, esto ocasionará centelleo de la OEM que pase por esta región.

El centelleo es causado por fluctuaciones en la refractividad producidas por pequeñas variaciones en el enfoque de la línea de vista del haz. Así la señal recibida es la suma de la gran cantidad de componentes que vibran de diferentes direcciones con cambios continuos en amplitud, de tal manera que la resultante tiene variaciones aleatorias tanto en amplitud y fase, ocasionando así descarrilamiento entre el medio y la antena.

Esta pérdida de acoplamiento decrece con el ángulo de elevación el cual aumenta con la frecuencia. Es difícil producir un desvanecimiento severo en los enlaces vía satélite que operan con ángulos superiores a  $10^\circ$  y frecuencias menores próximas a 10 GHz debido al centelleo troposférico. Estudios experimentales en centelleo troposférico indican que la desviación estándar de la potencia recibida como función del ángulo de elevación  $\alpha$  entre  $3^\circ$  y  $20^\circ$ , es

$$\sigma = 6.5 \alpha d^{-1.5} \quad (2.3.16)$$

#### Propagación Ionosférica.

La ionosfera es un medio ionizado en una región con altura entre 60 y 500 Km o más incluyendo la parte más baja de la termosfera. La región es ionizada por la radiación solar en el rango de frecuencias entre el ultravioleta y los rayos X. Este plasma contiene electrones libres e iones positivos haciéndola eléctricamente neutra, con una sola fracción con moléculas ionizadas.

Al propagarse la OEM en las regiones con mayor dinámica una fuerza proporcional a la intensidad del campo eléctrico se ejerce en las partículas cargadas. El movimiento resultante de las partículas cargadas genera una corriente y esta modifica ciertas características de la OEM. Las regiones de alta dinámica son la E que esta entre los 90 y 140 Km con una concentración aproximada de  $10^{16} \text{ e} / \text{cm}^3$ , en esta se encuentra una alta conductividad eléctrica induciendo efectos geomagnéticos muy apreciables. Las ondas en la banda HF (3-30 MHz) se reflejan en esta región, pudiéndose emplear para comunicaciones, la región F se subdivide en F1 y F2, F2 es altamente utilizable en comunicaciones

En comunicaciones via satélite, la confiabilidad del enlace puede verse limitada por absorción ionosférica, normalmente esto decrece al aumentar la frecuencia y puede ser ignorado a frecuencias superiores a 70 MHz en regiones ecuatoriales y templadas

El centelleo ionosférico de amplitud, fase, polarización y ángulo de arribo, puede limitar el enlace en frecuencias no mayores a 6 GHz especialmente en latitudes ecuatoriales y boreales.

#### Dispersión y Absorción por partículas y gases.

La dispersión de la OEM es un proceso de re-radiación de la energía de la OEM incidente. La re-radiación tiene un patrón muy amplio y por lo tanto cierta energía es radiada fuera del haz. La dispersión causa atenuación, en esto no se ve involucrado el proceso de conversión de la energía electromagnética a otra forma, mientras que el fenómeno de absorción se refiere a la dispersión o conversión de la energía electromagnética a energía térmica.

La dispersión y la absorción se llevan a cabo simultáneamente en general, pero una u otra suelen predominar. La combinación de estas dos dan como resultado una extinción.

$$\text{Extinción} = \text{Dispersión} + \text{Absorción.} \quad (2.3.17)$$

Este concepto se aplica a secciones transversales, coeficiente de atenuación, profundidad óptica, etc. así:

$$\alpha_{\text{ext}} = \alpha_d + \alpha_a \quad (2.3.18)$$

Donde  $\alpha$  es el coeficiente de atenuación. La integral del coeficiente de atenuación con respecto a la longitud se conoce como profundidad óptica, indicada como:

$$\tau_{\text{ext}} = \tau_d + \tau_a \quad (2.3.19)$$

Nótese que el coeficiente de atenuación es coeficiente de atenuación en potencia. La lluvia nieve y graniza pueden ocasionar una fuerte atenuación de las ondas milimétricas y ópticas, la lluvia puede causar problemas a frecuencias desde 1400 MHz, éstos problemas se intensifican a mayores frecuencias hasta 150 GHz al menos, transmisiones de ondas milimétricas a través de la lluvia se ven afectadas seriamente.

El coeficiente por atenuación de potencia de la lluvia está dado por:

$$\alpha = \int_0^{\infty} n(a, x, t) C_{ext}(a, \lambda) da \quad (2.3.20)$$

Donde  $a$  es el radio de la gota, la función  $n(a, x, t)$  es el número de gotas con un radio entre  $(a+da)$  en función del tiempo y distancia.  $C_{ext}$  es la función de extinción en la sección transversal tomando en cuenta absorción y dispersión,  $n_c$  es el índice de refracción de la gota. En la práctica se utiliza la distribución empírica de Laws and Parsons, dando buenos resultados. La determinación de la función  $C_{ext}$  en su caso general se basa en la teoría de dispersión por Mie.

En la figura 2.3.8 se muestra una gráfica con la absorción en la atmósfera causada por vapor de agua sin condensar. En la figura 2.3.9 se muestra la típica absorción debida a niebla, bruma y nubes.

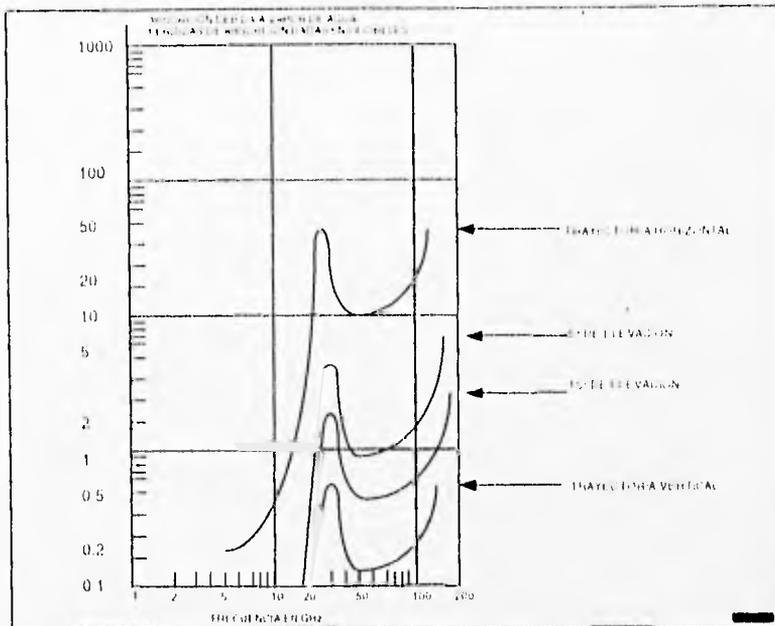


FIGURA 2.3.8 ABSORCIÓN EN LA ATMÓSFERA CAUSADA POR VAPOR DE AGUA SIN CONDENSAR.

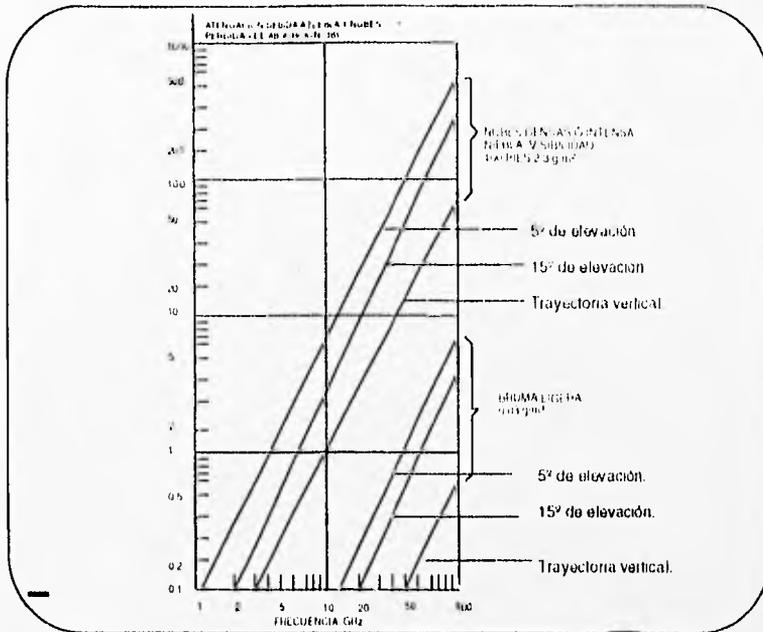


FIGURA 2.3.9 TÍPICA ABSORCIÓN DEBIDA A NIEBLA, BRUMA Y NUBES.

Para longitudes de onda mayores al radio de las gotas (banda SHF), la atenuación por absorción es predominante para longitudes de onda menores al radio de las gotas (banda EHF) la dispersión es predominante en la atenuación.

En las telecomunicaciones vía satélite, el grado de confiabilidad en los enlaces se ve afectado primordialmente por las condiciones meteorológicas y climáticas en períodos de tiempo mayor.

Por lo que es necesario contar con métodos de predicción para determinar la confiabilidad en los enlaces, así como el margen de operación del sistema como un todo, por lo que el diseño de los enlaces en un medio adverso es primordial.

La atenuación es el resultado de la dispersión y/o absorción de energía por los hidrometeoros, dependiendo del estado físico de ellos, número, tamaño, distribución de orientación, propiedades dieléctricas y distribución espacial. Para la determinación de la ocurrencia probabilística de esta atenuación, las propiedades mencionadas deben ser consideradas estadísticamente.

Desde el punto de vista físico, el medio atmosférico es un lugar donde se llevan a cabo fenómenos físicos donde variables como la temperatura, la presión, la altura, la concentración de la humedad, la energía interna, la entalpía y la entropía, conforman el medio, y los eventos son el resultado de la dinámica terrestre. Por lo tanto, las características de los hidrometeoros son influenciadas por las variables antes mencionadas. En el estudio estadístico de los eventos meteorológicos, estas variables deben considerarse para posteriormente poder conformar un modelo específico.

Otro fenómeno a considerar en el estudio estadístico es la Depolarización que es inducida por la presencia de hidrometeoros como gotas de lluvia y cristales de hielo causando trayectorias múltiples de las OEM. Este efecto es de importancia a frecuencias mayores a 6 GHz. La evaluación de extinción y de polarización requiere entonces de un modelo predictivo, que nos dará los márgenes de atenuación por precipitación y Depolarización para la presencia de los hidrometeoros.

Actualmente existen diferentes técnicas de predicción para determinadas condiciones de operación e hidrometeorológicas. Entre los modelos más confluables están el modelo de Rice - Homberg, Dutton - Daugherty, S.H. Lin, Modelo Global de R.K. Crane.

Cada modelo representa ciertos parámetros que los hacen distintos entre ellos, y dependiendo de las variables disponibles se puede seleccionar el que más se adapte a las circunstancias específicas de cada región o zona. Los tres primeros modelos mencionados, únicamente tienen como variable la intensidad de precipitación como factor representativo del medio atmosférico, sin embargo ésta variable está en función de las variables físicas del medio, por lo que deben ser consideradas en los modelos predictivos.

R.K. Crane desarrolla un modelo predictivo en terminos globales en su aplicación, que puede ser aplicado a cualquier región, considerando su medio geofísico. Este está influenciado por los eventos meteorológicos y éstos a su vez conforman el clima específico para esa región geográfica.

Las variables que se consideren en forma directa son

Intensidad de precipitación

- Altitud del lugar.
- Temperatura.
- Presión atmosférica.
- Altitud de la isoterma de 0°C.

Con la finalidad de obtener alta confiabilidad en el resultado predictivo, las estadísticas de temperatura, presión, intensidad de precipitación y altitud de isoterma, deberán ser al menos de 25 a 35 años de observaciones. La tabla siguiente muestra los diferentes márgenes de precipitación con diferentes grados de disponibilidad anual, en 7 regiones hidrometeorológicas del país.

Estos resultados se aplican únicamente para los enlaces en banda Ku, ya que para banda C, los efectos por precipitación son negligibles hasta para intensidades de 100 mm/h al 99.99% anual.

ZONA GEOGRAFICA	CONFIABILIDAD					
-----------------	---------------	--	--	--	--	--

	99.99%	99.98%	99.95% %	99.90%	99.80%	99.50%
NOR OCCIDENTE	TX 8	6.6	5.3	3.5	3	1.5
	RX 6	4.6	3.3	1.5	1	---
NORTE CENTRO	TX 5.4	4.5	2.5	1.3	1	---
	RX 3.4	2.5	0.5	---	---	---
GOLFO NORTE	TX 12.7	11	10	9.2	6.8	3.6
	RX 10.7	9	8	7.2	4.8	1.6
CENTRO	TX 11.6	10.2	8.2	6.3	4.2	2.2
	RX 9.6	8.2	6.2	4.3	2.2	0.2
PACIFICO CENTRO	TX 12.5	11.2	10.7	8.5	5.9	3.6
	RX 10.5	9.2	8.7	6.5	3.9	1.6
MISMO	TX 12.2	11.3	10.5	8.2	5.8	2.6
	RX 10.2	9.3	8.5	6.2	3.8	0.6
YUCATAN	TX 13.9	12.3	11.1	8.9	6	2.9
	RX 11.9	10.3	9.1	6.9	4	0.9

**Ventajas de frecuencias menores a 10 GHz.**

Menor absorción atmosférica.

Menor ruido.

Se tiene una tecnología bien desarrollada.

Menor atenuación.

**Desventajas de frecuencias menores a 10 GHz.**

Las bandas son compartidas con servicios terrestres.

Congestionamiento de la órbita.

**Ventajas de frecuencias mayores a 10 GHz.**

Menor interferencia

Se pueden compartir con servicios terrestres.

Facilidad en la órbita.

**Desventajas de frecuencias mayores a 10 GHz.**

Mayor atenuación.

Mayores efectos por lluvia y gases atmosféricos.

Finalmente se presenta una tabla donde se muestran las características de propagación y del sistema en las diferentes bandas, así como el tipo de servicio que se da en cada una de ellas.

BANDA	CARACTERISTICAS DE PROPAGACION	CARACTERISTICAS DEL SISTEMA	SERVICIO
VHF METRICA 30 MHz	<p>Covertura por propagacion terrestre algo mejor alla del horizonte</p> <p>Proteccion geografica necesaria para las interferencias.</p> <p>Algunas interferencias via ionosfera y las capas troposfericas.</p>	<p>Ganancia sigue ante de antenas simples.</p> <p>Varios MHz de ancho de banda disponibles / canal.</p> <p>Receptores moderadamente simples.</p>	<p>Difusion de TV y sonido</p> <p>Servicio fijo.</p> <p>Servicio movil terrestre.</p>
VHF DECIMETRICA 300 MHz	<p>Covertura menor al horizonte. Proteccion geografica mejor que en VHF.</p> <p>Modo troposferico en TX.</p> <p>Alguna interferencia via las capas troposfericas y Ducting.</p>	<p>Antenas con mayor ganancia que en VHF de tamaño igual.</p> <p>Muyor ancho de banda por canal.</p> <p>Receptores similares a los de VHF.</p>	<p>Igual que VHF.</p> <p>Radar.</p> <p>Radiodifusion.</p>
SHF CENTIMETRICA 3GHz	<p>Pérdidas por difracción limitan los sistemas.</p> <p>Lineas de vista o enlaces troposfericos.</p> <p>Dispersión y Reflexión por obstáculos.</p> <p>Interferencia via dispersión por precipitación y Ducting.</p> <p>Ateruación por lluvia de mediana importancia.</p>	<p>Alta ganancia con antena de corte parabólico.</p> <p>Cientos de MHz de ancho de banda disponible por canal.</p>	<p>Comunicaciones via satélite.</p> <p>Radar.</p> <p>Servicios fijos.</p> <p>Servicio móvil terrestre.</p>

EHF MILIMETRICA 30 GHz	Atenuación por lluvia de alta importancia	Generalmente compatible a SHF para enlaces con más pequeños.	Igual que SHF.
	Gases atmosféricos causan absorciones de mediana importancia.	Aún más ancho de banda por canal	Comunicaciones intersatélite COMSAT

#### ATENUACION POR LLUVIA.

La atenuación de las ondas de radio propagándose a través de la lluvia, es debida a la absorción y a la dispersión que sufren las ondas de radio, por las GOTAS DE LLUVIA. Esto es llamado atenuación por lluvia. La atenuación por lluvia, por unidad de largo de trayectoria, es llamado coeficiente de atenuación por lluvia ( $\gamma_R$ ), y está representada por:

$$\gamma_R = aR^b \left( \frac{\text{dB}}{\text{km}} \right) \quad (2.3.21)$$

Donde: R es la precipitación pluvial (mm/h), y **a** y **b** son coeficientes que dependen de la frecuencia. En la siguiente tabla se dan los valores de los parametros a y b

#### PARAMETROS a Y b PARA COMPUTAR UNA ATENUACION ESPECIFICA.

FRECUENCIA f (GHz)	Multiplicador a(f)	Exponente b(f)
1	0.00015	0.95
4	0.00080	1.17
5	0.00138	1.24
6	0.00250	1.28
7.5	0.00482	1.25
10	0.0125	1.18
12.5	0.0228	1.145
15	0.0357	1.12
17.5	0.0524	1.105
20	0.0699	1.10
25	0.113	1.09
30	0.170	1.075
33.5	0.242	1.04
40	0.325	0.99
50	0.485	0.90

FRECUENCIA (GHz)	Multiplicador a (1)	Exponente b (1)
60	0.650	0.84
70	0.780	0.79
80	0.875	0.753
90	0.935	0.730
100	0.965	0.715

Puesto que la precipitación pluvial no es homogénea en tiempo y espacio, y generalmente depende de la localización y las estaciones del año, es necesaria una medición de la lluvia por periodos largos de tiempo y en varias partes, para obtener un valor más preciso de la atenuación por lluvia.

Como en el caso de los gases atmosféricos, la absorción de las ondas de radio por las gotas de lluvia, también contribuyen al ruido térmico, el cual afecta el desempeño de la estación terrena. Este es el ruido por lluvia.

La despolarización debida a la lluvia se presenta también ya que la forma de las gotas de lluvia es generalmente esférica. Sin embargo, hablando estrictamente, la esfericidad llega a ser ligeramente plana, debido a la resistencia del aire. Por la naturaleza no esférica de las gotas de lluvia, la absorción y la dispersión por la lluvia tienen diferentes características, dependiendo de la orientación del plano de polarización de las ondas de radio incidentes.

La atenuación y el cambio de fase, debido a las gotas de lluvia es máximo cuando el plano de polarización está orientado perpendicularmente a la lluvia y es mínima cuando el plano de polarización está orientada paralelamente a la lluvia. Las diferencias en atenuación y cambio de fase, entre estas dos orientaciones son llamadas atenuación diferencial y cambio de fase diferencial respectivamente.

La existencia de la atenuación diferencial y el cambio de fase diferencial, debido a la lluvia no es un serio problema en una comunicación de radio convencional usando una sola polaridad. Sin embargo, puede haber un aumento en la interferencia de la señal, en un sistema de comunicaciones con polarización cruzada.

## 2.4 RUIDO

### INTRODUCCION.

El ruido es aquel fenómeno de tipo electromagnético que genera un mal funcionamiento en los sistemas de comunicaciones, este tipo de fenómeno es causado por varias razones, las cuales radican en el medio de propagación y en el mismo equipo del sistema.

En este tema hablaremos de este tópico mencionando tipos, causas y características, así como la manera de tratarlo.

Hay dos tipos principales de ruido, los cuales se clasifican por sus fuentes en Ruido térmico y Ruido de intermodulación.

El ruido térmico se introduce principalmente por las antenas y los primeros pasos de los receptores de las estaciones terminales y repetidoras. El ruido térmico promedio varía con el ancho de banda del receptor. Es constante cuando el ancho de banda es fijo y es independiente de la carga del canal en la señal multicanal transmitida.

El ruido de intermodulación es originado por las no linealidades del sistema tales como:

- a) La no linealidad de la modulación, discriminación y amplificación de las señales de banda base.
- b) La no linealidad (fase - frecuencia) en los circuitos sintonizados que manejan señales de RF e IF moduladas en frecuencia.

Una fuente adicional de ruido de intermodulación lo constituye el sistema de alimentación de la antena y algunas conexiones largas en RF e IF. El ruido no lineal es independiente del desvanecimiento pero depende de la carga del canal, lo cual a su vez afecta el ancho de banda de RF de la portadora modulada en frecuencia.

Un diseño razonable es el que permite la misma cantidad de ruido para ambos tipos, el ruido externo tal como el ruido cósmico, entra por la antena y se combina con el ruido térmico producido por el receptor.

A continuación hablaremos de las características del ruido y la forma de tratarlo en el análisis previo a la elaboración de un sistema de comunicaciones.

#### TEMPERATURA DE RUIDO.

La potencia de ruido es usualmente cuantificada en términos de su temperatura de ruido. Si el equipo electrónico estuviera perfectamente aislado de interferencias externas, de todos modos habría ruido en dicho equipo, debido al movimiento aleatorio de los electrones. Este ruido es llamado ruido térmico.

La potencia del ruido térmico que afecta un rango dado de frecuencias es proporcional a la temperatura absoluta y al ancho de banda de frecuencias en cuestión, es decir:

$$Pr = kTB$$

Donde:

$Pr$  = Potencia del ruido en watts.

$k$  = Constante de Boltzman  $1.3 \times 10^{-23}$  watts seg/ °K

$T$  = Temperatura en °K

$B$  = Ancho de banda en Hertz.

La temperatura de ruido de una fuente de ruido es la temperatura que produce la misma potencia de ruido sobre el mismo rango de frecuencias.

Así, si una fuente de ruido crea ruido de potencia  $Pr$ , su temperatura de ruido, algunas veces llamada temperatura de ruido equivalente, ETN, es:

$$T = Pr / kB$$

#### DENSIDAD DE RUIDO.

El término densidad de ruido se refiere al ruido por Hz de ancho de banda.

$$\text{Densidad de ruido} = P_r/B = kT$$

#### RELACION PORTADORA A RUIDO.

Una relación frecuentemente usada para establecer la calidad de un satélite es

$$(\text{potencia de la portadora recibida} / \text{densidad de ruido}) = P_R / kT$$

La potencia de la portadora se simboliza frecuentemente con C. La anterior relación C/N es llamada la relación señal a ruido. En la figura 2.4.1 se gráfica la relación C/N contra el PIRE para un enlace de subida de un típico satélite doméstico Norte - Americano. Se puede ver que dicha relación no puede ser mejorada hasta algún cierto nivel debido a que se alcanza una saturación en el canal.

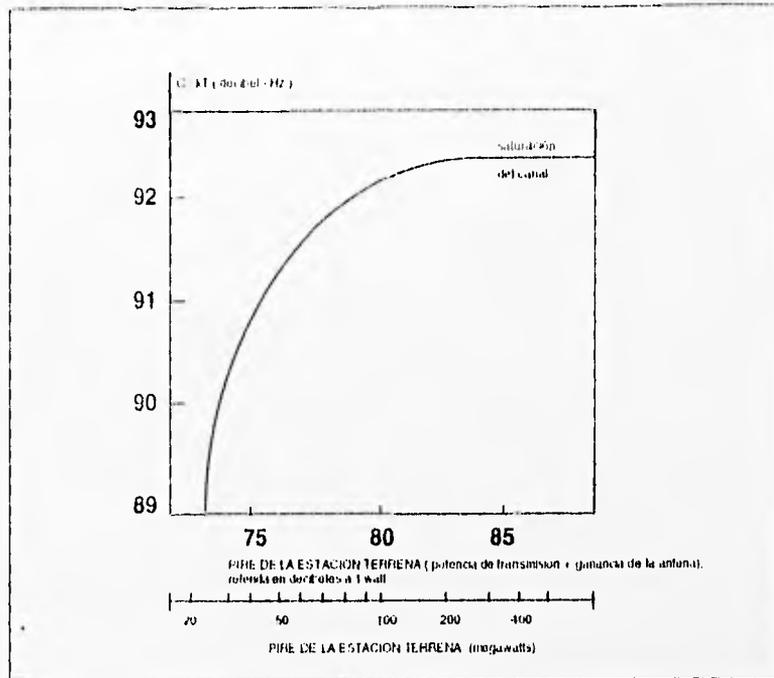


FIGURA 2.4.1 RELACION C/N CON EL PIRE PARA UN ENLACE DE SUBIDA DE UN SATELITE DOMESTICO.

#### FUENTES EXTERNAS DE RUIDO.

Las siguientes son fuentes externas de ruido. El sol, la luna, la tierra, ruido galáctico, ruido cósmico, ruido del cielo, ruido atmosférico y ruido hecho por el hombre. Estas fuentes difieren en su intensidad, frecuencias y localización en el espacio.

Si la antena de un satélite apunta hacia el sol, la señal será prácticamente contaminada debido a la temperatura de ruido del sol que es de  $100.000^{\circ}\text{K}$  ó más.

El ruido del sol varía con la actividad solar. La temperatura del ruido del cielo es de aproximadamente  $30^{\circ}\text{K}$ . La directividad de una antena no solo es para enfocar el haz sino también para proteger la señal recibida, de otras fuentes de ruido.

La temperatura de ruido de la tierra, vista desde el espacio, es en promedio de 254°K.

Una antena de satélite con un ancho de haz igual al ancho proyectado de la tierra recibiría esta cantidad de ruido, como fondo a las señales que vienen desde la tierra.

Debido a las variaciones del terreno, haces dirigidos a alguna porción de la tierra reciben una temperatura de ruido ligeramente mayor a 254°K.

El ruido galáctico se refiere al ruido de las estrellas en la galaxia. Este ruido decrece rápidamente a altas frecuencias y tiene efectos despreciables arriba de 1 GHz.

El ruido cósmico se refiere a otro ruido del espacio exterior y también es despreciable a frecuencias arriba de 1 GHz.

Los destellos de luz y las descargas electrostáticas en la atmósfera son una fuente mayor de ruido abajo de 30 MHz. Afortunadamente son despreciables a las frecuencias utilizadas en los satélites.

El ruido atmosférico se origina principalmente de las moléculas de oxígeno y vapor de agua, las cuales absorben la radiación. Consecuentemente las frecuencias en las cuales la absorción atmosférica es alta son las mismas en las que el ruido atmosférico es alto. La figura 2.4.2 muestra las temperaturas de ruido de vapor de agua y oxígeno atmosférico. El ruido hecho por el hombre, el cual es una plaga a frecuencias bajas, tiene un efecto pequeño arriba de 1 GHz. Surge principalmente de la maquinaria eléctrica y es mucho mayor en áreas industriales. Si estuviera presente podría reducirse al cubrirse la antena. Está virtualmente ausente en el espacio.

La figura 2.4.3 muestra como afecta a la señal la combinación de estos diferentes tipos de ruido. El ruido recibido en el satélite, que domina, es la temperatura de ruido de la tierra. En la estación terrena hay una ventana de ruido entre el efecto del ruido cósmico y el efecto del vapor de agua.

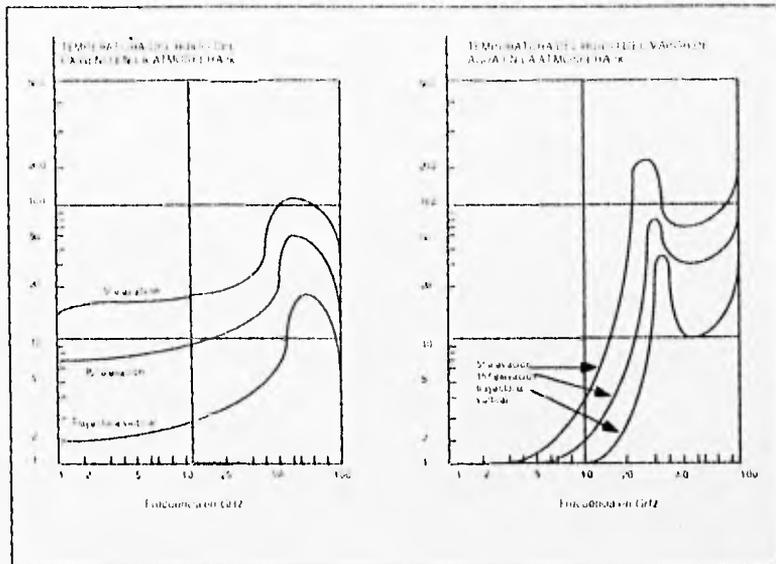


FIGURA 2.4.2 TEMPERATURAS DE RUIDO DE VAPOR Y OXIGENO ATMOSFERICO.

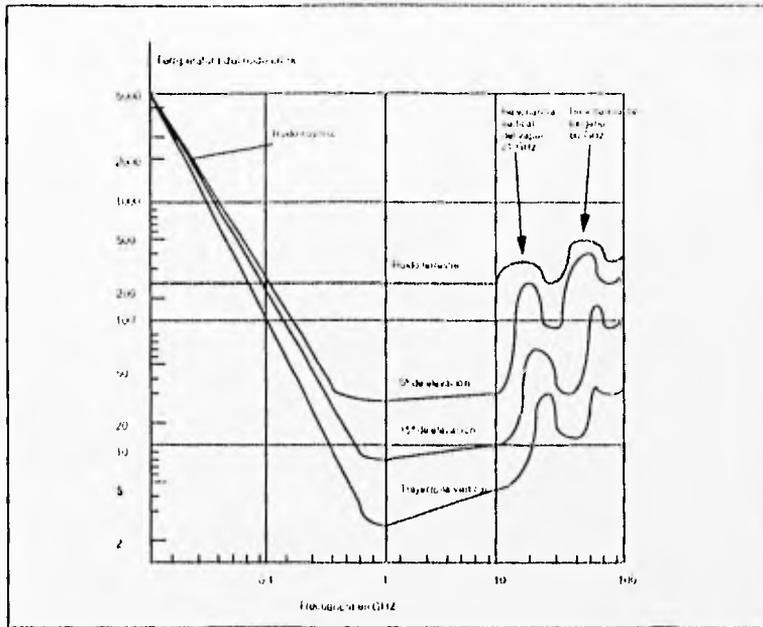


FIGURA 2.4.3 DEGRADACION DE LA SEÑAL POR EFECTOS DEL RUIDO TERMICO.

**MAL TIEMPO.**

La lluvia muy intensa causa más ruido en la estación terrena que todas las fuentes de ruido combinadas. Como en el caso de la absorción, este efecto es peor a frecuencias mayores. La figura 2.4.4 muestra el efecto de la lluvia, nubes y niebla intensas. Es recomendable evitar tanto como sea posible ángulos de elevación bajos a estas frecuencias.

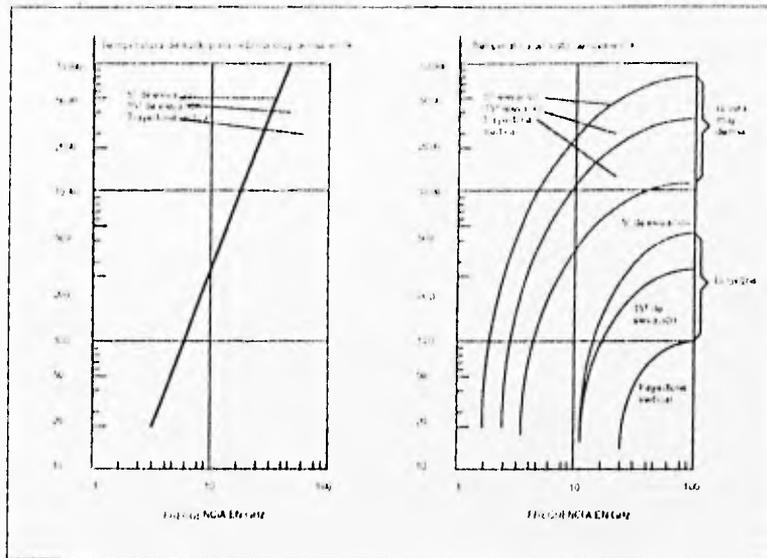


FIGURA 2.4.4 COMPORTAMIENTO DE LA SEÑAL POR EFECTOS DE LA LLUVIA, NUBES Y NIEBLA INTENSAS.

FIGURA DE MERITO.

Debido a que la señal recibida es muy débil, tanto en el satélite como en la estación terrena, es importante que la antena receptora y la parte electrónica introduzcan tan poco ruido como sea posible. Para evitar pérdidas y ruido en las líneas que conectan la antena receptora a la electrónica, la antena tiene usualmente el preamplificador construido internamente como se muestra en la figura 2.4.5. La eficiencia de tal combinación usualmente se cuantifica como la relación de la ganancia a la temperatura de ruido y se llama la figura de mérito.

$$\text{FIGURA DE MERITO} = G/T$$

Donde G = ganancia del preamplificador.

T = temperatura de ruido en el sistema receptor.

Esta figura de mérito se relaciona a la relación señal a ruido resultante y por consiguiente indica la capacidad relativa del subsistema receptor para recibir una señal. La figura 2.4.6 gráfica algunos valores típicos para receptores con electrónica sin enfriamiento.

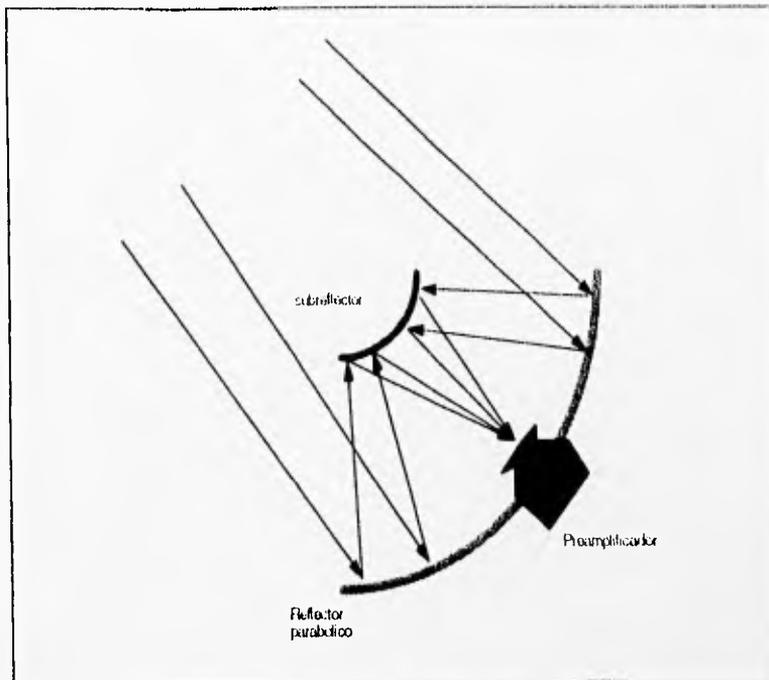


FIGURA 2.4.5 CONSTITUCIÓN DE UNA ANTENA PARABOLICA.

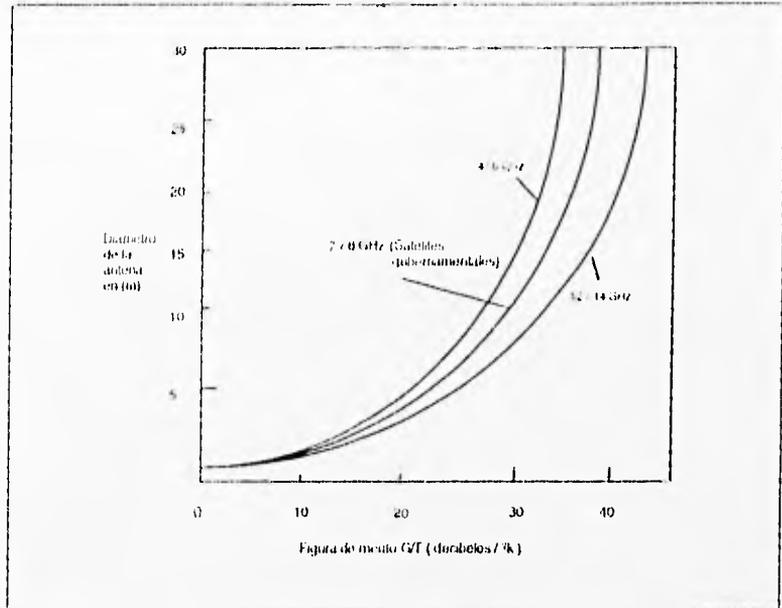


FIGURA 2.4.6 VALORES TÍPICOS PARA RECEPTORES CON ELECTRONICA SIN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.

#### RUIDO DEL EQUIPO.

La temperatura de ruido  $T$  del equipo receptor es originado tanto por la estructura de la antena como por la electrónica asociada. Las primeras estaciones terrenas usaron preamplificadores enfriados criogénicamente para reducir la temperatura de ruido. Actualmente con satélites más potentes, se puede usar equipo receptor más barato con una figura de mérito menor, teniendo tanto una antena más pequeña como una temperatura de ruido mayor, así que con una potencia de satélite mayor se puede tener equipo receptor más barato. La relación señal a ruido resultante se calcula asumiendo que la temperatura de ruido de antena es  $60^{\circ}\text{K}$  y entra al amplificador una señal de 10 picowatts.

Una relación señal a ruido de 10dB es típica en enlaces de satélites, mientras que una relación señal a ruido de 30 dB es adecuada para enlaces terrestres. Se pueden insertar estos valores en la ecuación de Shannon y comparar los valores teóricos entre un satélite típico y un enlace terrestre del mismo ancho de banda. Las componentes de ruido incluidas en T pueden dividirse en 4 categorías:

- Ruido de antena
- Ruido de componente pasiva
- Ruido de escape (HPA).
- Etapas de amplificación.

La figura 2.4.7 representa las contribuciones de ruido gráficamente y la figura 2.4.8 muestra aproximadamente la variación de ruido del cielo con un ángulo de elevación. A un ángulo de 5° vemos que la temperatura de ruido del cielo alcanza el orden de 25°K. Será visto también que el ruido de la antena mínimo ocurre cuando la antena está en el Zenit (es decir, un ángulo de elevación de 90°). Los ángulos de elevación son con respecto al horizonte; así, el ángulo de elevación sería de 0° cuando la antena apunta directamente al horizonte. El derramamiento de antena se refiere a la energía radiada de la antena al suelo y dispersada por los elementos metálicos que sostienen los dispositivos de alimentación. La suma total del ruido de antena puede alcanzar 39 ó 40°K, 25 de los cuales es ruido del cielo.

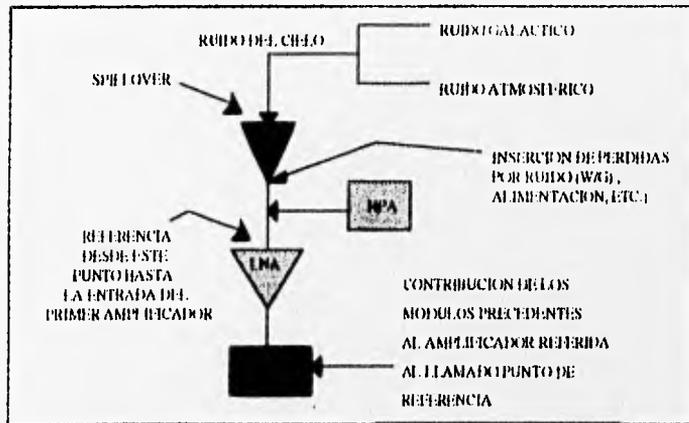


FIGURA 2.4.7 PRINCIPALES CONTRIBUCIONES DE RUIDO AL SISTEMA.

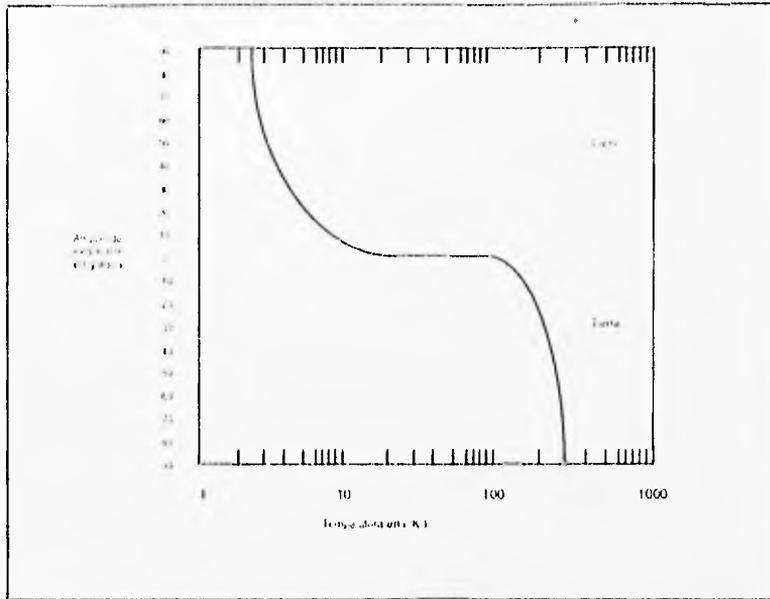
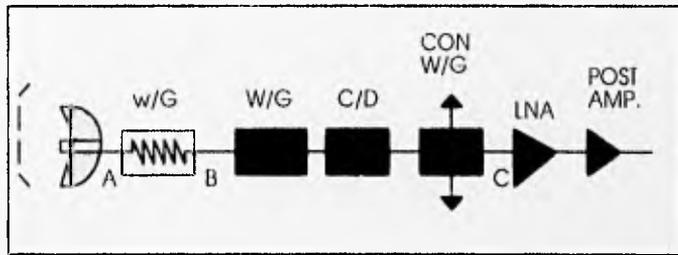


Figura 2.4 B VARIACION DEL RUIDO DEL CIELO APROXIMADA CON RELACION AL ANGULO DE ELEVACION DE LA ANTENA.

Para calcular toda la temperatura del ruido del sistema  $T_{sys}$  de los diversos elementos en Tandem se hace uso de la cadena receptora como sigue:



Donde A, B y C son puntos de referencia o planos de referencia. A es la base del punto radiador b es la base del pedestal de la antena y C es el punto de entrada al amplificador de bajo ruido (LNA).

Para calcular la temperatura de ruido del sistema  $T_{sis}$ , se puede decir que

$$T_{sis} = T_{ant} + T_r$$

Donde

$T_{ant}$  = temperatura de ruido de la antena

$T_r$  = Temperatura de ruido del sistema receptor

El primer paso es establecer un punto de referencia. Este es un punto arbitrario desde donde se calcula la ganancia de la antena también como su temperatura de ruido  $T_{ant}$ . La  $T_{sis}$  variará conforme  $G$  varía, dependiendo del punto de frecuencia. Encontramos que conforme el punto de referencia se mueva del alimentador de la antena, la ganancia disminuirá y así también la temperatura de ruido. Sin embargo, la  $G/T$  para un sistema dado se mantendrá constante, sin importar la referencia. En la anterior figura, cada componente de pérdidas óhmicas es un generador de ruido como lo es cada componente activa como el LNA y el post - amplificador, el mixer, los amplificadores de FI y así sucesivamente.

Las contribuciones de ruido a la izquierda del plano de referencia están incluidas en la temperatura de antena ( $T_{ant}$ ) en la ecuación anterior y siempre incluye el ruido del cielo. A la derecha del plano de referencia, esto es, hacia el sistema, todas las contribuciones de ruido se incluyen en  $T_r$ .

Para diferenciar entre pérdidas óhmicas y no óhmicas, considere que todos los dispositivos con una pérdida de inserción están en la categoría óhmica y todas las pérdidas no asociadas con una pérdida de inserción son no óhmicas. Un ejemplo de pérdidas no óhmicas es el espacio libre.

El análisis para determinar  $T_{sis}$  es una operación de dos pasos, es decir  $T_{ant}$  y  $T_r$  se calculan separadamente y entonces se realiza la suma. Cuando se calcula la contribución de ruido de una pérdida óhmica, la cual está dada en las unidades tradicionales de medición, el decibel, debemos convertir el valor del decibel a su relación numérica equivalente:

$$\text{Pérdidas (dB)} = 10 \log_{10} (P_1 / P_2)$$

sea  $P1/P2 = L$ . Entonces

$$\text{Pérdidas (relación)} = \log_{10}^{-1} (L/10)$$

Supongamos que el punto de referencia fuera el punto B, hubiera una pérdida de cubierta de 1dB y las pérdidas de la guía de onda a la base del pedestal fueran 1.3 dB

Calcular la relación de pérdidas.

$$\text{Pérdidas (relación)} = \log \exp^{-1} (2.3/10) = 1.698$$

Asumiendo que  $L_T$  sean las pérdidas totales de la red de la antena, incluyendo la cubierta (radiome), expresada como una relación de pérdidas. Entonces.

$$T_{ant} = ((L_T - 1) (T_{amb} + T_s)) / L_T$$

Donde :

$T_s$  = Ruido del cielo y  $T_{amb}$  = temperatura ambiente, tradicionalmente dada como 290°K o sea (17°c).

La temperatura de ruido del receptor  $T_r$  es el ruido total recibido obtenido al referirnos a los efectos de la contribución del LNA ( y subsecuentes amplificadores o mezcladores) y las pérdidas del circuito de entrada al mismo plano de referencia como en el caso de la temperatura de ruido de la antena.

En otras palabras, estamos tratando con todas las contribuciones de ruido a la derecha del plano arbitrario de referencia.

Cuando se calcula  $T_r$  se debe utilizar la fórmula de cascada tradicional para temperatura de ruido:

$$T_r = T_1 + \frac{T_2}{G_1} + \frac{T_3}{G_1 G_2} + \frac{T_4}{G_1 G_2 G_3} + \frac{T_5}{G_1 G_2 G_3 G_4} + \dots$$

Donde :

$T_n$  = Temperatura de ruido del contribuidor de ruido  $n$

$G_n$  = ganancia del contribuidor  $n$   $n = 1, 2, \dots$

Recuerde que las pérdidas de un dispositivo que atenúa una señal pueden ser expresadas como una ganancia equivalente, la cual es menor que 1

La temperatura de ruido en el receptor  $T_r$  se expresa como:

$$T_r = (L_i - 1)T_{amb} + T_{LNA} L_i + \left( \frac{T_{pa} T_n}{G_{LNA}} \right) + \dots$$

Donde :

$L_i$  = suma de las pérdidas desde el plano de referencia a la entrada del LNA, donde estas pérdidas se expresan como una relación,  $T_{LNA}$  = Temperatura de ruido en grados Kelvin del LNA,  $G_{LNA}$  = ganancia del LNA, y  $T_{pa}$  = temperatura de ruido en °K del postamplificador, donde sea necesario, o bien del mezclador.

## 2.5 TEMPERATURA DEL RUIDO DEL SISTEMA Y LA RELACION G/T.

La temperatura del ruido, es un concepto útil en los receptores de comunicaciones, puesto que provee un medio para determinar cuanto ruido térmico es generado por los dispositivos activos y pasivos en el sistema receptor. A frecuencias de microondas, todos los objetos con una temperatura física ( $T_p$ ) mayor a 0 °K, generan ruido eléctrico en la frecuencia receptora. La potencia del ruido esta dada por:

$$P_n = kT_n B \quad (2.5.1)$$

Donde:

$k$  = Constante de Boltzman =  $1.38 \times 10^{-23}$  j / k = -228.6 dBW / k / Hz

$T_n$  = Temperatura del ruido de la fuente en grados Kelvin.

$B$  = Ancho de banda de la potencia medido en el dispositivo. (En Hz).

En los sistemas de comunicaciones satelitales, siempre se trabaja con señales débiles, por la gran distancia involucrada. Consecuentemente se debe reducir el ruido en el receptor, tanto como sea posible, para conseguir que se mantenga lo mayormente posible la relación portadora a ruido, y de aquí la mejor calidad de la comunicación.

Esto se logra, teniendo el ancho de banda del receptor (normalmente en la etapa del amplificador de IF), lo bastante amplia para permitir a la señal pasar sin restricciones, a la vez conseguir la potencia del ruido lo más bajo posible. El ancho de banda usado en la ecuación 2.5.1 debe ser equivalente al ancho de banda del ruido. Frecuentemente no se sabe el ancho de banda del ruido equivalente, entonces se usa un ancho de banda de 3 dB en el sistema receptor. El error introducido por usar un ancho de banda de 3 dB es pequeño, cuando las características del filtro de el receptor tienen lados escarpados.

Un segundo objetivo, en el diseño de sistemas receptores, es el conseguir la temperatura de ruido lo más bajo posible. En las estaciones terrenas grandes, puede hacerse sumergiendo la parte frontal del amplificador receptor, en helio líquido para mantener su temperatura física alrededor de 4 °K.

Este paso es efectivo, pero caro de instalar y mantener. Para temperaturas de ruido de 70°K a 200 °K, pueden ser conseguidas sin enfriamiento físico, si se usan amplificadores GaAsFET o amplificadores paramétricos (paramps).

Para un determinado sistema receptor, se debe encontrar el ruido térmico total, junto con la señal a ser modulada, esto se hace determinando la temperatura de ruido del sistema ( $T_s$ ).  $T_s$  es la temperatura del ruido de una fuente de ruido localizada a la entrada del receptor. Sin ruido, el cual da la misma potencia de ruido que en el receptor original medido a la salida del receptor. La fuente de ruido equivalente  $T_s$ , esta usualmente localizada a la entrada del receptor, reemplazando la antena. Si la ganancia total de RF e IF del receptor es  $G$ , y el ancho de banda más angosto es  $B$ , la potencia del ruido a la entrada del demodulador es:

$$P_n = k T_s B G \quad (2.5.2)$$

La antena entrega una señal, con una potencia  $P_r$  al receptor a la entrada de la sección de RF. La potencia de la señal a la entrada del demodulador es  $P_r G$ , representando la potencia obtenida de la portadora, antes de la amplificación, y la conversión de la frecuencia con el receptor.

De aquí que la relación portadora a ruido en el demodulador, este dada por:

$$\frac{C}{N} = \frac{P_r G}{kT_s B} = \frac{P_r}{kT_s B} \quad (2.5.3)$$

Donde:

N = (noise) Ruido

C = (Carrier) Señal portadora

Esto demuestra que útil es reemplazar varios fuentes de ruido en el receptor, por una simple temperatura de ruido del sistema  $T_s$ .

La ecuación del enlace puede ser reescrita en términos de C/N de la estación terrena como sigue:

$$\begin{aligned} \frac{C}{N} &= \frac{P_r G_t G_r \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2}{kT_s B} \\ \frac{C}{N} &= \frac{P_r G_t \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_r}{k B T_s} \quad (2.5.4) \\ \frac{C}{N} &= PIRE + \frac{G}{T} - k B - L_p \end{aligned}$$

- Donde  $L_p$  es la pérdida por propagación.

De este modo, C/N es proporcional a  $G_r/T_s$ , el término entre parentesis es constante para un sistema satelital dado. La relación  $G_r/T_s$  puede ser usada para especificar la calidad de la estación terrena, puesto que si aumentamos  $G_r/T_s$  aumentamos C/N. El término  $G_r/T_s$  es usualmente recortado o la relación G/T, algunas veces llamado figura de mérito.

## 2.6 TEORÍA DE TRANSMISIÓN.

El cálculo de la potencia recibida por una estación terrena, desde un satélite transmisor es fundamental para el entendimiento de las comunicaciones satelitales. Se discuten a continuación dos pasos para el cálculo: El uso de la densidad de flujo y la ecuación de transmisión de Friis.

Considerando una fuente transmisora en el espacio libre, radiando una potencia total  $P_t$  en watts, uniformemente en todas direcciones. Esta fuente es llamada isotrópica y es una idealización que no puede ser realizada físicamente, debido a que no pueda crear ondas electromagnéticas polarizadas transversalmente.

A una distancia  $R$  de la hipotética fuente isotrópica, la densidad de flujo que cruza la superficie de una esfera de radio  $R$ , esta dada por:

$$F = \frac{P_t}{4 \pi R^2} \frac{W}{m^2} \quad (2.6.1)$$

Pero en la práctica, se usa una antena direccionable, para forzar la potencia transmitida en una dirección. Para un transmisor, con un rendimiento  $P_t$  en watts y una antena con una ganancia  $G_t$ , la densidad de flujo en la dirección de la antena a una distancia  $R$  en metros es:

$$F = \frac{P_t G_t}{4 \pi R^2} \frac{W}{m^2} \quad (2.6.2)$$

El producto  $P_t G_t$  es llamado Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE), y describe la combinación del transmisor y de la antena, en términos de una fuente isotrópica equivalente con una potencia  $P_t G_t$  en watts, radiando uniformemente en todas direcciones. Si se tiene una antena receptora ideal, con una apertura de área de  $A$  en  $m^2$ , entonces se puede coleccionar la potencia  $P_r$ , así se tiene entonces que:

$$P_r = F A \quad (2.6.3)$$

Una antena práctica con un área de apertura físicamente de  $A_r$  en  $m^2$  no dará la potencia dada por la ecuación 2.6.3, debido a que parte de la energía incidente es reflejada y otra parte es absorbida por la pérdida de los componentes. Esta reducción en la eficiencia, es llamada apertura efectiva ( $A_e$ ) de la antena y esta dada por:

$$A_e = \eta A_r \quad (2.6.4)$$

De este modo la potencia recibida por una antena real, con una área física real de  $A_r$  y apertura efectiva  $A_e$  es:

$$P_r = \frac{P_t G_t A_e}{4 \pi R^2} \quad (2.6.5)$$

Notar que esta ecuación es independiente de la frecuencia para una banda dada, la potencia recibida por una estación terrena, depende solo del PIRE del satélite, del área efectiva de la antena de la estación terrena y de la distancia al satélite ( $R$ ).

Una relación fundamental en teoría de antenas, es que la ganancia y el área de una antena están relacionadas por la siguiente ecuación:

$$G_t = \frac{4 \pi A_e}{\lambda^2} \quad (2.6.6)$$

Sustituyendo  $A_e$  en la ecuación 2.6.5 tenemos:

$$P_r = P_t G_t G_r \left( \frac{\lambda}{4 \pi R} \right)^2 \quad (2.6.7)$$

Esta expresión es conocida como la ecuación de transmisión de Friis, y es esencial en el cálculo de la potencia recibida en cualquier enlace de radio. La frecuencia (expresada, como longitud de onda  $\lambda$ ), aparece en esta última ecuación porque se utiliza la ganancia de la antena receptora, en lugar del área efectiva.

El término  $(4 \pi R / \lambda)^2$  (Pérdida del espacio libre), es la pérdida por la trayectoria ( $L_p$ ). Reordenando varios factores juntos, podemos re escribir la ecuación 2.6.7 como sigue:

$$P_r = \frac{(PIRE) G_r}{L_p} \quad (2.6.8)$$

En sistemas de comunicaciones, el decibel es usado ampliamente para simplificar expresiones. En términos de decibelos tenemos:

$$Pr = PIRE + Gr - Lp \text{ dBW} \quad (2.6.9)$$

Donde:

$$PIRE = 10 \text{ Log } P_t G_t \text{ dBW}$$

$$Gr = 10 \text{ Log } (4 \pi A_e / \lambda^2) \text{ dB}$$

$$Lp = 20 \text{ Log } (4 \pi R / \lambda) \text{ dB}$$

La ecuación 2.6.9 es un caso idealizado, en el cual no hay pérdidas adicionales en el enlace. Pero en la práctica, se necesita tomar en cuenta una situación más compleja, en la cual se tienen pérdidas por la atmósfera, por la atenuación de la lluvia, pérdidas en las antenas en cada fin del enlace y posibles pérdidas por despuntamiento de la antena.

Todos estos factores son tomados en cuenta, para estar seguros que el cálculo es adecuado. Generalmente la ecuación 2.6.9 se escribe como:

$$Pr = PIRE + Gr - Lp - La - Lfa - Lra \text{ dBW} \quad (2.6.10)$$

Donde

$L_a$  = Atenuación atmosférica.

$L_{ta}$  = Pérdidas asociadas con la antena transmisora.

$L_{ra}$  = Pérdidas asociadas con la antena receptora.

La ecuación 2.6.10 se ilustra en la figura 2.6.1 donde se muestra un enlace satelital con sus tipos de pérdidas

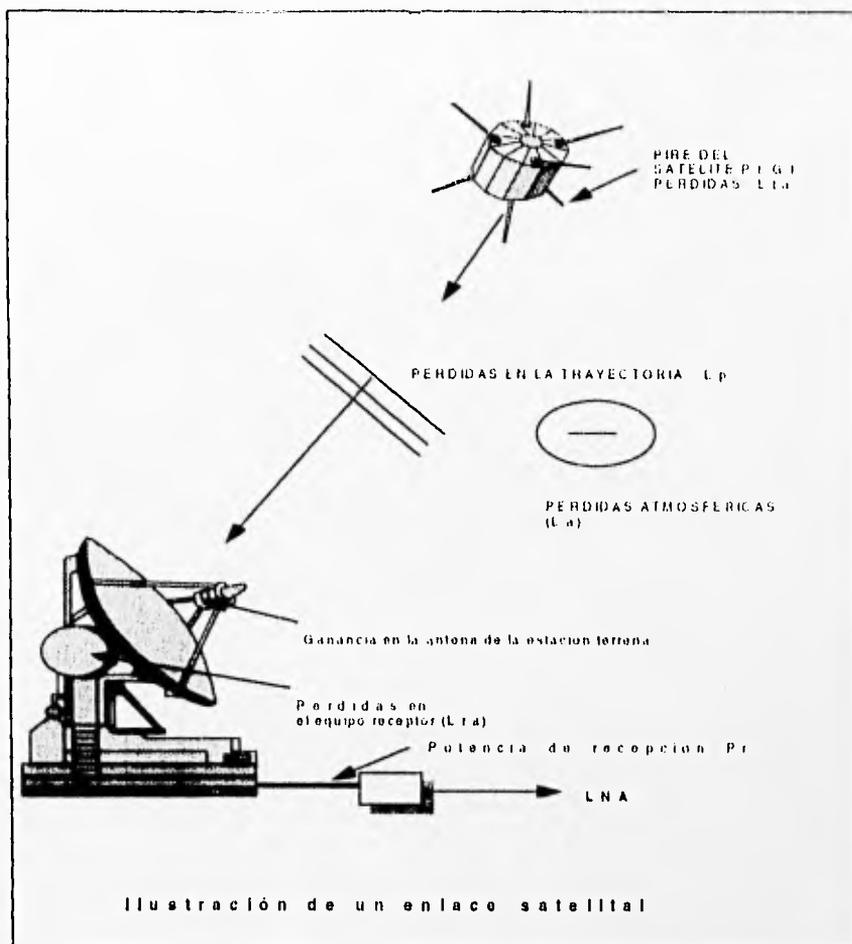


FIG 2.6 1 DISTRIBUCION DE LOS TIPOS DE PERDIDAS QUE SE DAN EN UN ENLACE SATELITAL.

## 2.7 PROPAGACION DE LAS ONDAS EN LAS COMUNICACIONES VIA SATELITE

La propagación de las ondas de radio usadas en las comunicaciones via satélite son relativamente sencillas, comparadas por ejemplo con las terrestres.

Nuestro primer paso es definir las pérdidas por propagación entre una antena transmisora y otra receptora, separadas por una distancia  $d$ , asumiendo que el medio de transmisión es el vacío.

Se puede decir, que la antena transmisora es una fuente isotrópica, y por definición una fuente isotrópica radia uniformemente en todas direcciones.

La potencia total radiada por la fuente en watts es  $P_t$ , y el área de esa esfera es  $4\pi d^2$ , luego entonces, la potencia recibida  $P_{AV}$ , por la antena receptora está dada por:

$$P_{AV} = \frac{P_t}{4\pi d^2} \quad (2.7.1)$$

donde  $d$  es el radio de la esfera.

Para una antena isotrópica el área efectiva es  $\lambda^2 / 4\pi r$  donde  $\lambda$  es la longitud de onda de la radiación incidente. De la ecuación 2.7.1 tenemos que para una antena isotrópica, la potencia recibida será

$$P_r = P_t \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (2.7.2)$$

La pérdida por propagación ( $L$ ) entre la antena transmisora y la receptora, está definida convencionalmente como:

$$L_{dB} = 10 \log \frac{P_t}{P_r} \quad (2.7.3)$$

Combinando las ecuaciones 2.7.2 y 2.7.3 tenemos

$$L_{\text{dB}} = 21,98 + 20 \log \left( \frac{d}{\lambda} \right) \quad (2.7.4)$$

o

$$L_{\text{dB}} = 32,4 + 20 \log d_{\text{km}} + 20 \log F_{\text{MHz}} \quad (2.7.5)$$

donde  $d$  es la distancia en Km, entre las antenas y  $F$  ( $\lambda = C/F$ ) es la frecuencia emitida en MHz

Además de las pérdidas por propagación en el espacio libre, las ondas de radio usadas para las comunicaciones satelitales son influenciadas por la atmósfera baja (troposfera) y la ionosfera. A frecuencias de unos cientos de MHz, la atenuación ionosférica y la cintilación atmosférica, son los factores más significativos. A frecuencias por arriba de los 10 GHz, el efecto de atenuación, el ruido inducido por los gases de la atmósfera y la lluvia llegan a ser significativos.

El rango de frecuencias entre 300 MHz y 10 GHz, donde el efecto de la atmósfera baja y la ionosfera son insignificantes; es llamada la RADIO-VENTANA. En comunicaciones satelitales el rango de frecuencias entre 1GHz y 10 GHz, es preferentemente usado.

En recientes años por la necesidad de tener más capacidad, fue necesaria el reuso de frecuencias por la técnica de polarización cruzada o el desarrollo de técnicas para el uso de frecuencias arriba de 10 GHz.

## 2.8 TEORIA DE ANTENAS.

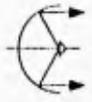
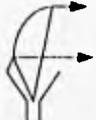
### INTRODUCCION.

La antena de una estación terrena es el punto de entrada y salida de las transmisiones de radio. Debe de transmitir la potencia al satélite eficientemente y al mismo tiempo alimentar la débil señal proveniente del satélite al receptor. Así, una antena con mucha ganancia es usada. La estación terrena también debe ser dirigible para que siempre pueda capturar el rayo del satélite. El congestionamiento reciente de los circuitos de radio hacen particularmente importante que la antena de comunicaciones satelital sea robusta a las interferencias hacia y desde otro sistema satelital o de un sistema de radio terrestre.

En particular, la antena juega un rol vital que a menudo determina la operación funcional del sistema por si mismo.

Además, las trompetas de la antena están clasificadas en trompeta conica y en trompeta piramidal de acuerdo a la forma de la apertura.

Varias clases de antenas reflectoras se han puesto en uso práctico, las aplicaciones y los característicos son diferentes, las antenas reflectoras pueden ser clasificadas en 2 tipos de acuerdo a su estructura geométrica, del tipo simétricas y del tipo asimétricas (offset). En la figura 2.8.1 se muestra un ejemplo de las más comunes de cada tipo.

Tipo		Tipo de Antena	Tipo de Reflector (Antena de Alimentación)	Aplicación (Radiofrecuencia)	Tipo de Reflector
Tipo I (Microondas)	Forma				
	Nombre	PARABOLICA	ANTENA ALIMENTADA EN EL CENTRO DE LA ANTENA	MULTI BOMBAS	REFLECTOR ELIPTICO
	Componentes	EN ANTENAS DE MICROONDAS ESTACIONES TERRESTRES DE TIPO SAT V	EN ANTENAS DE MICROONDAS	USE (YORK)	RADIO TELESCOPIOS
Tipo II (Radiofrecuencia)	Forma				
	Nombre	PARABOLICA TIPO CASCADA	REFLECTOR TIPO CASCADA	MULTI BOMBAS TIPO CASCADA	DUAL CURVADA
	Componentes		ESTACIONES DE MICROONDAS ESTACIONES TERRESTRES	REFLECTOR TIPO CASCADA	ANTENAS TIPO TORNO

ANTENAS DE REFLECTOR DUAL

FIGURA 2.8.1 TIPOS DE ANENAS CON REFLECTOR DE TIPO DUAL.

**GANANCIA.**

La ganancia de una antena, esta definida como la relación entre la potencia radiada por unidad de ángulo sólido, en una dirección dada desde la antena y la potencia radiada por la unidad de ángulo sólido suministrada por una antena isotrópica. La antena isotrópica mencionada es una antena hipotética, que radia ondas de radio de una energía constante en cualquier dirección. Dicha antena es usada como la referencia de la ganancia de la antena de microondas. Se asume, que el campo radiado en la dirección  $(\theta)$  es  $F(\theta)$  De ahí la ganancia  $G(\theta)$  esta dada por :

$$2.8.1 \quad G(\theta) = \frac{F(\theta)}{P_0/4\pi}$$

donde  $P_0$  es la potencia suministrada.

Si la potencia total radiada es  $P_t$  entonces:

$$2.8.2 \quad D(\theta) = \frac{U(\theta)}{P_t/4\pi}$$

Expresada directamente, se tiene la eficiencia de la apertura ( $\eta$ )

$$2.8.3 \quad \frac{G(\theta)}{D(\theta)} = \frac{P_t}{P_o} = \eta$$

En general, el valor de  $G(\theta)$  de la ecuación 2.8.1 en la dirección ( $\theta$ ), donde la máxima radiación ocurre es simplemente llamada la ganancia. En muchos casos es expresada en dB

Ahora la ganancia  $G$  de una antena teniendo un área de apertura física de  $A$  es expresada por:

$$2.8.4 \quad G = \frac{4\pi}{\lambda^2} A \eta$$

El coeficiente  $\eta$  en la ecuación 2.8.4, es la eficiencia de la apertura. Por lo tanto  $A\eta$  representa eficiencia del área de apertura. Si la apertura es de un diámetro  $D$ , entonces la ecuación 2.8.4 puede ser reescrita como:

$$2.8.5 \quad G = \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2 \eta$$

El coeficiente  $4\pi/\lambda^2$  en la ecuación 2.8.4 es llamada la constante universal; la cual, media la ganancia y la área efectiva de toda clase de antena. Si  $G=1$  y  $\eta=1$ , entonces la ecuación 2.8.4 llega a ser  $A_o = \lambda^2 / 4\pi$ . Por lo tanto  $A_o$  puede ser interpretada como el área efectiva de la antena isotrópica.

## DIRECTIVIDAD

El grado con que un campo radiado es concentrado en una direccional es generalmente llamado "directividad" de una antena. El patrón de la antena es registrado en una grafica de la directividad medida  $D(\theta)$  en el corte de un plano.

El patrón de la antena medido en el plano incluyen, el vector eléctrico de la polarización lineal existente y el eje de simetria de la antena es llamado patrón de ( PLANO - E ) y el patrón medido perpendicularmente al plano E es el vector magnético, el cual es llamado patrón del PLANO - H. Esto es mostrado en la figura 2.8.2

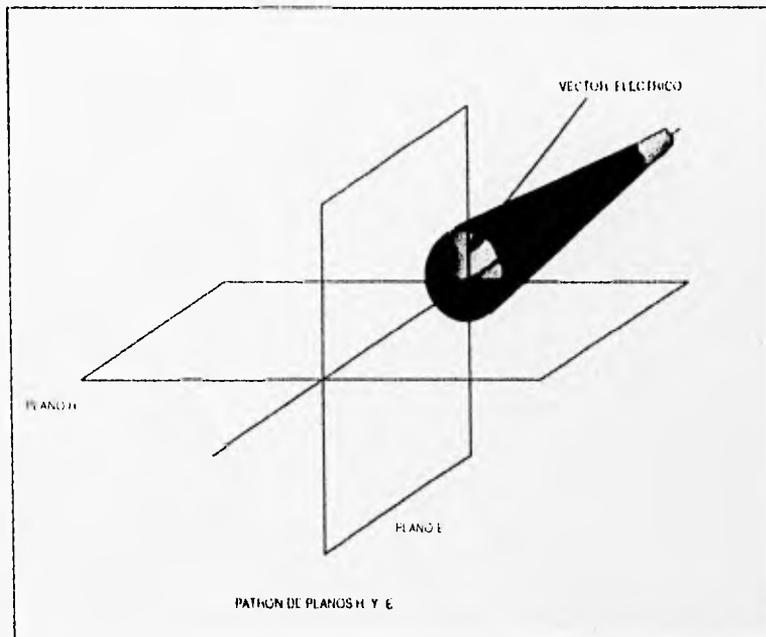


FIGURA 2.8.2 PATRON DE PLANOS H Y E DONDE ACTUAN LOS VECTORES MAGNETICOS.

Por otra parte, el patrón medido por la rotación de la antena en azimut es llamado el patrón de azimut y el que se obtiene por la rotación de la elevación es llamado el patrón de elevación. El ancho de rayo puede ser determinado por el registro del patrón de la antena

El ancho angular total entre dos puntos, por debajo del pico del rayo principal por 3 dB representa el ancho del rayo, y es llamada la potencia medida del ancho del rayo (HPBW), como se muestra en la figura 2.8.3.

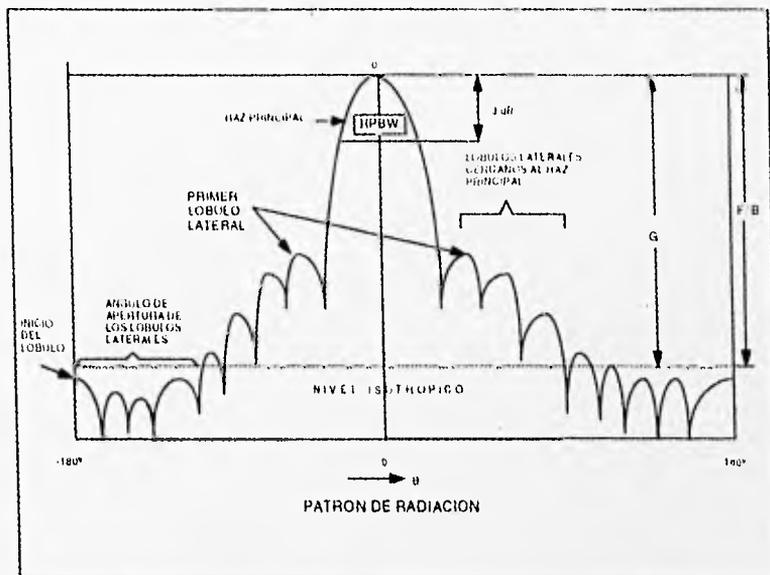


FIGURA 2.8.3 REPRESENTACION GRAFICA DE LA POTENCIA MEDIDA DEL ANCHO DEL HAZ (HPBW).

#### SISTEMA DE TRANSMISION.

Una característica de las comunicaciones espaciales es la gran pérdida de las señales debido a la gran propagación de las ondas de radio. La señal debe de ser amplificada para compensar esta pérdida; luego entonces, el amplificador de alta potencia (High Power Amplifier, HPA) juega un papel muy importante en un sistema de transmisión.

La estación terrena debe usualmente *poter* transmitir una o mas portadoras simultaneamente. Hay dos sistemas bien conocidos, los cuales multiplican multiples portadoras. Uno es el sistema común de amplificación usando un HPA y el otro es un sistema de amplificación individual, en el cual multiples portadoras son amplificadas por HPA's independientes, con comparativamente baja potencia de salida y las señales de salida de estos amplificadores individuales son combinados a traves de un combinador de potencia.

#### SISTEMA DE AMPLIFICACION COMUN.

Un circuito de control de nivel automático (Automatic Level Control, ALC) es empleado por cada portadora para evitar fluctuaciones en los niveles de amplificación de las portadoras transmitidas. Esta es, porque multiples portadoras son amplificadas comunemente por un HPA, despues de ser combinadas por el combinador de transmisión. El circuito ALC consiste de un detector de la potencia transmitida por el HPA, el detector de la potencia de salida y un controlador de la potencia transmitida, para el control del nivel de la portadora transmitida en la entrada del HPA.

#### SISTEMA DE MONTAJE DE LA ANTENA.

El montaje de la antena esta clasificado en los tres tipos siguientes:

- 1 - Montaje Azimut - Elevación (X - Z)
- 2 - Montaje X - Y
- 3 - Montaje Polar

El sistema de montaje Az - E1 (X - Z), al presente, es el más ampliamente usado para antenas de estaciones terrenas. En esta montura, uno de los ejes (eje Az) es puesto verticalmente a la tierra, mientras que el otro eje (eje - E1 ) es horizontal. Este sistema de montaje tiene la desventaja de que es difícil rastrear un satélite.

Estos montajes se presentan en el anexo E junto con las características de las antenas de tipo parabólico y cassegrain.

Las facilidades de comunicaciones instaladas en el control y en los HPA's en la antena, son conectados por un enlace de transmisión de inter-facilidad. Tal configuración es adoptada en muchas estaciones terrenas grandes.

El amplificador de tubo de ondas progresivas (traveling wave tube, TWT) es usado como un HPA en estos sistemas. Cuando múltiples portadoras son amplificadas simultáneamente, productos de intermodulación son generados a la salida del HPA, debido a la no linealidad de el TWT. Para evitar ruido y emisiones fuera de banda, resultado de la intermodulación debajo del valor especificado, los TWT's están operando usualmente con suficiente "back off". Un compensador de intermodulación debe ser usado si una supresión más estricta de intermodulación es requerida.

#### SISTEMA DE AMPLIFICACION INDIVIDUAL.

Este sistema usa HPA's independientes, correspondiendo uno a cada portadora, y las salidas de las señales de estos amplificadores son combinados por un combinador del tipo híbrido. Un combinador convencional del tipo híbrido, sufre una pérdida de potencia de -3 dB, cada vez que dos señales de entrada son combinadas. La pérdida por la combinación de un convertidor del tipo filtro es tan bajo como 1 dB pero este tipo tiene el inconveniente de una leve banda muerta en la banda de frecuencia transmitida. El sistema de amplificación individual, requiere bastante ancho de banda angosta de cada HPA. Esto permite el uso de tubos Klystron, las cuales son menos caras que el TWT.

El TWT es ampliamente usado en muchas estaciones terrenas, por la característica de cubrir la banda de 500 MHz y a pesar de su complicada construcción, su gran consumo de potencia y su costo. Al contrario el amplificador Klystron es frecuentemente utilizado en lugar de un TWT, por su simple construcción, el bajo gasto de potencia y su bajo costo; y aunque su aplicación es restringida debido a la característica de la banda angosta.

CAPITULO 3

DESARROLLO

DEL

PROYECTO

INTRODUCCION.

El cálculo de enlace vía satélite es un procedimiento matemático que tiene como finalidad obtener los valores de potencia necesaria para comunicar dos o más estaciones terrenas (E/T) tomando en cuenta las consideraciones físicas relacionadas con el viaje de la señal por el espacio libre, con el procesamiento que recibe por parte de los equipos (entre ellos el satélite mismo), y a la ubicación geográfica de los puntos a comunicar.

En el contexto del diseño de redes satelitales, el cálculo de enlace constituye la base matemática para la selección de los equipos que se utilizan en la E/T, en tanto que en la operación de redes, nos es útil para determinar la cantidad de potencia necesaria para que la comunicación entre dos o más E/T se realice con la calidad deseada. En este capítulo nos referiremos al segundo caso, al que trata sobre la determinación de la cantidad de potencia que se necesita para establecer un enlace cuando los equipos de las E/T ya fueron seleccionados.

En todo sistema de comunicación la presencia de ruido es algo invariable que genera una degradación de la señal útil. La relación portadora a ruido (C/N), se refiere a la diferencia existente entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia de ruido existente en el sistema, la utilizaremos como el indicador de la calidad de comunicación en el sistema de microondas vía satélite.

La metodología de cálculo que emplearemos se basa en dividir al cálculo del enlace satelital en 3 partes principales:

- 1.- ENLACE ASCENDENTE.
- 2.- ENLACE DESCENDENTE.
- 3.- EVALUACION DEL ENLACE.

Cada una de las partes anteriores se relaciona a una serie de conceptos físicos y procedimientos matemáticos que nos permiten manejarlos por separado, en las dos primeras partes se trata de obtener las relaciones (C/N) totales correspondientes, en tanto que en la última parte se determina el margen del enlace.

El margen del enlace es el parámetro que nos indica la calidad del enlace, pues considera los requerimientos de calidad en la información del equipo receptor y la calidad de la información proporcionada por el enlace.

Cuando se diseña un enlace debe tomarse algún criterio de diseño que fije las condiciones en las que se espera, o bien se desea que el enlace opere satisfactoriamente, de ahí que una vez establecidos dichos criterios se debe por concluirlo el cálculo y se procede a la recuperación de los valores correspondientes a los parámetros más relevantes como son la PIRE de las E/T y la PIRE del satélite por portadora, esto es, las potencias controlables de nuestro enlace. Para el caso en que el margen del enlace no sea el adecuado se realiza nuevamente el cálculo bajo diferentes condiciones de potencia, para lo cual debemos cambiar el valor de la potencia con la que transmite la E/T, así hasta obtener los resultados deseados.

El desarrollo de este capítulo lo he dividido en subtemas, que normalmente en el desarrollo de un problema de ingeniería se presentaría de corrido, pero con el fin de que el desarrollo quede claramente expuesto secciono cada etapa del cálculo en sus partes más significativas como lo son la presentación de datos propios del sistema en lo que se refiere a especificaciones del equipo, modo de transmisión, manejo de tablas de datos y la separación de las tres partes principales del cálculo con el fin de evitar la presentación de una larga lista de cálculos y así el desarrollo quede más clara.

El cálculo que se presenta a continuación es el cálculo de la calidad del enlace vía satélite MEXICO - MEXICALI de una empresa para estatal perteneciente a la industria de la transformación. Este tipo de cálculo es exactamente igual al que se aplica a los 31 enlaces en red extendida con que cuenta la empresa en todo el país; aunque el procedimiento es el mismo, cada cálculo en particular es distinto ya que los parámetros de cada enlace varían según el tipo de estación terrena (ya sea de baja, mediana o alta capacidad de transmisión), esto quiere decir que los equipos con que cuenta cada estación así como su localización y el uso para el cual fue diseñada hacen variar mucho los parámetros.

En este caso usaremos los datos de la estación maestra (México) que es una estación de alta capacidad con una de Mediana capacidad (Mexicali)

Cabe mencionar que los tipos de cálculo de enlaces varían de acuerdo al tipo de servicio que se preste, en este caso la empresa hace uso del sistema para la transmisión de voz y datos, transmitiéndola con la técnica SCPC en banda C, haciendo uso de los canales de banda angosta del satélite Morelos II. Estos datos más otros que se presentan en los primeros subtemas son la base para el detallado procedimiento de cálculo que se requiere para dar a conocer al dueño del sistema como está trabajando su red y así poder justificar el elevado costo de compra y mantenimiento de su versátil y poderosa adquisición

### 3.1 DATOS DEL SATELITE

SATELITE	MORELOS II
LONGITUD	116.5°
BANDA DE OPERACION	C
FRECUENCIA ASCENDENTE	67.90 MHz
FRECUENCIA DESCENDENTE	67.70 MHz
TIPO DE TRANSPONDEDOR	3N (36 MHz)
REGION DE COBERTURA	1
BACK OFF DE ENTRADA (BOI)	10.50 dB
BACK OFF DE SALIDA (BOO)	5.80 dB
ATENUADOR DE POSICION (ATP)	10.00 dB
POTENCIA ISOTROPICA RADIADA EFECTIVA (P.I.R.E) POR PORTADORA	MEXICO : 3.42 dBW MEXICALI : 2.97 dBW

### 3.2 DATOS DE LA SEÑAL A TRANSMITIR.

VELOCIDAD DE TRANSMISION	128.0 Kb/s
MODULACION	QPSK
ROLL OFF	0.56 %
FEC	1/2
BER	10 E -7

3.3 DATOS DE LAS ESTACIONES TERRENAS TRANSMISORA Y RECEPTORA

LOCALIDAD	MEXICO	MEXICALI	UNIDADES
LATITUD	19.35 N	32.65 N	GRADOS NORTE
LONGITUD	99.01 O	115.45 O	GRADOS OESTE
PERDIDAS EN LA GUIA DE ONDA	1	1	dB
DENSIDAD DE FLUJO POR PORTADORA	-127.63	-128.08	dBW/m <sup>2</sup>
DIAMETRO DE LA ANTENA	4.5	3.8	m
GANANCIA DE LA ANTENA TRANSMISORA (TX)	47.10	46.00	dB
GANANCIA DE LA ANTENA RECEPTORA (RX)	43.40	42.10	dB
TEMPERATURA TOTAL DEL SISTEMA	24	25	dB°K
Ed/No	5.4	5.4	dB
PERDIDAS POR ESPACIO LIBRE (Ls)	199.49	199.62	dB
PTRF	35.54	35.17	dBW
FRECUENCIA DE TRANSMISION	6.18	6.18	GHz
FRECUENCIA DE RECEPCION	3.95	3.95	GHz
FIGURA DE MERITO (G/T)	23.10	22.60	dB°K
DENSIDAD DE FLUJO EN SATURACION	-92.20	-91.10	dBW/m <sup>2</sup>
POTENCIA RADIADA EN SATURACION	38.25	37.15	dBW
DATOS	PARA	ENLACE	ASCENDENTE
POTENCIA NOMINAL REQUERIDA POR PORTADORA	-10.56	-9.63	dBW
POTENCIA NOMINAL REQUERIDA POR PORTADORA	0.088	0.104	W
DATOS	PARA	ENLACE	DESCENDENTE
POTENCIA RADIADA EN SATURACION	37.15	38.25	dBW
MAXIMA POTENCIA POR PORTADORA	12.30	12.30	dBW

3.4 DATOS DEL SATELITE PARA LAS LOCALIDADES DE INTERES.

LOCALIDAD	MEXICO	MEXICALI	UNIDADES
DFS	-92.20	-91.10	dBW/m <sup>2</sup>
P.I.R.E	38.25	37.15	dBW
G/T	6.40	5.30	dB/K
AJUSTE DE GANANCIA	3	3	dB
ANCHO DE BANDA DE LA SENAL	52.53	52.53	dB

3.5 PERDIDAS GENERADAS POR LA PRESENCIA DE FENOMENOS ATMOSFERICOS.

PARA LA TRAYECTORIA ASCENDENTE

LOCALIDAD	MEXICO	MEXICALI	UNIDADES
PERDIDAS POR ESPACIO LIBRE	199.49	199.62	dB
PERDIDAS POR APUNTAMIENTO	0.45	0.40	dB
PERDIDAS POR ABSORCION ATMOSFERICA	0.50	0.50	dB
PERDIDAS POR EL POLARIZADOR	0.00	0.00	dB
MARGEN POR PRECIPITACION	0.00	0.00	dB
CONSTANTE DE BOLTZMAN	-228.60	-228.60	dBW/Hz*°K

PARA LA TRAYECTORIA DESCENDENTE

PERDIDAS POR ESPACIO LIBRE	195.74	195.61	dB
PERDIDAS POR APUNTAMIENTO	0.40	0.45	dB
PERDIDAS POR ABSORCION ATMOSFERICA	0.50	0.50	dB
PERDIDAS POR EL POLARIZADOR	0	0	dB
MARGEN POR PRECIPITACION	0	0	dB
INTERFERENCIA DESCENDENTE POR SATELITES ADYACENTES (INTdes SADY)	-29.4	-29.4	dB
INTERFERENCIA DE LA POLARIZACION CRUZADA DESCENDENTE (INTdes CPOL)	-29.3	-29.3	dB
DENSIDAD DE INTERMODULACION DEL SATELITE (SAT INT)	-21.67	-21.67	dB
G/T DE LAS ESTACIONES TERRENAS	22.60	23.10	dB/°K

### 3.6 CALCULOS PRELIMINARES

En esta parte del desarrollo se realizan cálculos de otros parámetros que se usaron a lo largo del problema apoyándonos en las tablas que se presentan en el apartado 3.10

#### A) ANCHO DE BANDA

$$AB = \text{Vint} (FEC)^{-1} (FM) (1 + \text{ROLL OFF})$$

Sustituyendo tenemos

$$AB = 1280 (0.5)^{-1} (0.5) (1 + 0.56)$$

$$AB = 1992.68 \text{ KHz} \approx 200 \text{ KHz}$$

#### B) APUNTAMIENTO DE ANTENA Y DISTANCIA DE LAS ESTACIONES TERRENAS AL SATELITE.

##### B.1) MEXICO

B.1.1) Angulo de acimut :

$$A' = \tan^{-1} (\tan (116.50 - 99.00) / \text{Sen } 19.35)$$

$$A' = 43.57$$

$$A = 180 + 43.57$$

$$A = 223.5721^\circ$$

B.1.2) Angulo de elevación.

$$E = \tan^{-1} \left[ \frac{(R - R_e(w)) / (R_e \text{ Sen}(C \text{us}^{-1} w))}{C \text{os}^{-1} w} \right] - C \text{os}^{-1} w$$

Donde :

R = Distancia promedio del centro de la tierra al satélite ( 42164 . 255 Km )

R<sub>e</sub> = Radio promedio de la tierra ( 6378 . 155 Km ).

Altura del satélite en órbita geoestacionaria ( 35786 . 045 Km ).

$$w = \cos \Delta T_{1,1} (\cos [LONG_{1,1} - LONG_{1,1}])$$

$$w = \cos 19.35 (\cos (116.50 - 99.01))$$

$$w = 0.899$$

$$E = \tan^{-1} \left( \frac{(-42164.255 - 6378.155(0.899))}{6378.155(\sin(\cos^{-1}(0.899)))} \right) = \cos^{-1}(0.899)$$

$$E = \tan^{-1}(13.041) = \cos^{-1}(0.899)$$

$$E = 59.642^\circ$$

### B.1.3) DISTANCIA ENTRE MEXICO Y EL SATELITE MORELOS II

$$D = \left\{ R^2 + Re^2 - (2 Re(R) \sin(E + \sin^{-1}((Re/R) \cos E))) \right\}^{1/2}$$

Donde:

E = Elevación.

$$D = \sqrt{42164.255^2 + 6378.155^2 - (2(6378.155)(42164.255) \sin(59.642 + \sin^{-1}(\frac{6378.155}{42164.255} \cos 59.642)))}$$

$$D = 36537.402 \text{ Km}$$

## B.2) MEXICALI

B.2.1) Angulo de acimut:

$$A' = \tan^{-1}(\tan(116.50 - 115.45) / \sin 32.65)$$

$$A' = 1.945$$

$$A = 180 + 1.945$$

$$A = 181.945^\circ$$

B.2.2) Ángulo de elevación

$$E = \tan^{-1} \left[ \frac{(42164,255 - 6378,155 \cos 0,841)}{(6378,155 \sin(\cos^{-1}(0,841)))} \right] = \cos^{-1} 0,841$$

$$w = \cos 32,65 (\cos(116,80 - 115,45))$$

$$w = 0,841$$

$$E = 51,88^\circ$$

B.2.3) DISTANCIA ENTRE MEXICALI Y EL SATELITE MORELOS II

$$D = \sqrt{42164,255^2 + 6378,155^2 - (2(6378,155)(42164,255)) \sin(51,88 + \sin^{-1}(\frac{42164,255}{6378,155} \cos 51,88))}$$

$$D = 36962,141 \text{ km}$$

3.7 CALCULO DE LOS PARAMETROS DEL ENLACE ASCENDENTE.

A) RELACION PORTADORA A DENSIDAD DE RUIDO ASCENDENTE

$$\left(\frac{P}{N}\right)_{\text{Asc}} = \text{PIRE}_{\text{Ter}} + \left(\frac{P}{N}\right)_{\text{Sat}} - \alpha K - L_s - \mu - L_A \quad (\text{dBHz})$$

$$\left(\frac{P}{N}\right)_{\text{Asc}} = 35,54 + 6,40 - (-228,6) - 1,8 - 0 - 0,95 \quad (\text{dBHz})$$

Donde:

$L_A$  = Pérdidas por absorción atmosférica + Pérdidas por apuntamiento + Pérdidas por el polarizador.

$$L_A = 0,50 + 0,45 + 0 = 0,95$$

$$\mu = \text{Margen por precipitación} = 0$$

A.1) Pérdidas en el espacio libre ascendentes

$$L_s = 20 \log \left( \frac{4\pi F D}{C} \right)$$

Donde :

- F = Frecuencia ascendente en (Hz)
- D = Distancia entre la E / T y el satellite en (m)
- C = Velocidad de la luz ( 3E8 m/seg )

Sustituyendo.

$$L_{S_{ASC}} = 20 \log \left( \frac{4\pi(6,18E9)(36587,27E3)}{3E8} \right)$$

$$L_{S_{ASC}} = 199,52 \text{ dB}$$

Por lo tanto:

$$\left( \frac{C}{N_s} \right)_{ASC} = 70,07 \text{ dB} - 117$$

B) RELACION PORTADORA A RUIDO.

$$\left( \frac{C}{N} \right)_{ASC} = \left( \frac{C}{N_s} \right)_{ASC} - 10 \log(\Delta B)$$

$$\left( \frac{C}{N} \right)_{ASC} = (70,07)_{ASC} - 10 \log(179,20E3)$$

$$\left( \frac{C}{N} \right)_{ASC} = 17,566$$

C) RELACION PORTADORA A RUIDO ASCENDENTE DEL SISTEMA.

$$\left( \frac{C}{N} \right)_{ASC - SIST} = 10 \log \left[ \frac{\left( \frac{C}{N} \right)_{ASC} + \left( \frac{C}{N} \right)_{E/T} + \left( \frac{C}{N} \right)_{SATELITE} + \left( \frac{C}{N} \right)_{SATADY}}{10} \right]$$

C.1) IPBO de la portadora.

$$IPBO = DFS - PIRE_{E/T} + LP_{ASC} + ATP$$

Donde :

$$LP_{ASC} = 10 \log (4\pi D^2)$$

D = Distancia entre la estación terrena y el satélite en (m)

Sustituyendo

$$IPBC = -92 - 20 \cdot 35 - 54 + 1p_{\text{asc}} + 10$$

$$1p_{\text{asc}} = 10 \log (4\pi (36537 - 402 \text{ E } 3)^2)$$

$$1p_{\text{asc}} = 173 - 238 \text{ dB}$$

$$IPBC = -92 - 20 \cdot 35 - 54 + 173 - 238 + 10$$

$$\underline{IPBC = 55 - 498 \text{ dB}}$$

C.2) C/I Intermodulación ascendente.

$$C/I \text{ intermodulación} = -HPA \text{ int} - IPBC - 10 \log (AB)$$

\*En este caso no hay valor para -HPA int

$$C/I \text{ int} = -0 - 55 - 498 - 10 \log (179 - 20 \text{ E } 3)$$

$$C/I \text{ int} = -108.031 \text{ (no hay valores negativos) por tanto es } 0.$$

$$\underline{C/I \text{ int} = 0 \text{ No hay.}}$$

C.3) C/X Polarización cruzada ascendente.

$$C/X \text{ pol cruz} = - \text{Int asc CPOL} - IPBC - 10 \log (AB)$$

$$C/X \text{ pol cruz} = -(-138 - 04 - 55 - 498 - 52 - 533)$$

$$\underline{C/X \text{ pol cruz} = 30 \text{ dB}}$$

C.4) C/X Polarización cruzada ascendente por satélites adyacentes.

$$C/X \text{ pca sat ady} = - \text{Int asc SADY} - IPBC - 10 \log (AB)$$

$$C/X \text{ pca sat ady} = -130 - 43 - 55 - 498 - 52 - 533$$

$$\underline{C/X \text{ pca sat ady} = 22 - 399 \text{ dB}}$$

Por lo tanto la relación Portadora a ruido ascendente del sistema será

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{ASC-SIST} = 10 \log \left[ \frac{1}{A \log \left[ \frac{(17.56)}{10} \right] + A \log \left[ \frac{(01)}{10} \right] + A \log \left[ \frac{(1.01)}{10} \right] + A \log \left[ \frac{(22.099)}{10} \right]} \right]$$

$$\underline{\underline{\left(\frac{C}{N}\right)_{ASC-SIST} = 16.15 \text{ dB}}}$$

\* Esta es la relación ascendente del sistema de transmisión de México hacia el satélite. El mismo cálculo se realiza para el momento en que Mexicali transmite hacia México y su valor es **14.98 dB**.

### 3.8 CALCULO DE LOS PARAMETROS DEL ENLACE DESCENDENTE.

#### A) RELACION PORTADORA A DENSIDAD DE RUIDO DESCENDENTE.

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{DES} = PIRE_{SAT} + \left(\frac{P}{T}\right)_{10} - k - L_s - \mu - LA \quad (\text{dBHz})$$

Donde :

$$k = -228.6 \text{ (cte. de Boltzman)}$$

$$\mu = 0$$

$$LA = 0 + 0.50 + 0.40 = 0.90$$

$$PIRE_{sat} = 3.42 \text{ dBW}$$

A.1) Pérdidas por el espacio libre descendente.

$$L_s \text{ desc} = 20 \log \left( \frac{4\pi r D}{C} \right)$$

Donde :

$$F = \text{Frecuencia descendente (Hz)}$$

Sustituyendo.

$$L_{S_{DESC}} = 20 \log \left( \frac{4\pi(3.95E.9)(3690.2144E.3)}{318} \right)$$

$$L_{S_{DESC}} = 125.72 \text{ dB}$$

Por lo tanto sustituyendo en la ecuación original tenemos

$$\left(\frac{c}{N}\right)_{DBS} = PIRE_{S_{VI}} + \left(\frac{c}{N}\right)_{T/D} - k - 1.5 - \mu - 1.5 \quad (\text{dBHz})$$

$$\left(\frac{c}{N}\right)_{DBS} = 3.42 + 22.60 - (-228.6) - 195.22 - 0 - 0.90$$

$$\left(\frac{c}{N}\right)_{DBS} = 58.05 \text{ (dBHz)}$$

B) RELACION PORTADORA A RUIDO DESCENDENTE.

$$\left(\frac{c}{N}\right)_{DBS} = \left(\frac{c}{N}\right)_{DBS} - 10 \log(AB) \text{ dB}$$

$$\left(\frac{c}{N}\right)_{DBS} = 58.11 - 10 \log(179.20E.3) \text{ dB}$$

$$\left(\frac{c}{N}\right)_{DBS} = 5.576 \text{ dB}$$

C) RELACION PORTADORA A RUIDO DESCENDENTE DEL SISTEMA.

$$\left(\frac{c}{N}\right)_{DESC-SIST} = 10 \log \left[ \frac{\left(\frac{c}{N}\right)}{10} + \frac{\left(\frac{c}{N}\right)}{10} + \frac{\left(\frac{c}{N}\right)}{10} + \frac{\left(\frac{c}{N}\right)}{10} \right]$$

C.1) OPBO POR PORTALIZORA

$$OPBO = BCO - BOI - IPBO$$

$$OPBO = 5 \cdot 80 - 10 \cdot 50 - 55 \cdot 498$$

$$OPBO = 50 \cdot 798$$

C.2) C/I Intermodulación descendente

$$C/I_{int} = -SAT_{INT} - OPBO - 10 \log(AB)$$

$$C/I_{INT} = -(-21.67) - 50 \cdot 798 - 10 \log(179 \cdot 20E3)$$

$$C/I_{int} = 23 \cdot 40 \text{ dB}$$

C.3) C/X Polarización cruzada descendente.

$$C/X_{pcd} = -INT_{desCPOL} - OPBO - 10 \log(AB)$$

$$C/X_{pcd} = -(-29 \cdot 3) - 50 \cdot 798 - 10 \log(179 \cdot 20E3)$$

$$C/X_{pcd} = 31.03 \text{ dB}$$

C.4) C/X Polarización cruzada por satélites adyacentes.

$$C/X_{pc \text{ sat ady des}} = PIRE_{sat} - (INT_{desSADY} - Gant_{Rx}) - 10 \log(AB)$$

$$C/X_{pc \text{ sat ady des}} = 3 \cdot 42 - (-29 \cdot 4 \cdot 42 \cdot 10) - 10 \log(179 \cdot 20E3)$$

$$C/X_{pc \text{ sat ady des}} = 22 \cdot 40 \text{ dB}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación inicial tendremos que:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{DESC-SIST} = 10 \log \left[ \frac{1}{10^{\Delta \log \left( \frac{15.571}{10} \right)} + 10^{\Delta \log \left( \frac{21.40}{10} \right)} + 10^{\Delta \log \left( \frac{31.03}{10} \right)} + 10^{\Delta \log \left( \frac{22.40}{10} \right)}} \right]$$

$$\underline{\underline{\left(\frac{C}{N}\right)_{DES - SIST} = 5.41 \text{ dB}}}$$

### 3.9 CALCULOS PARA LA EVALUACION DEL ENLACE.

A) RELACION PORTADORA A DENSIDAD DE RUIDO TOTAL DEL SISTEMA

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{TOT - SIST} = 10 \log \left[ \frac{1}{\frac{1}{10 \log\left(\frac{16.25}{10}\right)} + \frac{1}{10 \log\left(\frac{5.41}{10}\right)}} \right]$$

$$\underline{\underline{\left(\frac{C}{N}\right)_{TOT - SIST} = 4.95 \text{ dB}}}$$

B) RELACION PORTADORA A RUIDO REQUERIDO

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{REQ} = \frac{P}{N} + 10 \log(\text{vel} - \text{inf}) - 10 \log(\Delta B)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{REQ} = 6.41 + 10 \log(128.0E3) - 10 \log(179.20E3)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{REQ} = 4.948 \text{ dB}$$

C) MARGEN DE ENLACE

$$ME = (C/N)_{rec} - (C/N)_{tra}$$

$$ME = 4.95 - 4.94$$

$$ME = 0.01 \text{ dB}$$

D) PORCENTAJE DE POTENCIA CONSUMIDA POR LA PORTADORA.

$$\% \text{ Pot} = \left[ \text{Alog} \left( \frac{\text{PIRE}_{sat} - \text{PIRE}_{sat_{ur}} + \text{BOO}}{10} \right) \right] (100)$$

$$\% \text{ Pot} = \left[ \text{Alog} \left( \frac{3.42 - 37.15 + 5.80}{10} \right) \right] (100)$$

$$\% \text{ Pot} = 0.16 \%$$

E) CALCULO DE LA POTENCIA DEL HPA

$$POT_{HPA} = PIRE_{HT} + G_{TA} + L_{HPA \text{ ANT}} + BOO_{HPA}$$

$$POT_{HPA} = 35.54 - 47.10 + 1 + 0$$

$$POT_{HPA} = -10.56 \text{ dBW}$$

### 3.10 TABLAS DE DATOS

**TABLA CON LOS DATOS DE RASTREO PARA ESTACIONES TERRENAS UBICADAS EN LAS CIUDADES LISTADAS, CON RESPECTO AL SATELITE MORELOS I**

ESTACIÓN	CARTEL	LONGITUD (GR)	LATITUD (GR)	Altura
ACAPULCO	11.93	97.93	64.81	219.97
ACUÑA	21.95	102.33	66.43	208.03
AGUILAR	19.90	99.29	64.93	231.37
AGUILERA	21.09	95.90	61.66	251.30
AGUIRI	21.75	106.39	62.27	193.18
AGUIRIANA	24.78	99.33	67.84	212.66
AGUIRIANA	18.50	89.21	61.98	236.03
AGUIRIANA	28.56	112.09	63.67	195.24
AGUIRIANA	17.85	97.50	64.87	219.59
AGUIRIANA	18.86	94.21	65.49	228.01
AGUIRIANA	14.23	103.33	63.89	207.50
AGUIRIANA	18.47	99.23	62.45	218.11
AGUIRIANA	24.92	107.40	61.17	194.26
AGUIRIANA	24.02	84.57	67.19	200.89
AGUIRIANA	20.72	103.88	61.12	206.77
AGUIRIANA	27.07	100.97	66.81	165.27
AGUIRIANA	19.55	95.92	63.28	211.56
AGUIRIANA	24.45	110.37	61.52	187.61
AGUIRIANA	21.07	101.25	61.65	211.03
AGUIRIANA	25.80	97.51	64.88	213.29
AGUIRIANA	24.20	106.41	61.68	197.52
AGUIRIANA	20.93	82.63	63.60	231.09
AGUIRIANA	25.25	115.45	61.95	176.39
AGUIRIANA	19.25	99.00	61.91	217.95
AGUIRIANA	25.68	100.30	65.65	208.42
AGUIRIANA	19.30	101.18	62.95	212.94
AGUIRIANA	17.07	96.73	62.20	225.75
AGUIRIANA	20.13	98.73	61.01	217.46
AGUIRIANA	19.03	98.50	61.64	220.00
AGUIRIANA	25.53	100.43	61.70	213.50
AGUIRIANA	25.42	100.98	67.14	207.35
AGUIRIANA	22.15	100.98	60.43	210.50
AGUIRIANA	22.21	97.85	60.53	216.54
AGUIRIANA	14.91	92.26	59.90	236.50
AGUIRIANA	21.52	104.90	62.96	202.41
AGUIRIANA	12.52	117.03	61.96	173.45
AGUIRIANA	19.32	96.23	59.97	223.22
AGUIRIANA	19.28	99.67	62.41	216.71
AGUIRIANA	23.53	103.35	68.06	202.56
AGUIRIANA	16.75	93.12	59.44	232.20
AGUIRIANA	19.20	96.13	59.99	223.57
AGUIRIANA	17.98	92.95	60.41	230.53
AGUIRIANA	22.78	102.68	60.61	206.49
AGUIRIANA	20.00	109.28	63.28	210.11

ANGULOS DE APUNTAMIENTO PARA ESTACIONES TERRENAS UBICADAS EN ALGUNA DE LAS SIGUIENTES CIUDADES CON RESPECTO AL MORELOS 2

SITIO	AZIMUTH	ELEVACION
ACAPULCO	225.75	72.14
AGUAS CALIENTES	234.23	52.75
CAMPICHE	245.19	52.40
CANCUAN	247.25	48.44
CD. JUAREZ	259.57	41.49
CD. VICTORIA	277.64	52.54
CHETUMAL	287.41	58.25
CHERCHIL	291.07	54.64
CHILPANCIINGO	297.43	61.63
COAHUILCO DE LOS ROSALES	297.49	52.97
COAHUILA	294.63	61.13
COATEPEC	293.80	51.80
CUBIACAN	293.89	59.22
DALLAS	294.16	35.25
DURANGO	297.23	58.90
GUADAJAJARA	293.38	61.42
HERMOSILLO	191.27	55.54
HUSTON	218.99	48.47
JALAPA	226.75	68.01
LA PAZ	149.71	59.71
LEON GARCIA	217.17	57.64
LOS ANGELES	177.16	50.40
MATAMOROS	218.25	51.08
MAZATLAN	201.31	60.56
MERIDA	234.81	50.96
MEXICALI	181.92	51.97
MEXICO D.F.	223.55	59.78
MIAAMI	239.74	39.97
MONTERREY	213.84	54.95
MORELIA	219.10	61.03
OAXACA	230.76	59.73
PACHUCA	222.96	58.92
PUEBLA	225.41	59.42
QUERETARO	219.40	59.78
SALTILLO	212.90	55.58
SAN FRANCISCO	170.62	45.13
SAN LUIS POTOSI	216.37	58.67
TLPIAC NAYARIT	209.23	61.56

# CAPITULO 4

EVALUACION

DEL

PROYECTO

## CAPITULO 4

### EVALUACION DEL PROYECTO

#### INTRODUCCION.

En este capítulo se hace mención de los resultados obtenidos al finalizar el desarrollo del proyecto lo cual nos ayudara a determinar en que grado nos ha sido de utilidad el haber desarrollado este tipo de cálculos e investigaciones.

Como se menciona al principio del capítulo 3, el cálculo de un enlace via satélite, es una etapa en el diseño de un sistema de comunicaciones, en la cual se operan los parámetros ajustables con los que opera el enlace, es decir se manejan los valores que el operador puede variar de tal manera que al hacerlo el sistema pueda operar en forma optima. Refiriéndonos a tales valores como, las potencias de Tx y Rx, a la configuración de los equipos de las estaciones terrenas, etc.

Teniendo esto en cuenta, este capítulo muestra un formato en el cual se conoce como memoria técnica del enlace en el se muestran los resultados de los calculos realizados tanto para la estación central como para la estación remota, presentandose hasta el final los parametros que nos indican la calidad del enlace. Posteriormente se presenta un formato en el cual se mencionan los pasos que se efectuan al hacer la evaluación del funcionamiento del equipo ya instalado y puesto en operación.

Notaremos que lo realizado es la base comparativa de los valores de operación del equipo ya instalado y trabajando con los valores calculados en el diseño del sistema.

Tal comparación de valores calculados y leídos directamente en el equipo nos dan la facultad de saber si el enlace trabaja como se esperaba o si hay que hacer ajustes a la configuración del diseño.

Si se presentara el segundo caso se hace uso de los cálculos del enlace para averiguar en que punto esta la falla y darle solución rápidamente al problema.

Contar con esta documentación ahorró tiempo y esfuerzo tanto a los proveedores de sistemas de comunicaciones quienes suelen dar mantenimiento a las redes, así como a los operadores del sistema ya que la falta en algún momento del sistema ocasiona grandes pérdidas de tiempo, información y dinero, pues mientras el sistema está inactivo también estarán suspendidas todas las operaciones que en él se realizan y estamos hablando de operaciones a nivel nacional e internacional lo cual acarrea tener que hacer uso de medios alternos, comúnmente rentados a otras compañías del servicio de comunicación.

#### 4.1 MEMORIA TÉCNICA DEL ENLACE MEXICO - MEXICALI.

Aquí se presenta un documento que se llama memoria técnica del enlace, la cual contempla los valores manejados para realizar los cálculos del mismo, se dan los valores obtenidos en el proceso para las dos estaciones, esto es, el cálculo realizado en el capítulo 3 fue hecho para una de las estaciones y como este se realiza para los dos los resultados finales se presentan en este formato.

### CALCULO DE ENLACES VIA SATELITE

#### TRANSPONDER BANDA C ANGOSTO

CENTRAL EN : D.F.  
REMOTA EN : MEXICALI

#### DATOS GENERALES DEL ENLACE

Tasa de transmisión	Kb/s	128.0
FEC		1/2
Modulación		QPSK
Ancho de banda	KHz	179.20

### PARAMETROS GENERALES

		CENTRAL	REMOTA
Diámetro de la antena	mts	4.50	3.80
Frecuencia de transmisión	GHz	6.18	6.18
Frecuencia de Recepción	GHz	3.95	3.95
Ganancia de la antena en transmisión	dB	47.10	46.00
Ganancia de la antena en Recepción	dB	43.40	42.10
Figura de Merito (G/T) de la E/T	dB/K	23.10	22.60
Densidad de flujo en saturación	dBW/m <sup>2</sup>	-92.20	-91.10
Potencia radiada en saturación	dBW	38.25	37.15
Figura de Merito (G/T) del satélite	dB/K	6.40	5.30
Ajuste de ganancia	dB	3.00	3.00
Back off de entrada	dB	10.50	10.50
Back off de salida	dB	5.80	5.80
Ancho de banda de la señal	dB	52.53	52.53

### ENLACE ASCENDENTE

		CENTRAL	REMOTA
Back off de entrada	dB	10.50	10.50
PIRE/ Portadora desde la E/T	dBW	35.54	35.17
Pérdidas por Espacio Libre	dB	199.49	199.62
Pérdidas por apuntamiento	dB	0.45	0.40
Pérdidas por Absorción Atmosférica	dB	0.50	0.50
Pérdidas por Polarizador	dB	0.00	0.00
Constante de Boltzman	dBW/Hz-K	-228.60	-228.60
Margen por precipitación	dB	0.00	0.00
Figura de Merito (G/T) del satélite	dB/K	6.40	5.30
Densidad de flujo por portadora	dBW/m <sup>2</sup>	-127.63	-128.08
Relación C/No Ascendente	dB	70.10	68.56
Relación C/N Ascendente	dB	17.57	16.02
Relación C/I Por Intermodulación en el HPA	dB	0.00	0.00
Relación C/X por Polarización Cruzada	dB	30.00	30.00
Relación C/X por Satélites adyacentes	dB	22.40	22.40
Relación C/N Ascendente del sistema	dB	16.15	14.98

**POTENCIA NOMINAL REQUERIDA EN EL HPA**

		CENTRAL	REMOTA
PIRE/Portadora desde la E/T	dBW	35.54	35.17
Pérdidas en la guía de onda	dB	1.00	1.00
Back off de salida	dB	0.00	0.00
Gainancia de la antena en Transmisión	dB	47.10	46.00
Potencia Nominal requerida/Portadora	dBW	-10.56	-9.83
Potencia Nominal requerida/Portadora	W	0.088	0.104

**ENLACE DESCENDENTE**

		CENTRAL	REMOTA
Potencia radiada en saturación	dBW	37.15	38.25
Back off de salida	dB	5.80	5.80
PIRE/Portadora desde el satélite	dBW	3.42	2.97
Máxima Potencia por Portadora	dBW	12.30	12.30
Pérdidas por Espacio Libre	dB	195.74	195.61
Pérdidas por apuntamiento	dB	0.40	0.45
Pérdidas por Absorción Atmosférica	dB	0.50	0.50
Pérdidas por el Polarizador	dB	0.00	0.00
Constante de Boltzman	dBW/Hz-K	-228.60	-228.60
Margen por precipitación	dB	0.00	0.00
Figura de Merito (G/T) de la E/I	dB/K	22.60	23.10
Relación C/No Descendente	dB	57.99	58.11
Relación C/N Descendente	dB	5.45	5.58
Relación C/I Por intermodulación en el TP	dB	23.40	23.40
Relación C/X por Satélites adyacentes	dB	22.40	22.40
Relación C/X Interferencia TPs y ADY	dB	31.00	31.00
Relación C/N Descendente del Sistema	dB	5.29	5.41

**CALIDAD DEL ENLACE**

		CENTRAL	REMOTA
Relación C/N Total del Sistema	dB	4.95	4.95
Relación Eb/No	dB	6.41	6.42
Eb/No requerido ( BER = 10E-7 )	dB	5.40	5.40
Margen de Eb/No	dB	1.01	1.02
Disponibilidad	%	> 99.999	> 99.999

Este tipo de formatos se realizan para cada enlace de la red y son los que ayudan a los operadores y diseñadores a verificar datos de operación de diseño con los valores reales de operación ayudando así a la solución más rápida de problemas sufridos por el sistema.

También son empleados en la solicitud de servicio a TELECOMM ya que pide estos cálculos y algunos documentos más como se verá en uno de los anexos como requisito para poder comenzar los trámites de solicitud de servicio a la S.C.T. del sistema de satélites Morelos y Solidaridad.

Por lo tanto enfocándonos a lo que es el desarrollo del cálculo de un enlace se corrobora que los cálculos realizados en base a los lineamientos que solicitaba la empresa para el diseño de su sistema fueron cumplidos ya que la empresa en un principio presentó la siguiente requisición con sus respectivos fundamentos de operación en base a la infraestructura con que cuenta:

#### SITUACION DE LA EMPRESA AL INICIO DEL DESARROLLO DEL SISTEMA.

La empresa en cuestión cuenta con una red de comunicaciones para apoyar el funcionamiento de la misma tanto en aspectos de operación de la red como en servicios administrativos.

La red de la empresa consta de varios medios:

1. Microondas privadas.
2. Radio VHF.
3. Ondas portadoras por líneas de alta tensión (OPLAT).
4. Circuitos Urbanos y de larga distancia arrendados a Telmex.

Esta red de comunicaciones juega un papel muy importante en el funcionamiento de la red nacional de operaciones de la misma por lo que se requería contar con enlaces de alta confiabilidad y calidad.

Para completar su red actual la institución requería una red satelital que se usara para dar los servicios de comunicación requeridos en algunos puntos en los que es difícil proporcionarlos por otros medios y reforzar algunas rutas ya existentes.

La topología de la red que se propuso implantar es del tipo anillo ya que esta configuración es la que mejor satisface las necesidades de la empresa de acuerdo a su estructura organizacional y a los requerimientos de comunicaciones de cada plaza.

El acceso al satélite sería utilizando la tecnología SCPC ( una portadora por canal ), con las capacidades de transmisión de 128 y 64 kbps.

Esta red se usará para transporte tanto de señales de voz como de datos, usando los equipos multiplexores necesarios.

De acuerdo a la estructura total de la red en operación normal nunca se tendrán dos saltos de satélite en la comunicación de voz aunque en algunas ocasiones de emergencia se puede permitir acceder a un punto a través de 2 saltos de satélite.

Como se mencionó la red satelital que se propone instalar será complementaria a la red actual, la instalación de la red satelital aumentará considerablemente la disponibilidad de los enlaces y la cobertura de la red.

El departamento de comunicaciones requeriría entonces de una red con las siguientes características:

1. Una E/T maestra diseñada para operar en la banda C ( 6/4 GHz ), y acceder a los satélites Morelos I y II y en su oportunidad a los satélites Solidaridad mediante la técnica de acceso SCPC.

2. La estación debería estar compuesta por:

- Un sistema de antenas
- Amplificadores de bajo ruido ( LNA )
- Amplificadores de alta potencia ( HPA )
- Convertidores ascendentes y Descendentes
- Modems Digitales
- Combinadores de Radio Frecuencia y Accesorios Adicionales

Para operar con multiplexores inteligentes para el manejo de señales de voz y datos por la técnica de acceso al satélite ( DAMA ) y Asignación dinámica de ancho de banda.

3. Así mismo la estación remota deberá estar diseñada para operar en la banda C ( 6/4 GHz ), para operar con la estación maestra mediante SCPC. Cada estación remota contará con :

- Un sistema de antenas
- LNA'S
- HPA'S
- Convertidores ASC y DESC
- Amplificadores de potencia
- Convertidores ASC y DESC de potencia
- Modems digitales
- Combinadores de RF
- Accesorios

Para trabajar con señales de voz y datos por DAMA y Asignación dinámica del ancho de banda.

Se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones también:

1. El atenuador se consideró posicionado en 3 dB según información proporcionada por Telecomm.
2. Se considera que el satélite opera con un Back off de entrada de 10.5 dB y uno de salida de 5.8 dB, también de acuerdo a información proporcionada por Telecomm.
3. La potencia asignada a cada portadora se selecciono de manera tal que se tuviera un margen entre 4 y 5 dB y sin exceder la potencia asignada en la tarifa de Telecomm 0025.
4. También se calcula la disponibilidad del enlace producido por la atenuación de lluvia, que como se sabe en caso de Banda C es poco significativa.

5. Se requiere de un margen de operación del sistema con un porcentaje cercano al 100% de disponibilidad.

Como podemos ver la empresa requiere un sistema con ciertas características de operación de acuerdo a la infraestructura con que se contaba y con la que se pretendía adquirir.

Finalmente en los cálculos del enlace, los valores obtenidos cumplieron con los lineamientos requeridos. Ahora con esta información se podrá mantener los equipos trabajando eficazmente en torno a los parámetros de operación obtenidos.

Finalmente se presenta un formato en el cual se le realizan pruebas al equipo ya puesto en operación.

#### 4.2 PRUEBA DE OPERACION REALIZADA AL ENLACE MEXICO - MEXICALI

##### DE LA EMPRESA EN CUESTION.

El siguiente formato es una serie de pruebas que los proveedores del sistema en coordinación con los nuevos operadores de la red realizan para comprobar que el enlace este operando como se planeo. Este tipo de pruebas se le aplica a todos los enlaces de la red, los cuales suelen tener algunas fallas, aunque no graves y de rápida solución.

En este caso observaremos cual fue el resultado del funcionamiento de este enlace y así mismo nos daremos cuenta de como interviene el cálculo del enlace en este tipo de evaluaciones.

FORMATO PARA LA RECEPCION DEL EQUIPO DE COMUNICACIONES DE LA  
EMPRESA PROPIETARIA DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES VIA  
SATELITE.

13 DE FEBRERO DE 1995

1. IDENTIFICACION DE LA ESTACION.

NOMBRE DE LA ESTACION : Estacion Mexicali

AREA : Mexicali II

SITIO DE LA INSTALACION : Sala de comunicaciones.

DOMICILIO : Carretera Unión km 2.5 Mexicali B.C.

2. DATOS TECNICOS DEL ENLACE.

SATELITE : Morelos II BANDA C TRANSPONDEDOR : 3N

AZIMUTH : 181.945° ANGULO DE ELEVACION : 51.88°

VELOCIDADES DE ENLACE (KBI/S) : 128

FRECUENCIA DE ACCESO AL SATELITE (MHz) : 67.90 = Tx

FRECUENCIA DE BAJADA DEL SATELITE (MHz) : 67.70 = Rx

MAXIMA POTENCIA A RADIAR POR LA E/T SEGUN LA (SCT) EN (dBW) :

MEXICO : 38.25 MEXICALI : 37.15

MAXIMA POTENCIA A RADIAR POR EL SATELITE A LA E/T SEGUN (SCT) EN (dBW) :

MEXICO : 37.15 MEXICALI : 38.25

### 3 ESTADO DE LA INSTALACION

#### INSTALACION EXTERNA

Comentarios de la obra civil: La obra civil se realizó en la azotea del sitio según lo dispuesto por la empresa propietaria.

#### CABLEADO ELECTRICO Y DE SEÑAL

Escalerilla: OK

Ducto: OK

#### SISTEMA DE TIERRA FISICA

Tierra propia: General

#### SISTEMA DE PARARRAYOS

Propio: General

#### INSTALACION INTERNA

ILUMINACION: Normal  Emergencia:

#### TEMPERATURA (°C).

Regulada: 25°C Sin regular:

#### ACCESO A EQUIPOS

Frontal:  Trasera:

RACK DE MONTAJE: Sin puertas, 1.94 m

#### CABLEADO ELECTRICO Y DE SEÑAL:

Escalerilla:  Ducto:

#### CONEXION DE TIERRA FISICA:

Propia:  Común:

#### ALIMENTACION ELECTRICA REGULADA.

SI:  NO:  Volts ( +/- VAC ) 120

UPS EN LINEA: SI:  NO:

TIEMPO DE RESPALDO (Hrs ó min): 2 HORAS

4 REGISTRO DE EQUIPOS INSTALADOS

EQUIPO EXTERIOR.

ANTENA .

Tipo: offset Diámetro: 3.8m Marca: Prodelin

Modelo: 3.8m reflector No. de Serie: 428

UNIDAD DE RF :

Sencilla: X Redundante: Marca: SSE

Modelo: 405018-49 No. de Serie: 01-01798

AMPLIFICADOR DE SALIDA :

Marca: SSE Modelo: 405018-49 No. de Serie: 01-01798

EQUIPO INTERIOR.

MODEM :

Marca: Comst Rearm Modelo: Minilink No. de Serie: 61637

MULTIPLEXOR :

Marca: Timeplex Modelo: Minilink No. de Serie: c2031316

PUENTE / ENRUTADOR :

Marca: Cisco System Modelo: M6s No. de Serie: 3000SRR

DCP - III :

Marca: Corporate Comduler System Modelo: LCP III No. de Serie: D31316

MODEM V.22 :

Marca: SMARTLINK Modelo: 2400 UM No. de Serie: 820103106

## 5 VERIFICACION DE EQUIPOS.

RADIO - Potencia Nominal (Watts) : 5

### MODEM

Velocidad de enlace (kbps) : 128

Modulación : QPSK

F.C. : 1.72

BER (del Modem) :  $6 \times 10^{-4}$

Sincronía ( tiempo en que se establece ) : 20 seg

Memoria de los parámetros de operación.

Niveles de Tx y Rx :      EQ = 12.6 dB      rx = 19.0 dBm

Alarmas : Ninguna

### MULTIPLEXOR

Número de Nodo : Nodo 08

Número de Canales de Voz : 8      Compresión (kbps) : 8

Número de Canales de Datos a 64 kbps : 0

Número de Canales de Datos a 192 kbps : 2

### INTERFASE FISICA AL USUARIO.

Voz : Digital      Datos : DB25      Alarmas : Ninguna

### PUENTE / ENRUTADOR.

Configuración a nivel tarjeta :

Direcciones :

Alarmas : Ninguna

SISTEMA DE ADMINISTRACION Y CONTROL (LCP - III VIA MODEM V 22).

Pruebas de Acceso al Sistema de Monitoreo OK

Alarmas y Facilidades de Administración OK

Pruebas Para Verificar Caída de la Estación OK

DATOS DEL PROVEEDOR DE SERVICIOS PARA REPORTE DE FALLAS.

6. PRUEBAS DE ENLACE.

ENLACE MEXICO - MEXICALI

LOOP :

Potencia de portadora de Tx (dBm) ( ) (-19.0)  
Eb / No (dB) ( ) (12.2)  
Nivel de Rx en LOOP (dB) ( ) (12.2)  
BER (x 10 exp ( ) ) ( ) (6 x 10<sup>-5</sup>)

Alarmas : Ninguna

( ) Valor de acuerdo a especificaciones de la empresa o de cálculo de enlace con tolerancias.

( ) Valor obtenido en la prueba

ENLACE.

Potencia de la portadora en (dBm) : ( -9.83 ) (-19.0)  
Eb / No (dB) : ( 6.42 ) (12.6)  
Nivel de Rx del Enlace dB : ( ) (12.6)  
BER ( x 10 exp ( ) ) : ( 1x10E-7 ) ( 1 x 10E-5 )

Alarmas : Ninguna

**7 DOCUMENTACION**

CONFIGURACIONES Completas

DIAGRAMAS Completos

MANUALES Completos

**B COMENTARIOS A LAS PRUEBAS DE APLICACION DE LOS SERVICIOS DE VOZ Y DATOS**

VOBO DE LAS PRUEBAS DE ACEPTACION

RESULTADO DE LAS PRUEBAS

ACEPTADO

NO ACEPTADO

COMENTARIOS GENERALES

REALIZO PRUEBAS

CARGO :

PARTICIPANTES :

CARGOS :

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

GENERALES

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES GENERALES

A lo largo de este trabajo nos hemos percatado de la serie de elementos que integran el desarrollo de un enlace de enlace vía satélite y el papel que juega el mismo en la evolución del funcionamiento del sistema de comunicaciones.

En base a esto podemos hacer mención de las siguientes conclusiones a nivel general sobre las investigaciones realizadas en la elaboración de este trabajo.

#### CONCLUSIONES.

##### SOBRE EL SISTEMA.

**Primera:** Que las telecomunicaciones por satélite son hoy parte integrante del mundo Interconectado por cables. Y que desde su inicio, en 1965 aproximadamente, las telecomunicaciones por satélite han creado una red telefónica global con conmutación automática, no obstante que desde 1956 los cables telefónicos submarinos comenzaron a conectar operacionalmente a los continentes mediante circuitos telefónicos de fácil obtención, sólo las telecomunicaciones por satélite han permitido superar todos los obstáculos terrenales y establecer enlaces de telecomunicaciones totalmente fiables, no sólo para telefonía sino también para televisión y todos los tipos de transmisiones de datos, cualquiera que sea su distancia y la inaccesibilidad de los lugares a conectarse.

**Segunda:** Que el servicio fijo por satélite es un servicio de radiocomunicación entre puntos fijos determinados en la superficie de la tierra cuando se utilizan uno o más satélites y que estas estaciones situadas en puntos fijos en la superficie de la tierra se denominan estaciones terrenas del servicio fijo por satélite, así mismo las estaciones a bordo de satélites, que consisten principalmente en los transpondedores de satélite y antenas asociadas, se denominan estaciones espaciales del servicio fijo por satélite.

**Tercera:** Al conjunto de estaciones espaciales y estaciones terrenas que funcionan juntas para proporcionar radiocomunicaciones se le denomina Un sistema de satélite y por motivos de conveniencia, se establece una distinción para el caso en particular de un sistema de satélite y sus estaciones terrenas asociadas, a lo que se le denomina red de satélite.

**Cuarta:** El servicio fijo por satélite comprende también los enlaces de conexión, es decir los enlaces entre una estación terrena situada en un punto fijo determinado y una estación espacial o viceversa, que transmiten información para un servicio de radiocomunicaciones espaciales distinto al servicio fijo por satélite. Esta categoría comprende los enlaces ascendentes a los satélites de radiodifusión y los enlaces entre estaciones terrenas costeras y satélites del servicio móvil marítimo por satélite.

**Quinta:** Las principales señales transmitidas por los enlaces del servicio fijo por satélite son: telefonía, telegrafía, facsimil, transmisión de datos y programas de televisión y radiofónicos. Los enlaces descendentes que encaminan los dos últimos tipos de transmisión mencionados están excluidos del servicio fijo por satélite en el caso de la recepción pública general directa, pues están cubiertos por el servicio de radiodifusión por satélite.

**Sexta:** El segmento espacial de un sistema de telecomunicaciones por satélite consiste en los satélites y en las facilidades en tierra que efectúan las funciones de telemetría, comando y seguimiento, así como el apoyo logístico para los satélites.

**Séptima:** El segmento terrestre es el nombre con que se denomina la parte de un sistema de telecomunicaciones por satélite que está constituida por las estaciones terrenas que transmiten a los satélites y reciben de estos señales de tráfico de todas clases y constituyen la interfaz con las redes terrenales, por lo que estas comprenden todo el equipo terminal de un enlace por satélite como lo son las antenas transmisoras y receptoras, el sistema receptor con una unidad de acceso de amplificador de bajo nivel de ruido, el transmisor, los equipos de modulación, demodulación y transposición de frecuencias.

**Octava:** Los sistemas de telecomunicaciones por satélite tienen un cierto número de características que son peculiares del Servicio Fijo por Satélite como lo son:

1. Los enlaces por satélite permiten la comunicación entre puntos sobre la superficie de la tierra sin ninguna estructura intermedia.

2. Para ser cubiertos por el satélite los puntos a dar servicio deben estar situados no solo en la región de la tierra visible desde el satélite geostacionario sino también dentro de las zonas geográficas cubiertas por los haces de las antenas del satélite, denominándose a estas zonas de cobertura del sistema de telecomunicaciones por satélite.

3. Como el satélite está colocado a una distancia muy grande de la tierra la enorme pérdida de propagación en el espacio libre ( unos 200dB a 6 GHz ) deben compensarse en la tierra mediante:

- ANTENAS DE ELEVADA GANANCIA ( GRAN DIAMETRO, ALTA CALIDAD DE FUNCIONAMIENTO ) CON BAJA SENSIBILIDAD AL RUIDO Y A LA INTERFERENCIA.
- RECEPTORES DE ALTA SENSIBILIDAD ( CON UN NIVEL DE RUIDO INTERNO MUY BAJO).
- TRANSMISORES DE GRAN POTENCIA.

#### SOBRE EL ENLACE.

**Novena:** El cálculo de enlace permite determinar la calidad de un canal de transmisión establecido, así como la calidad de dicho enlace en función de las técnicas de modulación empleadas. En forma inversa, a partir de ciertos objetivos de calidad y disponibilidad, es posible concebir un enlace determinado, cada uno de sus parámetros y diseñar así el sistema.

**Décima:** Dentro del cálculo de un enlace es posible distinguir dos trayectorias principales. El trayecto tierra - satélite ( enlace ascendente ) y el trayecto satélite - tierra ( enlace descendente ). Advirtiéndose también que el satélite se emplea únicamente para amplificar, cambiar de frecuencia y re emitir a tierra las señales que recibe.

**Décimo primera:** Que el objetivo principal para la evaluación de la calidad del enlace es la determinación de la relación señal a ruido obtenida en la estación terminal del enlace, antes de demodular la información, la cual está en función de los parámetros característicos del satélite y las estaciones terrenas emisora y receptora.

**Décimo segunda:** La calidad de la información en un enlace por satélite está caracterizada por la relación señal a ruido (S/N) después del demodulador en el caso de transmisiones analógicas, y por la tasa de bits en error (BER) en el caso de transmisiones digitales. Anexando que estos parámetros a su vez dependen de la relación portadora a temperatura de ruido (C/T) antes del demodulador, la cual nos indica la calidad del canal de transmisión, de las técnicas de modulación empleadas así como de las características reales de los equipos utilizados.

**Décimo tercera:** Que es necesario que durante la etapa de diseño del sistema se consideren ciertos márgenes tomando en cuenta que los parámetros reales de los equipos ( demoduladores, filtros, etc. ) puedan alejarse un poco de sus características teóricas y en segundo lugar para prevenir alguna degradación de la señal o aumento del ruido ( perturbaciones debidas a los enlaces terrestres, a trayectorias múltiples, a la transmisión en un canal adyacente, etc. ).

**Décimo cuarta:** Durante el diseño del sistema, además de los criterios de calidad del servicio, se deberán especificar los periodos de tiempo durante los cuales se permitirá una interrupción del canal, es decir la disponibilidad del mismo.

**Décimo quinta:** Un enlace del servicio fijo por satélite definido entre los extremos de un circuito de referencia ( de acuerdo a la recomendación 352-2 del (CCIR) ), deberá considerarse interrumpido si existe al menos una de las condiciones siguientes en alguno de los extremos de recepción del enlace durante más de 10 segundos consecutivos

1. La señal de información no es recibida en alguno de los dos extremos del enlace.
2. En transmisiones analógicas, la potencia ponderada de ruido en un punto de nivel relativa 0 es superior a  $10E6$  pico watts.
3. En transmisiones digitales, la tasa de bits en error es superior a  $10E-3$ .

4. El tiempo total de interrupciones de un canal no debe sobrepasar el 0.2 % de un año.

Así pues, considerando los datos estadísticos de propagación, podemos determinar el porcentaje de tiempo durante el cual se prevé una interrupción del enlace y verificar que se cumplan los criterios de disponibilidad especificados.

**Décimo sexta :** Que para determinar la relación señal a ruido se deben determinar los niveles de señal y de ruido recibidos en cada uno de los trayectos del enlace, para posteriormente evaluar la relación señal portadora a ruido en el enlace completo.

**Décimo séptima :** Que en el desarrollo de los cálculos generalmente se emplea la temperatura de ruido, la cual permite identificar la calidad del canal de transmisión independientemente del ancho de banda en el cual se mide el ruido y de los filtros utilizados en la recepción.

**Décimo octava :** Conociendo las estadísticas de atenuación debida a las condiciones atmosféricas, se determina la relación portadora a temperatura de ruido esperada en la entrada del receptor de la estación terrena durante los diferentes porcentajes de tiempo especificados en los objetivos de calidad del CCIR. Y que es posible entonces deducir la relación señal a ruido (S/N) o la tasa de bits en error correspondiente, y verificar de esta forma que el sistema satisfará los criterios de calidad perseguidos.

**Décimo novena :** Resumiendo, cada una de las etapas que componen el cálculo del enlace aglutinan una serie de conceptos físicos y procedimientos matemáticos que nos permiten manejarlos por separado; ya que en las dos primeras partes se trata de obtener las relaciones (C/N) totales correspondientes, en tanto que en la última parte se determina el margen del enlace.

**Vigésima :** El margen del enlace es el parámetro que nos indica la calidad total del enlace, que considera los requerimientos de calidad en la información del equipo receptor y la calidad de la información proporcionada por el enlace.

**Vigésima primera :** Cuando se diseña un enlace debe tomarse algún criterio de diseño que fije las condiciones en las que se espera, o bien, se desea que el enlace opere satisfactoriamente, de ahí, que una vez establecidos dichos criterios se considera si el margen del enlace es bueno o no; en caso de ser satisfactorio, se da por concluido el cálculo y se procede a la recuperación de los valores correspondientes a los parámetros más relevantes como son la PIRE de E/T y la PIRE del satélite por portadora, esto es, las potencias controlables de nuestro enlace. Para el caso en que el margen del enlace no sea adecuada se realizara nuevamente el cálculo bajo diferentes condiciones de potencia, para lo cual debemos cambiar el valor de la potencia con la que transmite la E/T, así hasta obtener los resultados deseados.

#### EN GENERAL.

**Vigésima segunda :** Se comprendió que los grandes corporativos y los grandes organismos de gobierno han sido los usuarios tradicionales de la infraestructura de telecomunicaciones satelitales, pero con el desarrollo de tecnologías como los sistemas VSAT ( Very Small Aperture Terminals; Terminales de apertura muy pequeña), este tipo de recursos están siendo utilizados por un mayor número de usuarios, estos y los proveedores de servicios satelitales aseguran que los niveles de seguridad y confiabilidad son altos.

**Vigésima tercera :** Que a pesar de que suelen asociarse altos costos a los servicios satelitales así como instalaciones muy complicadas de gran tecnología, la realidad es que ya están al alcance de la pequeña y mediana empresa en caso de ser necesario. No es un servicio muy caro y puede adaptarse fácilmente bajo ciertas circunstancias.

**Vigésima cuarta :** Se puede concluir diciendo que es necesario que todo aquel que evalúe la posibilidad de adoptar sistemas de enlace vía satélite para sus redes este plenamente conciente de los principales riesgos a los que se enfrenta y de que, nuevamente, la capacitación y establecimiento de políticas de seguridad y operación, son las principales herramientas para asegurar un correcto funcionamiento de los equipos de telecomunicaciones.

# ANEXOS

ANEXO A

ANEXO B

ANEXO C

ANEXO D

ANEXO E

## ANEXO A

### REQUERIMIENTOS PARA LA INSTALACION DE UNA ESTACION TERRENA

#### ACTIVIDADES PARA LA INSTALACION DE UNA ESTACION TERRENA.

##### 1 - DEFINICION DEL PROYECTO

Es el punto de partida de nuestras actividades, donde se deben conocer básicamente los siguientes aspectos:

- Especificación técnica de los equipos
- Requerimientos operativos generales

##### 1.1.- Especificación técnica de los equipos

###### a) Reglas Generales

- Que no tenga muchas opciones
- No muy detallada
- No centrada alrededor de un solo proveedor
- Que considere expansiones

###### b) Especificaciones Generales de los Equipos

- Características de diseño:
- Estado Solido
- Puntos de prueba
- Buena Ingeniería
- Accesorios

- Condiciones ambientales
- Temperatura
- Humedad
- Interferencia Electrónica

## 1.2 - Requerimientos Operativos Generales

- a) Frecuencia
- b) Confiabilidad
- c) Supervisión y Mantenimiento

## 2 - INVITACION AL CONCURSO

### 2.1.- Elaboración de Bases

### 2.2.- Tipo de Concurso

- a) Nacional o Internacional
- b) Licitación Mayor o Menor

### 2.3.- Definición del lugar donde estarán a disposición las bases e indicar si estas son gratuitas o tienen algún costo.

### 2.4.- Apertura de oferta

### 2.5.- Fecha de falla

## 3 - SELECCION DEL PROVEEDOR

### 3.1.- Calificación de deficiencias

### 3.2.- Puntuación

### 3.3.- Entrevistas aclaratorias

#### 4- CONTRATACION

4.1.- Control de avance y tiempos de entrada

4.2.- Penalizaciones y fianza

4.3.- Modificaciones y adiciones

4.4 Garantía:

a) Operación

b) Calidad

c) Refacciones

4.5.- Forma de pago

a) Moneda

b) Costos fijos y variables

c) Lugar

d) Vigencia

4.6.- Visitas a planta

4.7.- Pruebas de equipos

4.8.- Impuestos y permisos

#### 5- ESTUDIO DE CAMPO

5.1.- Topografía del terreno

5.2.- Resistividad del suelo

5.3.- Línea de vista del satélite

## 6. DECISION DE SITIOS

Propuesta con los sitios definitivos (donde se instalará la estación terrena)

## 7. CAPACITACION DEL PERSONAL

### 7.1 - Puntos importantes

- a) Asignarle recursos económicos
- b) Asignar dos personas por arrea (si se trata de una red)
- c) Entrenamiento en fabrica y en campo

### 7.2 - La capacitación debe estar orientada a:

- a) Necesidades específicas de la empresa
- b) De acuerdo a las políticas de operación y mantenimiento
- c) Todo el personal involucrado

### 7.3 - Definición de cursos y programas

- a) Duración
- b) Contenido
- c) Facilidades
- d) Lugar

## 8. PRUEBAS EN FABRICA

8.1.- Debe ser definida y aceptada antes de iniciarse

8.2.- Cada prueba debe ser aceptada por escrito

8.3.- Las tallas específicas deben ser identificadas por escrito y las correcciones deben ser aceptadas con pruebas

8.4.- Pruebas al equipo

8.5.- Pruebas al sistema

8.6.- Asignarles tiempo necesario y recursos

8.7.- No permitir el envío del equipo hasta su aceptación definitiva

#### 9.- CONSTRUCCION DE LA BASE PARA ANIENA

9.1.- Orientación del centro de la base al satélite

9.2.- Excavación

9.3.- Armado

9.4.- Colocación de anclas

9.5.- Colado

#### 10.- CONSTRUCCION DE CASETA PARA EQUIPOS

10.1.- Las dimensiones de la caseta deben ser apropiadas de acuerdo a la configuración de los equipos, considerando ampliaciones del equipo

10.2.- Se debe considerar la ubicación del tablero de energía de alimentación, de aire acondicionado, salida de guía de onda, contactos, etc.

#### 11.- SISTEMA DE TIERRA

11.1.- Para protección de descargas atmosféricas o faltas del equipo

11.2.- Para trabajo y servicio

#### 12.- SUMINISTRO DE ENERGIA

12.1.- Energía eléctrica comercial de 1 o 3 fases según las especificaciones del equipo

12.2.- Sistema de energía ininterrumpible AC ( AC - UPS )

### 13 - INSTALACION DE ANTENA

- 13.1 - Disponibilidad de herramienta y equipo de manobras
- 13.2 - Desempaquetado y revisión de partes
- 13.3 - Identificación y clasificación de las partes de la estructura, tornillería y accesorios
- 13.4 - Montaje de la estructura del soporte del reflector
- 13.5 - Amado del reflector
- 13.6 - Amado y colocación del subreflector
- 13.7 - Montaje general
- 13.8 - Alineación y nivelación de la antena

- a) Nivelación de todos los paneles del reflector
- b) Separación uniforme entre panel y panel para evitar tener pérdidas
- c) Alineación de paneles del reflector para tener la excentricidad interna y externa uniforme
- d) Ajuste del subreflector

13.9.- Colocación del alimentador y guía de onda

13.10.- Cableado

- a) Para LNA
- b) Alimentación para motores de azimuth, elevación, ventiladores, termostatos
- c) Para detectores de ángulo

### 14.- INSTALACION DE EQUIPO

- 14.1.- Distribución del equipo de acuerdo a la configuración dada
- 14.2.- Colocación de transmisores, receptores y equipo terrestre
- 14.3.- Cableado interno

15.- PRUEBAS DEL EQUIPO

15.1.- Pruebas de un solo equipo

- a) Respuesta en frecuencia, retardo de grupo

15.2.- Pruebas de equipos combinados sistemáticamente

- a) Características de BB a FI
- b) Características de RF a RF
- c) Características de FI a FI, etc

- 15.3.- Se recomienda realizar el mayor número de pruebas posibles, sin embargo considerando la restricción del tiempo es necesario elegir los tipos de prueba esenciales

16.- PUESTA EN SERVICIO

16.1.- Ajuste de estación

- a) Diagnostico de equipo
- b) Ajuste final

16.2.- Ajustes del sistema

- a) Entrega
- b) Supervisión del proveedor
- c) Inicios de garantía

17.- MANTENIMIENTO Y SUPERVISION

17.1.- Organización del mantenimiento

- a) Areas de cobertura
- b) Localización de centros de mantenimiento y reparación
- c) Nivel de mantenimiento : Modulo, tarjeta, componente

- d) Fote de equipo de pruebas y herramientas
- e) Contratacion de mantenimiento
- 17.2- Mantenimiento correctivo
  - a) Filosofia del mantenimiento
  - b) Supervision de equipo
  - c) Tiempo de espera
- 17.3- Mantenimiento preventivo
  - a) Corridos de diagnostico
  - b) Visitas periodicas
  - c) Ajuste de niveles y calibracion
  - d) Alimentacion
  - e) Limpieza

## 18.- SUPERVISION

- 18.1.- Condiciones de operacion del equipo
- 18.2.- Ejercicios de alarmas y controles
- 18.3.- Estadisticas

## ANEXO B

### PROCEDIMIENTO PARA LA CONTRATACION DEL SERVICIO PERMANENTE DE CONDUCCION DE SEÑALES DIGITALES POR EL SISTEMA DE SATELITES NACIONALES, PARA EL ESTABLECIMIENTO DE REDES PRIVADAS O PUBLICAS, CON INFRAESTRUCTURA TERRESTRE PROPIA.

El segmento espacial de los satélites nacionales, se asignará bajo contrato de servicio que celebren con TELECOMM, los usuarios solicitantes que hayan obtenido, o estén tramitando el permiso correspondiente con la secretaria de comunicaciones y transportes, conforme a lo señalado en el reglamento de telecomunicaciones, capítulo II sección IV " De los permisos para redes privadas de telecomunicaciones ", artículos 44 y 45 ; y capítulo 5 sección II " Tipos de permisos ", artículo 58 y Sección III " Instalación y Operación ", Artículos 61, 62, 63, 64, 65 y 66

Al ser factible la asignación del segmento espacial solicitado, ya sea en la banda "Ku" o banda "C" del sistema de satélites nacionales, el usuario deberá entregar en la gerencia de servicios para redes de voz y datos, la siguiente documentación legal para formular el contrato del tipo de servicio correspondiente :

Persona Moral Privada.

A) Original y copia fotostática del testimonio de la escritura pública con la que se acredite la constitución de la empresa, que muestre su inscripción en el registro público de la propiedad y del comercio.

B) Original y copia fotostática del testimonio del poder notarial con el que se acrediten las facultades, para celebrar actos de administración, del representante legal que firmara el contrato de servicio por parte de la empresa, que muestre su inscripción en el registro público de la propiedad y del comercio.

Nota: Los originales solo se cotajaran con las copias y se regresarán de inmediato a la misma persona que entregue los documentos.

- C) Copia del registro federal de contribuyentes de la empresa (vigible)
- D) Copia del permiso expedido por la S.C.T. para instalar, operar y mantener las estaciones terrenas para su red privada, o copia de la solicitud de tramite que haya sido presentada a la S.C.T. (Que muestre el sello de recepción)
- E) Comprobante del domicilio declarado por el usuario para recibir la facturación del servicio
- F) Póliza de fianza en favor de TELCOMM, para garantizar el pago del servicio durante la vigencia del contrato, por un monto equivalente a tres veces el cargo mensual del servicio.

Con esta documentación, en TELCOMM se hará el llenado del contrato tipo en 4 tantos, con sus anexos técnicos que describen los principales parámetros y capacidad a asignar, los cuales serán entregados al usuario para su firma, en un plazo no mayor de 3 días hábiles, el contrato de servicio deberá ser firmado en primera instancia por el solicitante del servicio

Paralelamente el usuario deberá presentar, en la gerencia de servicios para redes de voz y datos, un tanto de la memoria técnica y cálculos de enlace, conforme a la guía, formato y tablas que se anexan. Esta información será revisada por personal de nuestra gerencia de asignación de recursos satelitales, el que, de ser necesario, podría llamar por telefono al representante técnico de el usuario para posibles aclaraciones, modificaciones o ajustes en algunos parámetros. Una vez aprobada esta información técnica, se asignaran internamente las frecuencias y sus parámetros de acceso al satélite y banda, correspondientes.

En un plazo no mayor de 5 días hábiles, contados a partir de la fecha del oficio con que se entregan los contratos de servicio al usuario, este deberá regresarlos a la gerencia de servicios para redes de voz y datos, debidamente firmados en la ante firma y rubricados en todas sus páginas, así como firmado el anexo técnico, junto con los requisitos que estuvieran pendientes (al momento de su entrega se revisara que este completo de documentos y firmas. No se recibe si no esta completo).

Una vez recibido el contrato de servicio y cubiertos los requisitos, se hará la notificación por escrito de las frecuencias y sus parámetros, con oficio dirigido al representante legal de la empresa y al domicilio declarado en el anexo técnico para recibir documentación oficial y la facturación mensual. Esta notificación es, a la vez, la autorización para acceder al satélite en las frecuencias asignadas y la facturación se presentará de inmediato con efectos a partir de los 8 días posteriores a la fecha del oficio de notificación. El contrato será sancionado por nuestro juicio y firmado por TELECOMM nuestro director comercial y se entregará un tanto al usuario.

Para el acceso al satélite, el usuario se deberá coordinar con el centro de control de satélites ubicado en CONTEL Iztapalapa, siguiendo el protocolo que se indicará junto con la notificación de frecuencias.

La documentación legal, técnica y comercial, se podrá recibir de o entregar a la persona o proveedor que designe, por escrito dirigido a TELECOMM, el representante legal de la empresa que este contratando el servicio. Este consentimiento será solo para entregar o recibir documentos con papel membretado y firma de la empresa contratante del servicio. TELECOMM no asume responsabilidad alguna por los atrasos en que pudieran incurrir estas personas, ya que para entregar los documentos del usuario a TELECOMM o para trasladar documentos de TELECOMM al usuario, no existen cargos adicionales por contratación de servicio. Todos los cargos que aplica TELECOMM son por tarifa autorizada y contra factura de TELECOMM.

La solicitud inicial de servicio, deberá estar dirigida a:  
TELECOMUNICACIONES DE MEXICO ( TELECOMM ).  
ING. ZEFERINO OLMEDO L.  
SUBDIRECTOR COMERCIAL DE SISTEMAS SATELITALES  
EJE CENTRAL LAZARO CARDENAS # 567 PISO 10 ALA SUR.  
COLONIA NARVARTE 03028 MEXICO D.F.

Para entrega de la documentación legal, técnica, cálculos de enlace, contratos de servicio, información y atención al público, acudir o llamar a:

TELECOMUNICACIONES DE MEXICO (TELECOMM)

GERENCIA DE SERVICIOS PARA REDES VOZ Y DATOS

ATENCIÓN: VICTOR F. BRIONES P.

EJE CENTRAL LAZARO CARDENAS # 567 PLANTA BAJA ALA NORTE

COLONIA NARVARIE 03028 MEXICO D.F.

(EDIFICIO TORRE CENTRAL DE TELECOMUNICACIONES)

TELS. 915 - 530 2099 Y 915 - 629 1159 ( VICTOR F. BRIONES P.)

915 - 519 8010 Y 915 - 629 1253 ( ARACELI ANDRADE C. )

FAX: 915 - 5190371

EL PERMISO DE LA S. C. T. PARA INSTALAR, OPERAR Y MANTENER ESTACIONES TERRENAS PARA ESTABLECER UNA RED PRIVADA DE COMUNICACIONES POR SATÉLITE SE TRAMITA EN:

S. C. T.

DIRECCION GENERAL DE NORMAS Y POLITICAS DE COMUNICACIONES

DIRECCION DE RADIOCOMUNICACION Y ENLACES DE LARGA DISTANCIA

EUGENIA # 197 5º PISO

COL. NARVARIE

03020 MEXICO D.F.

ATN. ING. CARLOS GIRON GARCIA ( DIRECTOR DEL AREA )

TELS. 915 - 6878 5776 (D) 915 - 530 3060 EXT. 2766

FAX. 915 - 6829161

AGOSTO 1994

## ANEXO C

### INFORMACION QUE DEBE CONTENER LA MEMORIA TECNICA

#### I. Datos generales de la empresa

Descripción general de la red que se desea instalar, con un resumen de las portadoras, 2 velocidades de información y modulación, requerida.

#### II. Configuración de las estaciones terrenas

Diagramas de configuración y topología de la red  
Diagramas de la(s) estación(es) en la república

#### III. Descripción funcional de la red y las estaciones.

Total de recursos satelitales requeridos  
Información típica por portadora.  
Técnica de acceso.

#### IV. Especificaciones técnicas del equipo.

Subsistema de modulador - demodulador.  
Convertidor ascendente/descendente, sintetizadores ágiles, en pasos fraccionados dentro de los 500 MHz ya sea para banda C ó Ku o independientemente para Tx y Rx ( cuando se usen en haces conmutados). Patrones de radiación de la antena y que deberá cumplir con la envolvente 29 - 25 LOG 0.  
Se recomienda el uso de 4 puertos para la polarización de ambas bandas ( para servicio protegido, esto es requisito indispensable).  
Tipo de montaje (diagramas AZ - EL ).  
Amplificador de alta potencia (HPA) y pasos de sistema.  
Temperatura del equipo amplificador (LNA) (LNB) y/o (LNC).  
Unidad exterior (ODU).  
Folletería de cada subsistema. Esto es, del modelo que se esta proponiendo utilizar.

V Cálculos de enlace por portadora de acuerdo al formato de TELECOMM (anexo) para cada banda y servicio

VI Estudios de interferencia terrestre para cada localidad

Para servicio en banda C, los usuarios deberán realizar estudios de campo y teóricos de interferencias terrestres y presentar copia de los resultados

VII Información anexa

Datos del responsable técnico de la red y de cada sitio (teléfono, fax, telex, etc )  
Número de homologación de equipos o comprobante de tramite.

VIII Presentación de la documentación

En dos tantos, tamaño carta, encuadernada, numerada y fechada.

Número de versión

Cualquier solicitud de modificación de su red, deberá presentarse con la modificación de la memoria técnica respectiva

No es requisito indispensable la firma del perito.

ENERO 1995  
GSRVD

## ANEXO D

### FORMATO DE UNA MEMORIA DE CALCULO DE ENLACE

<b>DATOS GENERALES</b>	<b>LOCALIDAD " A " LOCALIDAD " B "</b>
------------------------	--

DIAMETRO DE LA ANTENA	m
FRECUENCIA DE OPERACION	GHz
GANANCIA DE LA ANTENA DE TRANSMISION	dBi
GANANCIA DE LA ANTENA DE RECEPCION	dBi
TEMPERATURA TOTAL DEL SISLMA	dB°K
FIGURA DE MERITO (G/T) DE LA E/T	dB/m
DENSIDAD DE FLUJO EN SATURACION (SFD)	dB
AJUSTE DE GANANCIA	dB/°K
FIGURA DE MERITO DEL SATELITE	dB
BACK OFF DE ENTRADA	

E/T TRANSMISORA  
 E/T RECEPTORA  
 CONFIABILIDAD UTILIZADA

<b>ENLACE ASCENDENTE</b>
--------------------------

PERDIDAS POR DISPERSION	dBm <sup>2</sup>
PERDIDAS POR ABSORCION ATMOSFERICA	dB
BACK OFF DE ENTRADA EN EL TRANSPONDEDOR	dB
EIRP/PORTADORA DESDE LA E/T	dBW
PERDIDAS POR ESPACIO LIBRE	dB
PERDIDAS POR APUNTAMIENTO	dB
PERDIDAS POR POLARIZADOR	dB
CONSTANTE DE BOLTZMAN	dBJ/°K
MARGEN POR PRECIPITACION	dB
RELACION G/T DEL TRANSPONDEDOR	dB/°K
RELACION C/No ASCENDENTE	dB-Hz
RELACION C/I POR INIERMODULACION EN EL HPA	dB
RELACION C/X POR POLARIZACION CRUZADA	dB
RELACION C/X POR SATELITES ADYACENTES	dB
RELACION C/N ASCENDENTE DEL SISTEMA	dB

**POTENCIA NOMINAL REQUERIDA EN EL HPA**

PIRE/PORTADORA DESDE LA E/T	dBW
PERDIDAS EN GUIA DE ONDA	dB
BACK OFF DE SALIDA	dB
GANANCIA DE LA ANTENA EN TX	dB
PERDIDAS POR EFICIENCIA POR FIDAD	dB
POTENCIA NOMINAL REQUERIDA/PORTADORA	dBW
POTENCIA NOMINAL REQUERIDA/PORTADORA	W
MARGEN POR PRECIPITACION	dB
POTENCIA REGULADA BAJO CONDICIONES DE PRECIPITACION	dBW
MARCA, MODELO Y POTENCIA DEL HPA	

E/T TRANSMISORA

E/T RECEPTORA

CONFIABILIDAD UTILIZADA

**ENLACE DESCENDENTE**

POTENCIA RADIADA EN SATURACION POR T.P.	dBW
BACK OFF DE SALIDA	dB
PIRE/PORTADORA DESDE EL SATELITE	dBW
PERDIDAS POR ESPACIO LIBRE	dB
PERDIDAS POR APUNTAMIENTO	dB
PERDIDAS POR POLARIZADOR	dB
MARGEN POR PRECIPITACION	dB
CONSTANTE DE BOLTZMAN	dBJ/ <sup>o</sup> K
FIGURA DE MERITO (G/T) DE LA E.T	dB/ <sup>o</sup> K
RELACION C/No DESCENDENTE	dB-Hz
RELACION C/N DESCENDENTE	dB
RELACION C/I POR INTERMODULACION EN T.P.	dB
RELACION C/X POR SATELITES ADYACENTES	dB
RELACION C/X INTERFERENCIA IP'S ADY.	dB
RELACION C-N DESCENDENTE DEL SISTEMA	dB

**FACTOR DE CALIDAD DEL ENLACE GLOBAL**

RELACION Eb/No	dB
RELACION C/N TOTAL DEL SISTEMA	
RELACION S/N PARA SEÑALES ANALOGICAS EN FM/FDMA	dB
RELACION C/N TOTAL VS C/N REQUERIDA PARA SEÑALES DIGITALES PSK/FDMA FEC (FORWARD ERROR CORRECTION)	dB

**SUMARIO DE POTENCIAS REQUERIDAS EN EL SATELITE**

No PORTADORA	ORIGEN DESTINO	DIAMETRO E/T TX	PIRE DE LA E/R TX	PIRE DEL SATELITE UTILIZADO	% PIRE DEL SATELITE
--------------	----------------	-----------------	-------------------	-----------------------------	---------------------

**SUMARIO DE ANCHO DE BANDA REQUERIDOS EN EL SATELITE**

No PORTADORA	ORIGEN DESTINO	VELOCIDAD KBPS	MODULACION	BW UTILIZADO MHz	% BW UTILIZADO EN EL T.P
--------------	----------------	----------------	------------	------------------	--------------------------

## ANEXO E

### MONTAJES Y CARACTERÍSTICAS DE LAS ANTENAS USADAS EN LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES VIA SATELITE MENCIONADAS EN ESTE TRABAJO, Y APLICACIONES DE LAS ESTACIONES ESPACIALES EN LO REFERENTE A LAS COMUNICACIONES VIA SATELITE.

En la siguiente figura se muestran los tipos de montaje mencionados en el apartado 2.8 (teoría de antenas), página 145, en el cual se mencionan 3 tipos de montajes:

- 1 - Montaje Azimut - Elevación (X - Z).
- 2 - Montaje X - Y
- 3 - Montaje Polar.

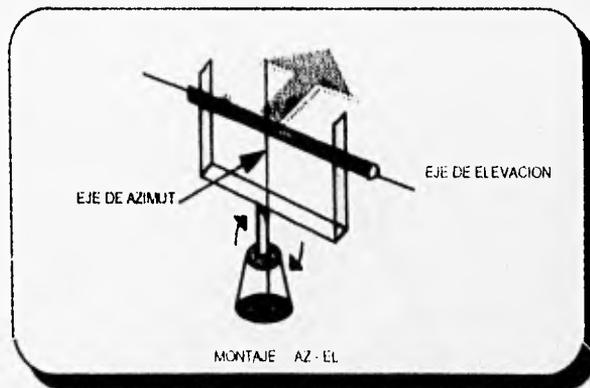


FIGURA E 1 MONTAJE AZIMUT - ELEVACION (X - Y)

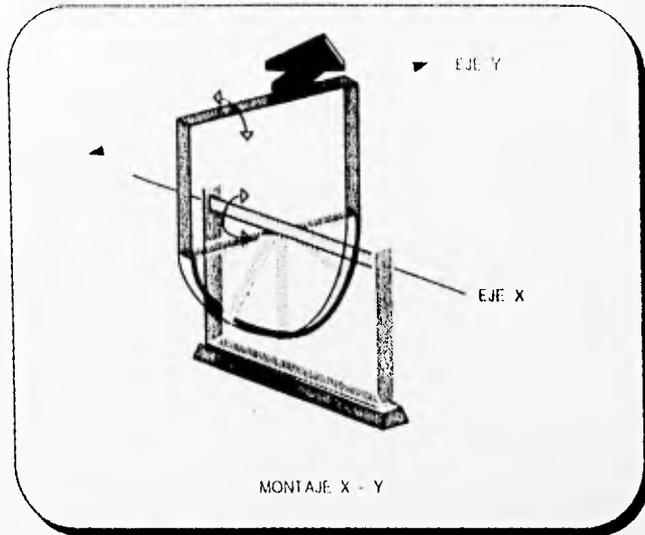


FIGURA E 2 MONTAJE X - Y

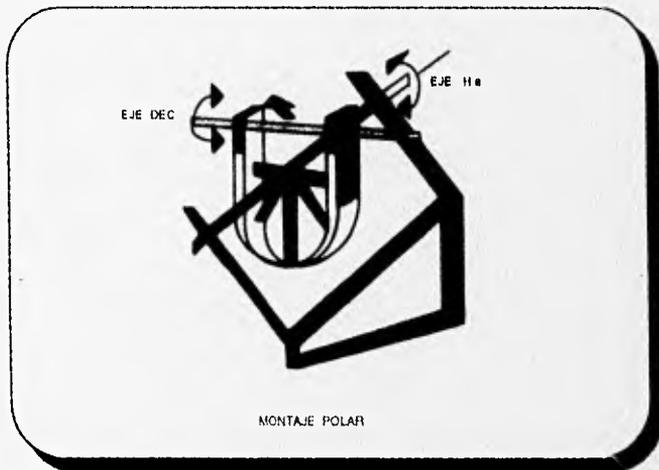


FIGURA E 3 MONTAJE DE TIPO POLAR

Se hizo mención también de la antena PARABOLICA cuyas características son:

- CONFIGURACION SIMPLE
- EFICIENCIA REDUCIDA DE LA ABERTURA POR NO PODER APLICAR LA CONFORMACION DEL REFLECTOR
- TEMPERATURA DE RUIDO ELEVADA, DEBIDO A UN GRAN DESBORDAMIENTO DE POTENCIA DEL REFLECTOR PRINCIPAL.
- MALA ACCESIBILIDAD POR EL GRAN DIAMETRO DE LA ANTENA DADO QUE EL ALIMENTADOR Y EL LNA DEBEN ESTAR JUNTO AL RADIADOR PRIMARIO (BOCINA)
- SON EMPLEADAS EN ESTACIONES TERRENAS DE TAMAÑO PEQUEÑO.

Y de la antena CASSEGRAIN, de la cual podemos decir que:

- TIENE GRAN EFICIENCIA Y BAJA TEMPERATURA DE RUIDO, PORQUE SE PUEDE CONFORMAR EL REFLECTOR.
- TIENE BUENA ACCESIBILIDAD DEBIDO A QUE EL ALIMENTADOR Y EL LNA SE PUEDEN INSTALAR EN LA SALA DE EQUIPOS, DETRAS DEL REFLECTOR PRINCIPAL.
- PATRON DE RADIACION BASTANTE BUENO.
- EMPLEADA EN ESTACIONES TERRENAS DE SISTEMAS NACIONALES O REGIONALES.

En la figura E4 se presentan las diferencias de la antena CASSEGRAIN y PARABOLICA y en la figura E5 se muestra la configuración de la antena Cassegrain en lo que es su estructura física.

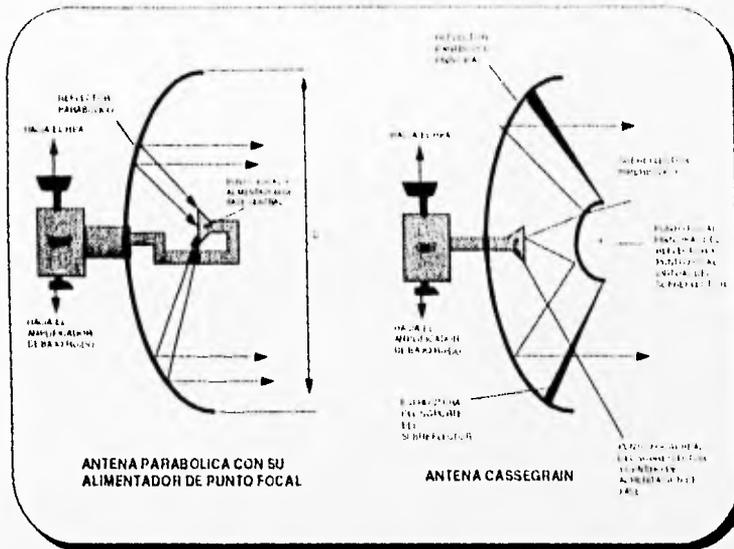


FIGURA E 4 . CARACTERISTICAS DE LAS ANTENAS CASSEGRAIN Y PARABOLICA.

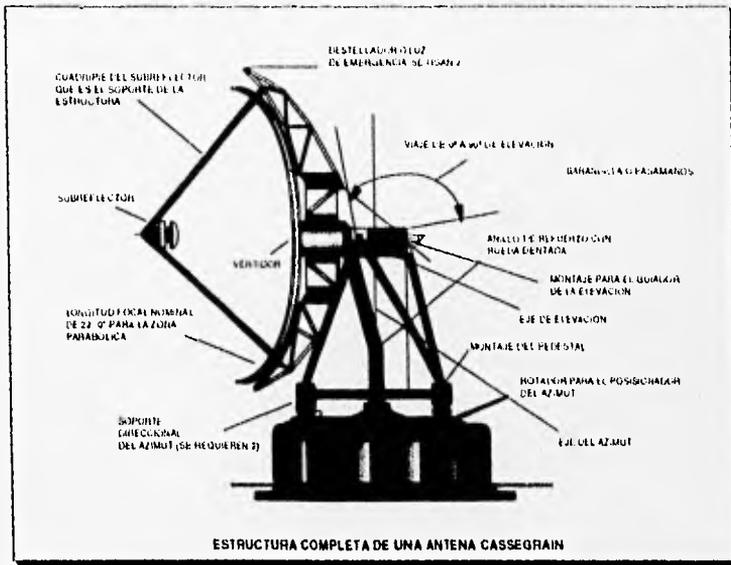


FIGURA E 5. DESCRIPCION FISICA DE UNA ANTENA CASSEGRAIN.

En la figura E 6 se muestra la antena utilizada en la estación terrena de Tulancingo Hidalgo, México. Esta antena tiene 30 metros de diámetro y se usa en comunicaciones internacionales esto es, que recibe y transmite información de y hacia todo el mundo.

En la figura E 7 se muestra una antena pequeña de entre 3 y 5 metros de diámetro, este tipo de antenas son las que se emplean en estaciones terrenas remotas como las que se mencionaron a lo largo del trabajo y que se localizan en estaciones terrenas rurales.

En la figura E 8 se muestra la estación espacial MIR la cual envía a la tierra información a Rusia a través de sus satélites. Este tipo de información es de varios tipos ya que informa tanto de los nuevos descubrimientos realizados en sus laboratorios así como el estado del tiempo y localización de objetivos en tierra y mar, algo parecido a las funciones que tendrá la estación espacial internacional ALFA mostrada en la figura E 10, la imagen de la figura E9 es la estación espacial FREEDOM la cual fue usada para complementar ALFA y la figura E 11 muestra al satélite AXAF del cual se habla en el apartado 1.1.

A continuación se listan algunas de las numerosas aplicaciones que en tierra ya están teniendo los trabajos de investigación en el espacio y que con los laboratorios de ALFA a disposición de toda la humanidad esas aplicaciones se multiplicaron.

- Tratamiento de aguas residuales y cloacales con protección ambiental sondeadas por satélite.
- Sistemas de purificación de agua.
- Control de procesamiento de alimentos.
- Acondicionamiento de aire con ahorro de energía.
- Redes telefónicas de larga distancia controladas por microcomputadoras.
- Alarmas inalámbricas colocadas en edificios y en transportes de todo tipo.
- Transmisiones internacionales de televisión.
- Planeamiento de los cultivos por medio de imágenes satelitales y trazado de mapas con los recursos de cada región.
- Predicción de tormentas, predicción de cambios climáticos y pronóstico del tiempo a corto, mediano y largo plazo.
- Conducción y comunicación de transportes aéreos y espaciales a través de satélites.

Es notorio que en ingeniería las áreas de computación, comunicaciones, avances en tecnología espacial y otras diversas ramas de la ingeniería están integradas para un solo propósito, la evolución y mejoría en la calidad de vida del ser humano.



FIGURA E6. ANTENA CASSEGRAIN



FIGURA E7. TIPO DE ANTENA QUE SE USAN EN E/T DE BAJA CAPACIDAD.

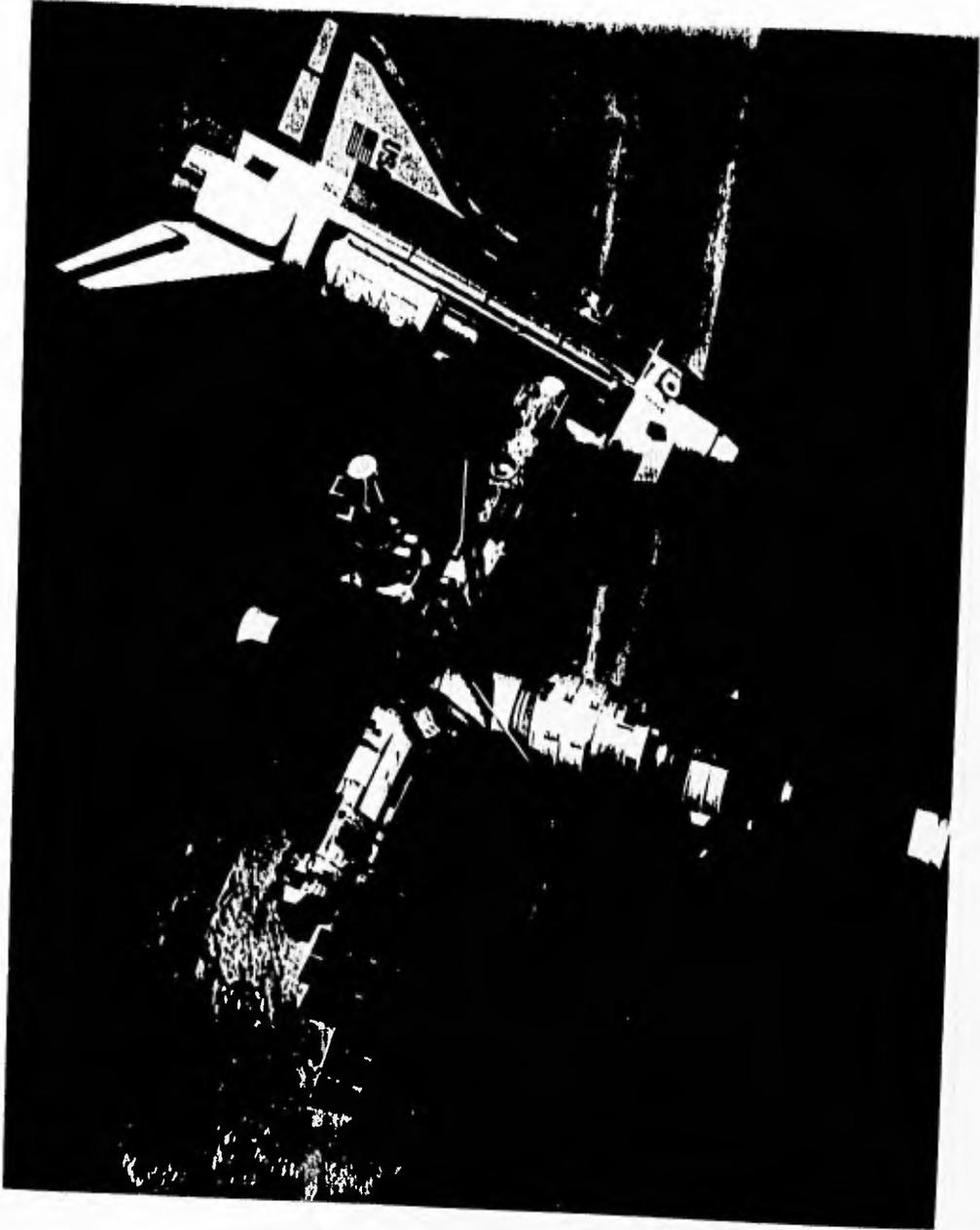
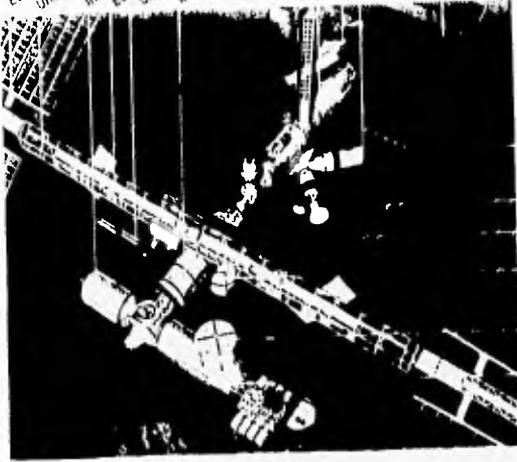


FIGURA E8 ESTACION ESPACIAL RUSA "MIR"

Estructuras fotovoltaicas  
 Unidades solares generadoras para  
 Instalación totalmente americana (Colombias)  
 Estructura de soporte pre-armada  
 Sistema de manejo a distancia de la estación espacial  
 Módulo con el laboratorio microgravitacional  
 Módulo de mantenimiento  
 Habitable de laboratorio para la química lunar  
 Módulo para protección de radiación  
 Estructura fotovoltaica



Rodador central para  
 el sistema de  
 control de temperatura  
 Módulo ruso  
 de investigadores  
 Módulo de desarmadura  
 y depósito  
 Módulo norteamericano  
 para alojamiento  
 de personal  
 Módulo japonés para la  
 logística de experimentos  
 Módulo japonés para  
 realizar experimentos

FIGURA E10. ALFA

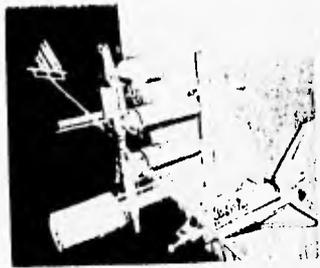


FIGURA E9. FREEDOM



FIGURA E11. AXAF

# GLOSARIO

## GLOSARIO

IPROJ	BACK-OFF DE ENTRADA POR PORTADORA
DENS <sub>SAT</sub>	DENSIDAD DE FLUJO DE SATURACION DEL SATELITE
ATP	ATENUADOR DE POSICION
DIP	DENSIDAD DE FLUJO POR PORTADORA
OPROJ	BACK-OFF DE SALIDA POR PORTADORA
MIPRO	BACK-OFF DE ENTRADA PARA MULTIPORTADORAS
MOPRO	BACK-OFF DE SALIDA PARA MULTIPORTADORAS
C <sub>0</sub> SATEL ADY	DENSIDAD DE RUIDO DE INTERMODULACION DE SATELITES ADYACENTES
C <sub>0</sub> CROSS POL	DENSIDAD A RUIDO DE INTERMODULACION DE POLARIZACION CRUZADA
C <sub>0</sub> HPA INT	DENSIDAD A RUIDO DE INTERMODULACION DEL HPA
C <sub>0</sub> CANAL ADY	DENSIDAD A RUIDO DE INTERMODULACION DE CANALES ADYACENTES
C <sub>0</sub> SAT INT	DENSIDAD A RUIDO DE INTERMODULACION DE EL SATELITE
INT asc SAT ADY	INTERFERENCIA DE SATELITES ADYACENTES ASCENDENTE
INT asc CROSS POL	INTERFERENCIA DE POLARIZACION CRUZADA ASCENDENTE
HPA INT	INTERMODULACION EN EL HPA
PIRE POR PORT	PIRE POR PORTADORA
INT desc SAT ADY	INTERFERENCIA DE SATELITES ADYACENTES DESCENDENTE
G <sub>R</sub>	GANANCIA DE LA ANTENA A LA RECEPCION
INT desc CROSS POL	INTERFERENCIA DE POLARIZACION CRUZADA DESCENDENTE
INT desc CANAL ADY	INTERFERENCIA DE CANALES ADYACENTES DESCENDENTE
DENS DE INT SAT	DENSIDAD DE INTERMODULACION DE SATELITE
AW	ANCHO DE BANDA
FAI	FACTOR DE MODULACION, SU VALOR DEPENDE DE LA MODULACION EMPLEADA SI LA MODULACION ES BPSK O MSK, 1/2 Y SI LA MODULACION ES QPSK 1/4 O 1/3
$\eta$	EFICIENCIA
F	FRECUENCIA (ASCENDENTE O DESCENDENTE)
d	DIAMETRO DE LA ANTENA
C	VELOCIDAD DE LA LUZ (3E8 m/seg)
$\pi$	CONSTANTE PI
$\theta$ desc	MARGEN DE ATENUACION POR EL VIAJE EN EL TRAYECTO DESCENDENTE
E	ANGULO DE ELEVACION
R	DISTANCIA PROMEDIO DEL CENTRO DE LA TIERRA AL SATELITE (62164.2 Km)
R <sub>e</sub>	RADIO PROMEDIO DE LA TIERRA ( 6378.155 Km)
D	DISTANCIA ENTRE LA E/T Y EL SATELITE
K	CONSTANTE DE HOLTZMAN (-228.6 (dBJ <sup>2</sup> /K))
L <sub>s</sub>	PERDIDAS EN EL ESPACIO LIBRE (ASCENDENTES O DESCENDENTES)
L <sub>A</sub>	PERDIDAS MISCELANEAAS, ES LA SUMATORIA DE LAS PERDIDAS ATMOSFERICAS, APUNTAMIENTO Y DE POLARIZACION SU VALOR APROXIMADO ES DE 1 dB
L <sub>d</sub>	PERDIDAS POR DISPERSION
ME	MARGEN DEL ENLACE
% POT	PORCENTAJE DE POTENCIA CONSUMIDA POR LA PORTADORA DE INTERES
POT HPA	POTENCIA DEL AMPLIFICADOR DE ALTA POTENCIA
BER	TASA DE BITS ERRONEOS EN LA TRANSMISION
ROLL OFF	PORCENTAJE EN LA RESPUESTA DE LOS FILTROS DEL EQUIPO DE LAS E/T
FEC	TASA DE ERROR MAXIMA PERMITIDA PARA TRANSMISION DE DATOS O TASA DE CORRECCION DE ERRORES EN LA CODIFICACION
CRC	TASA DE ERROR MAXIMA PERMITIDA PARA TRANSMISION DE VOZ
FI	FRECUENCIA DE INTERMODULACION
RF	RADIO FRECUENCIA

# BIBLIOGRAFIA

## BIBLIOGRAFIA

1. MANUAL DE TELECOMUNICACIONES POR SATELITE DEL SERVICIO FIJO POR SATELITE.  
AUTOR : COMITE CONSULTIVO INTERNACIONAL DE RADIOCOMUNICACIONES (CICR).  
EDITADO POR : UNION INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (UIT).  
GINEBRA SUIZA 1988
  
2. DIGITAL SATELLITE COMMUNICATIONS.  
AUTOR : IRT T. IIA  
EDITADO POR : Mc Graw - Hill International Editions ( Communications Series).  
SEGUNDA EDICION, SINGAPORE 1990
  
3. ELECTRONIC COMMUNICATIONS TECHNIQUES.  
AUTOR : PAUL H. YEUNG  
EDITADO POR : Mc MILLAN PUBLISHING COMPANY MERRILL.
  
4. MODERN ELECTRONIC COMMUNICATION.  
AUTOR : GARY M. MILLER.  
EDITADO POR : PRENTICE HALL.
  
5. DIGITAL AND ANALOG COMMUNICATION SYSTEMS.  
AUTOR : LEON W. COUCH II  
EDITADO POR : Mc MILLAN
  
6. UNDERSTANDING DATA COMMUNICATIONS.  
AUTOR : GILBERT HELD.

**7. COMMUNICATIONS SATELLITE SYSTEMS.**

**AUTOR : MARTIN**

**EDITADO POR : PRENTICE HALL**

**CAPITULOS : PARTE I TEMAS 2, 6, y 7  
PARTE II TEMAS 18, 19, 23, 24 y EPILOGO**

**8. ELECTRONIC COMMUNICATION SYSTEMS.**

**AUTOR : WAYNE TOMAS.**

**EDITADO POR : PRENTICE HALL**

**9. SATELLITE COMMUNICATIONS SYSTEMS, SYSTEMS, TECHNIQUES AND TECHNOLOGY.**

**AUTOR : G. MARAL, M. BOUSQUET.**

**EDITADO POR : WILEY**

**10. AN INTRODUCTION TO SATELLITE COMMUNICATIONS.**

**AUTOR : D. DAGLEISH**

**EDITADO POR : IEEE PRESS**

**11. A FONDO SISTEMAS DE COMUNICACIONES.**

**AUTOR : DON L. CANNON Y GERALD LUECKE**

**EDITADO POR : ANAYA MULTIMEDIA S.A. 1988**

**12. REVISTAS MUY INTERESANTE, CONOZCA MAS, RED, SKY, URANIA, EXPO CENTENARIO (SCT), CIENCIA Y TECNOLOGIA (CONACYT) Y PC MAGAZINE. ( VARIOS NUMEROS DE 1990, 91, 92, 93, 94, 95 Y 96 ).**