

132
1 Gen.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

COMUNICACIONES VIA SATELITE (INTELSAT V)

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A
DAVID VALDES FERREIRA

México, D. F.

1985



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

Pág.

INTRODUCCION

1)	EQUIPO QUE COMPONE UN SATELITE DE TELECOMUNICACIONES	1
1.1)	Subsistema de antenas	5
1.2)	Subsistema de transponders	51
1.3)	Subsistema de telemetría y comando	58
1.4)	Subsistema de generación de energía eléctrica	60
1.5)	Subsistema para acondicionar el suministro de energía eléctrica	63
1.6)	Subsistema de propulsión	66
1.7)	Subsistema de estabilización	68
2)	ORBITA GEOESTACIONARIA	
2.1)	Características de la órbita geostacionaria	71
2.2)	Angulo de elevación del satélite	101
2.3)	Retraso de propagación	107
2.4)	Tiempo de propagación en el servicio fijo por satélite	113
2.5)	Transmisión de datos	119
2.6)	Eclipse	127
3)	COLOCACION DE UN SATELITE EN ORBITA GEOESTACIONARIA	133
4)	ESTACION TERRENA	
4.1)	Características de la estación terrena para la comunicación internacional	144
4.2)	Sistema internacional	146
4.3)	Sistema doméstico	147
4.4)	Tipos de estación terrena	147
4.4.1)	Estación terrena estandar A	148
4.4.2)	Estación terrena estandar C	148
4.5)	Desarrollo de estaciones terrenas	153
4.6)	Tendencias de desarrollo	158

5)	<u>DETERMINACION DE LA POSICION DE UN SATELITE</u>	
	<u>LITE</u>	
5.1)	Introducción	161
5.2)	Sistema de control	162
5.3)	Telemetría, Comando y Rastreo	168
	5.3.1) Diagramas de Telemetría y Comando del satélite	176-177
5.4)	Sistema de comunicación empleado en la estación terrena de Telemetría y Comando para el control del satélite	178
5.5)	Localización del satélite desde Tierra	185
6)	<u>ORBITA Y REGIONES DONDE OPERA EL SATELITE</u>	
6.1)	Banda de frecuencias y regiones donde opera el satélite	192
7)	<u>TIPOS DE MODULACION Y ACCESO MULTIPLE UTILIZADOS EN LA COMUNICACION VIA SATELITE</u>	
7.1)	Modulación en frecuencia (FM)	196
7.2)	Modulación en banda lateral única (BLU) ó (SSB)	199
7.3)	Modulación por pulsos codificados (PCM)	201
7.4)	Modulación de manipulación por corrimiento de fase (PSK) y sus variantes	206
7.5)	Multicanalización por división de frecuencia (FDM)	210
7.6)	Multicanalización por división en el tiempo (TDM)	212
7.7)	Acceso Múltiple	214
7.8)	Acceso Múltiple por Distribución de Frecuencia (FDMA)	219
7.9)	Acceso Múltiple por Distribución de Tiempo (TDMA)	224

8)	PROCESOS DE ACCESO MULTIPLE POR DISTRIBUCION EN FRECUENCIA (FDMA) Y DISTRIBUCION EN EL TIEMPO (TDMA)	239
8.1)	Utilización del espectro de frecuencias	240
8.1.1)	Jerarquía de la multicanalización por división de frecuencia	240
8.1.2)	Señal de banda base en los enlaces por satélite	249
8.1.3)	Canales de servicio en la banda base	254
8.1.4)	Características de la señal T.V.	256
9)	ANALISIS DE TRANSMISION FDM-FM	263
9.1)	Demodulación FM	267
9.2)	Portadoras que se usan en FDM-FM	272
9.3)	PIRE requerida para la estación terrena	274
9.4)	Utilización de los transponders del satélite	276
9.5)	Características de una comunicación vía satélite mediante FDMA	279
9.6)	Recomendación 352.3 CCIR	282
9.7)	Recomendación 353 CCIR	285
10)	SISTEMA SPADE	
10.1)	Acceso Múltiple en SPADE	290
10.2)	Plan de frecuencias en la terminal SPADE	300
10.3)	Operación funcional de la terminal SPADE	304
11)	SISTEMA TDMA	
11.1)	Descripción del sistema TDMA	329
11.2)	Organización de información TDMA	338
11.3)	Acceso TDM/PSK/TDMA	351

12) PROBLEMAS EN LA PROPAGACION. EFECTOS DE LA ATMOSFERA

12.1)	Atenuación por gases atmosféricos	359
12.2)	Efecto de la refracción atmosférica	362
12.3)	Atenuación por difusión	368
12.4)	Centelleo atmosférico	370
12.5)	Efecto de lluvia	375
	12.5.1) Dispersión por lluvia	382
	12.5.2) Depolarización por lluvia	388
12.6)	Efectos ionosféricos	393
	12.6.1) Centelleo ionosférico	394
	12.6.2) Efecto Faraday	399
	12.6.3) Retardo de grupo en las ondas de radio -- eléctricas	401
	12.6.4) Dispersión ionosférica	404

13) RUIDO

13.1)	Generalidades	406
13.2)	Ruido Térmico	407
13.3)	Temperatura de ruido en una fuente	407
13.4)	Ruido Térmico Externo	411
	13.4.1) Ruido Extraterrestre	412
	13.4.1.1) Ruido Solar	412
	13.4.1.2) Ruido Galáctico	413
	13.4.1.3) Ruido Atmosférico	414
13.5)	Ruido Terrestre	419
13.6)	Ruido de Interferencia	423
13.7)	Ruido de Intermodulación	424
13.8)	Relación señal-ruido (S/N)	431
13.9)	Ruido en el enlace ascendente	436
13.10)	Ruido en el enlace descendente	438
13.11)	Ruido en el enlace ascendente y descendente teniendo en consideración la característica del transponder de un satélite	439
13.12)	Ruido en el enlace descendente en un receptor	443
13.13)	Figura de mérito. Relación $\frac{G}{T}$ en la estación terrena	447
13.14)	Figura de mérito en el satélite	452

14)	CALCULO DE UN ENLACE DE COMUNICACION VIA SATELITE	
14.1)	Enlace Ascendente	455
14.2)	Enlace Descendente	462
15)	CONCLUSIONES	
	BIBLIOGRAFIA	

INTRODUCCION

La comunicación es una forma de dar información.

Cuando alguien se para en la mitad de una habitación con muchas personas y con bullicio es difícil ser visto y oído, tal vez no se logre la comunicación con todas las personas que haya en la habitación y ni siquiera con la mayoría al menos que si nos subimos a una silla al hacerlo ya se logra destacar la multitud congregada en la habitación y puede comunicarse con ella.

Se ha comprobado científicamente que las señales de radio menos susceptibles a la interferencia y más idóneas para cursar elevados volúmenes de tráfico de comunicaciones son las que se encuentran en la gama de frecuencias de microondas. Las señales de este tipo se propagan en línea recta y no sufren desviaciones considerables debido a la atmósfera terrestre o a otras influencias físicas, sin embargo no se propagan a través de la esfera terrestre.

Para la solución de esto se tienen enlaces terrestres y enlaces oceánicos cortos erigiendo estaciones -

repetidoras cada 50 kilómetros y dotandolas de antenas pequeñas de reflector parabólico que captan la señal emitida y la retransmiten hacia la siguiente estación de la cadena, pero, la colocación de una cadena de esta clase de un lado a otro de los principales océanos del mundo presenta dificultades técnicas obvias e insuperables y aunque se pudiera llevar a la práctica sólo se lograrían comunicaciones punto a punto.

Si consideramos a la analogía, donde se transmite el mensaje a través de una habitación se podría colocar un retransmisor omnidireccional situado en medio del océano, el problema que se presentaría es de hacer una torre de casi 800 kilómetros de altura, pero, este proyecto origina problemas técnicos no obstante que en la era espacial ha sido posible hacer dicha "torre" en el cielo.

El primer satélite empleado en experimentos de comunicaciones fué la serie de satélites Echo. A este tipo de satélites se les denominó satélites pasivos y su misión consistía en actuar como "espejos" en el cielo reflejando las señales de radio de una estación a otra sin someterlas a ningún tratamiento electrónico intermedio, naturalmente estos satélites debían tener unas dimensiones enormes

ya que la intensidad de la señal reflejada estaba en proporción a su superficie reflectora, la serie Echo se trataba de globos de plástico aluminizados.

El primero medía 30 metros de diámetro, con un espesor de pared de 12 milésimas de milímetro, algo menos que el celofán que cubre a un paquete de cigarros; el segundo alcanzaba los 42 metros y había sido fabricado con plástico multicapa algo más grueso, 19 milésimas, sin embargo a pesar de su gran tamaño eran relativamente ligeros, el Echo 1 apenas pesaba 62 kg.

Este tipo de satélites se lanzaban cuidadosamente doblados, dentro de un recipiente metálico, una vez en órbita éste se abría y el globo se desplegaba, por lo general bastaba la expansión de los vestigios de aire atrapados en su interior para iniciar el proceso de expansión, a veces se deposita en ellas una pequeña cantidad de material sublimable (por ejemplo derivados de alcanfor) y que al calentarse por efecto de los rayos del sol aquél se vaporiza y contribuía a dar rigidez al globo. Por medio de estos satélites pasivos fueron transmitidas conversaciones telefónicas e incluso telefotos demostrando así por primera vez el carácter realmente efectivo de las comunicaciones vía satélite.

Con el desarrollo de la tecnología aparecen - después los satélites activos y se llaman así porque a diferencia de sus predecesores iba dotado de amplificadores para reforzar la señal recibida antes de retransmitirla hacia la Tierra.

El primer satélite de comunicaciones activo - fue el Telstar 1, el satélite se empleo en ensayos de comunicaciones por televisión, telefoto y teletipo con resultados muy satisfactorios; el primer enlace de video entre las cadenas de televisión europeas y americanas fue establecido a través del Telstar el día 11 de Julio de 1962.

A pesar del evidente progreso técnico que representaban los Telstar todavía adolecían de un doble inconveniente:

Primero para comunicarse con ellos era preciso utilizar unas antenas especiales de grandes dimensiones, el segundo y más grave su órbita era bastante baja y el satélite cruzaba muy de prisa el horizonte a horizonte, el enlace entre una estación y otra no podían mantenerse más que durante 6 ó 7 minutos en cada revolución.

Aproximadamente las dos terceras partes de -- las comunicaciones transoceánicas internacionales del planeta se transmiten a través de satélites pertenecientes a una organización llamada INTELSAT siendo ésta una organización con más de 100 países miembros, posee y maneja los satélites utilizados por la mayoría de los países del mundo para sus comunicaciones internacionales algunos países también emplean los satélites de INTELSAT para comunicaciones dentro de sus propias fronteras, INTELSAT es un sistema de satélites como se describe a continuación:

INTELSAT I (Pájaro Madrugador)

El INTELSAT I fué lanzado el 6 de Abril de 1965 desde Cabo Cañaveral, Florida (EE.UU) a bordo de un cohete Delta, era el primer satélite de INTELSAT y que al principio se le consideró como satélite experimental, sin embargo más adelante fué designado como satélite operativo y se le utilizó para cursar servicios regulares de comunicaciones a través del Atlántico Norte entre Norteamérica y Europa, se trataba de un satélite estabilizado por rotación dotado de una antena omnidireccional fija que transmitía una señal en un arco completo de 360°, debido a esto buena parte de la potencia del satélite se perdía en el espacio en vez de estar concentrada hacia la Tierra la señal que llegaba

a la superficie terrestre proporcionaba cobertura únicamente a la zona del Atlántico Norte, aún en estas condiciones este satélite cursaba 240 llamadas telefónicas simultáneas o un programa transatlántico de televisión este último por primera vez con carácter regular.

Era preciso suspender las llamadas telefónicas durante las transmisiones de televisión, su otra limitación consistía en que solamente un par de estaciones podía trabajar con el satélite en un determinado momento a pesar de todo el Pájaro Madrugador demostró la viabilidad de los satélites y del uso de la órbita geostacionaria para las telecomunicaciones internacionales públicas.

Fabricado para una vida útil de 18 meses según diseño, el Pájaro Madrugador finalmente fué considerado incapaz de seguir prestando servicios en mayo de 1970 cinco años después de su lanzamiento.

Dimensiones: Diámetro 72.1 cm
Longitud 59 cm
Peso 68.2 kg.

Características:

Capacidad: 240 circuitos o un canal de televisión, poseía una antena inclinada limitada al corredor de tráfico intenso entre América del Norte y Europa. La transmisión de televisión obligaba a interrumpir el tráfico de voz y registro, no poseía la capacidad para el acceso a varias estaciones, su vida útil estaba prevista para 18 meses. No obstante el Pájaro Madrugador prestó servicios continuos a tiempo completo en forma satisfactoria durante más de 3 años.

INTELSAT II

En muchos aspectos los satélites de la serie INTELSAT II contenían algunos adelantos de importancia, -- este satélite tenía la capacidad de procesar 240 conversaciones telefónicas o un programa de televisión y también -- eran estabilizados por rotación y disponían de una antena omnidireccional fija, empero, en vez de un haz inclinado los satélites de este tipo transmitían un diagrama que abarcaba toda la superficie terrestre visible desde su posición en órbita geoestacionaria. Además un transponder de nuevo diseño le daba al satélite una capacidad para trabajar con múltiples usuarios permitiendo que un gran número de esta-

ciones terrenas tuviera acceso a él en forma simultánea, - se llegó a suministrar cobertura a las zonas de los océanos Atlántico y Pacífico.

Dimensiones: Diámetro 142.2 cm

Longitud 67.3 cm

Peso 162.3 kg

Características:

La capacidad fué de 240 circuitos o un canal de televisión, existía la modalidad de cobertura terrestre (hemisferio Norte y Sur).

Por primera vez se contó con la posibilidad de establecer comunicaciones a destinos múltiples entre estaciones terrenas de la zona de cobertura, la vida útil prevista fué de 3 años.

INTELSAT III

Los satélites de esta serie permitieron un -- pronunciado aumento en la capacidad de los 240 circuitos -- con que contaban los anteriores se pasó a 1500 circuitos más televisión, los diseños del INTELSAT III contenían por

lo menos una innovación de importancia:

Una antena de contrarotación mecánica y consistía en que el motor de la antena hacía que ésta rotara exactamente a la misma velocidad del satélite pero en sentido contrario ya que así fué posible concentrar toda la potencia transmisora en dirección a la Tierra en vez de radiar potencia al espacio y así se aumento su eficiencia.

Se lograron colocar satélites INTELSAT III sobre las tres regiones oceánicas más importantes:

La del Atlántico, la del Pacífico y la del Índice; de esta forma en 1969 INTELSAT lograba por primera vez la cobertura global.

Dimensiones: Diámetro 142.2 cm

Longitud 104.1 cm

Peso 294.1 kg

Características:

La capacidad era de 1500 circuitos y 4 canales de televisión o las combinaciones que esta capacidad permitía estaba equipado con una antena de contrarotación

mecánica, tenía mayor capacidad para establecer las comunicaciones a destinos múltiples y la facilidad para transmitir simultáneamente todo tipo de comunicaciones telefónicas, telegráficas, de televisión, facsímil y datos de alta velocidad.

Prestaba servicios de televisión sin interrumpir el servicio de comunicaciones telefónicas o mensajes; la vida útil prevista fué de 5 años.

INTELSAT IV

Los INTELSAT IV tuvieron un gran aumento en su capacidad, se obtuvo un promedio de 3750 circuitos telefónicos simultáneos más dos canales de televisión. Este incremento se pudo lograr mediante el uso de 12 transponders de comunicaciones a bordo de cada satélite unido a una nueva configuración de las antenas consistente en dos reflectores parabólicos de haz pincel y cuatro bocinas globales.

Las antenas de haz pincel podían ser orientadas desde Tierra con el fin de apuntar haces de alta energía (o alta capacidad) hacia zonas pequeñas de la superficie terrestre.

Dimensiones: Diámetro 2.38 m
Altura del tambor del conglomerado solar 2.81 m
Altura total 5.26 m
Peso 1418 kg en el momento del lanzamiento.

Características:

La capacidad en promedio era de 3750 circuitos y 2 canales de televisión, poseía 12 transponders de 36 MHz cada uno, dos antenas transmisoras de cobertura global y dos antenas receptoras de cobertura global. Existe la capacidad de acceso múltiple y transmisión simultánea; la vida útil prevista fue de 7 años.

INTELSAT IV-A

Estos satélites son derivados de los modelos INTELSAT IV que dieron muy buenos resultados, sin embargo los satélites de esta serie contaban con un conglomerado de antenas complejo que aislaba por separación espacial los hemisferios oriental y occidental del disco terrestre y permitía a la red INTELSAT "reutilizar" la banda de frecuencias de 6 y 4 GHz o sea usarlas dos veces.

Ello posible que INTELSAT estuviera en condiciones de responder al crecimiento del tráfico sin ampliar sus operaciones a nuevas bandas de frecuencias y produjo una capacidad de 6000 circuitos más 2 canales de televisión.

Dimensiones: Diámetro 2.38 m

Altura del tambor del conglomerado solar 2.81 m

Altura total 6.78 m

Peso 1516.2 kg

Características:

La capacidad fué de 6000 circuitos y 2 canales de televisión. El INTELSAT IV-A poseía 20 transponders que permitieron operar a través de 20 canales de 36 MHz de ancho de banda de cada uno, poseía un par de antenas transmisoras gemelas de 1.3 metros de reflector parabólico a cada una la ilumina un conjunto de bocinas alimentadoras; la antena receptora utilizó dos juegos de bocinas alimentadoras y una tercera antena de reflector parabólico.

Poseía capacidad de acceso múltiple y transmisión simultánea, la vida útil prevista fué de 7 años.

INTELSAT V

El satélite INTELSAT V es diferente a los anteriores satélites de INTELSAT en una serie de aspectos.

Por ser estabilizados por rotación los satélites de todas las series precedentes eran basicamente tambores cilindricos recubiertos de células solares que producían la energía eléctrica necesaria.

Los INTELSAT V disponen de estabilización triaxial obtenida mediante el uso de volantes de inercia a bordo del satélite, su estructura principal es en forma de caja sobre la que va instalada una torre de antenas sumamente complejas, a los dos costados de la caja se extienden frágiles "alas" de células solares. Las antenas permiten efectuar transmisiones mediante haces globales, hemisféricos de zona y pincel; los haces hemisféricos cuentan con separación espacial (al igual que en el INTELSAT IV-A) pero los de zona trabajan en polarización cruzada lo que permite utilizar cuatro veces las bandas de frecuencias de 6 y 4 GHz.

Además el INTELSAT V está equipado para traba

jar con una nueva gama de frecuencias que se utiliza en los haces pincel en la banda de 14/11 GHz. Estos adelantos han hecho duplicar la capacidad de 6000 circuitos de los INTEL SAT IV-A de suerte que ahora se dispone de 12000 circuitos para conversaciones telefónicas simultáneas más 2 canales de televisión, capacidad que bastará para atender las necesidades de INTELSAT a comienzos de la década de los años - 80.

Dimensiones:	Longitud (con paneles solares desplegados)	15.9 m
	Altura (incluido el mastil de la antena)	6.4 m
	Peso	1870 kg

Características:

La capacidad promedio es de 12000 circuitos - telefónicos bidireccionales simultáneos y dos canales de - televisión, esta capacidad se logra utilizando la banda de frecuencias de 14/11 GHz además de la de 6/4 GHz estas últimas frecuencias son utilizadas cuatro veces empleando haces hemisféricos este y oeste.

El satélite tiene seis antenas de comunicaciones que incluyen dos bocinas de cobertura global, dos reflectores hemisféricos y de zona con alimentación descentrada y dos reflectores de haz pincel con alidescentrada. La vida útil prevista es de 7 años.

1) EQUIPO QUE COMPONE UN SATELITE DE TELECOMUNICACIONES.

El satélite INTELSAT V esta conformado por tres módulos ensamblados y que interactúan de acuerdo a las necesidades de funcionamiento. Se describen los módulos que componen a este satélite son:

1) Módulo de antenas

En este módulo se encuentran colocados en un soporte donde están colocados los siguientes equipos.

- 1.1) Alimentador de la antena para las coberturas hemisférica y de zona a 6GHz.
- 1.2) Reflector de la antena receptora para las coberturas hemisférica y de zona a 6GHz.
- 1.3) Antena tipo cuerno para una cobertura global a 6GHz.
- 1.4) Alimentador de la antena para las coberturas hemisférica y de zona a 4GHz.
- 1.5) Reflector de la antena transmisora -- para las coberturas hemisférica y de zona a 4GHz.

- 1.6) Antena tipo cuerno para la cobertura global a 4GHz.
- 1.7) Reflector transmisor y receptor para la cobertura Oeste a 14/11GHz.
- 1.8) Reflector transmisor y receptor para la cobertura Este a 14/11GHz.
- 1.9) Antena radioguía tipo cuerno a 11GHz
- 1.10) Antena de comando y telemetría.

2) Módulo de comunicación

Este módulo esta formado a manera de casillas donde cada uno de ellos, tienen los circuitos electrónicos que ayudan a establecer la comunicación; además este módulo soporta el ensamble de los paneles solares.

3) Módulo de dispositivos auxiliares.

En este se conservan, otro tipo de dispositivos que ayudan a realizar el buen funcionamiento del satélite se encuentra montado el motor de apogeo.

- 3.1) Panel de celdas solares
- 3.2) Propulsores de corrección de balance
- 3.3) Reflectores solares ópticos.
- 3.4) Propulsores para realizar movimientos

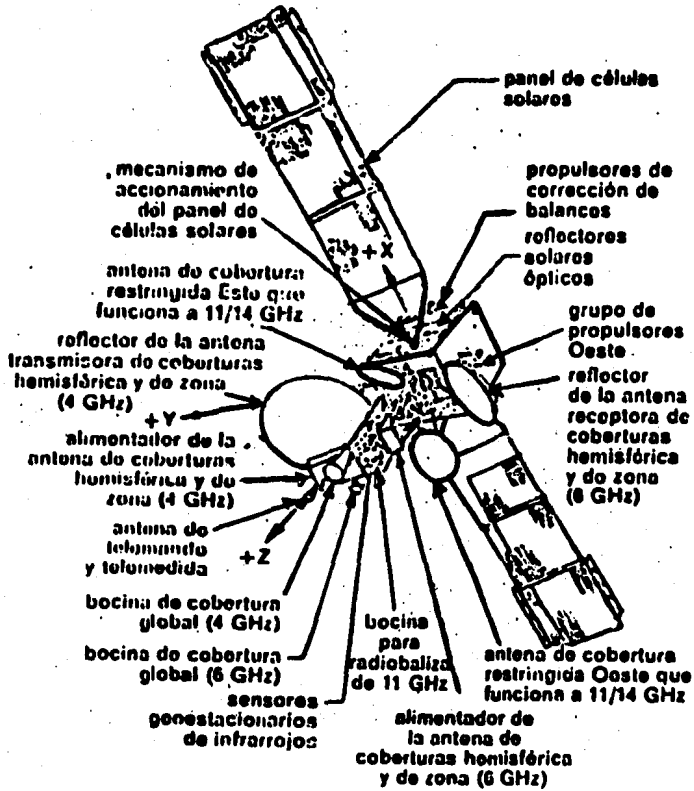
al Oeste de su posición original.

3.5) Sensores geoestacionarios infrarojos

3.6) Mecanismo para accionar algún movimiento en el panel solar en dirección al Sol.

De acuerdo a la configuración que se tiene en un satélite de comunicación, para su funcionamiento éste está organizado de acuerdo a los siguientes subsistemas:

- 1) Subsistemas de antenas
- 2) Subsistema de transponders
- 3) Subsistema de generación de energía eléctrica.
- 4) Subsistema para acondicionar el suministro de energía eléctrica.
- 5) Subsistema de telemetría y comando
- 6) Subsistema de propulsión
- 7) Subsistema de estabilización



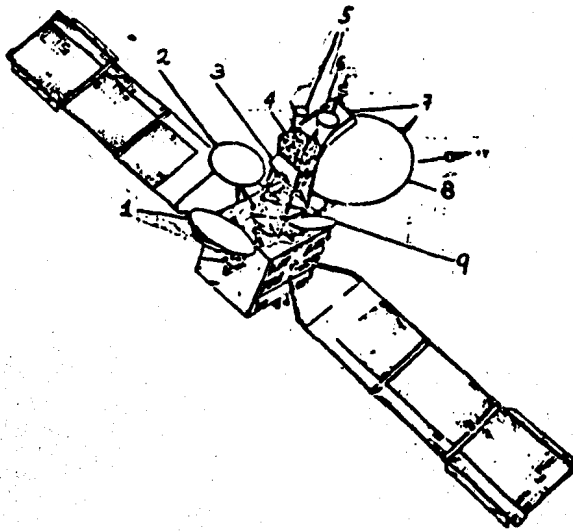
Satélite INTELSAT V

1.1) SUBSISTEMA DE ANTENAS

ANTENAS DE SATELITE

Las antenas que se usan en el satélite - - INTELSAT V para establecer la comunicación son de tipo - cuerno y parabólico. Cuando se hace el uso de la antena parabólica se hace necesario el uso de un adecuado arreglo de alimentación.

Se hace a continuación una descripción de - las antenas que se utilizan en este satélite.



Las antenas correspondientes son:

- 1) Reflector de la antena receptora de coberturas hemisférica y de zona que funciona a 6GHz.

Polarización para la cobertura hemisférica:

polarización circular derecha

Polarización para la cobertura de zona:

polarización circular izquierda

- 2) Antena de cobertura restringida para la zona Oeste que funciona a 14/11GHz.

La polarización que se emplea es la lineal.

- 3) Alimentador de la antena de cobertura hemisférica y de zona a 6GHz.

- 4) Antena de cuerno de señalamiento a 11GHz.

Polarización empleada es la polarización circular derecha.

- 5) Antena de cuerno de cobertura global a 6GHz.

Polarización para la cobertura global:

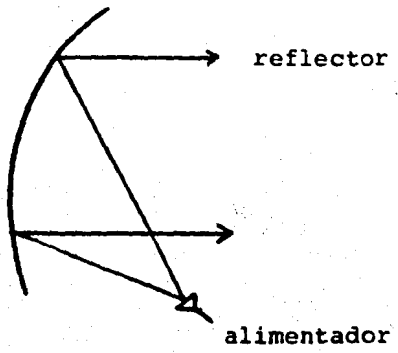
polarización circular izquierda

- 6) Antena de cuerno de cobertura global a 4GHz.

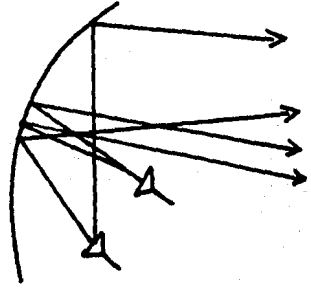
Polarización circular derecha.

- 7) Alimentador de la antena de coberturas hemisférica y de zona a 4GHz.
- 8) Reflector de la antena transmisora de - coberturas hemisféricas y de zona a 4GHz
Polarización para la cobertura hemisférica:
polarización circular derecha
Polarización para la cobertura de zona:
polarización circular izquierda
- 9) Reflector de cobertura restringida Este que funciona a 4/11 GHz.
La polarización que se emplea es la lineal.

Los arreglos que se llegan a presentar en las antenas del satélite INTELSAT V son los siguientes:



Parábola desplazada tipo standart



Parábola que conforman haces múltiples

Las capacidades de los satélites se han incrementado y de alguna forma el reuso de frecuencia es requerido ya que el ancho de banda que se tiene disponible se tenga que incrementar o nuevas bandas de frecuencias - sean usadas.

El reuso de frecuencias puede ser obtenido usando antenas de haces múltiples. Las antenas deben brindar aislamiento de haz a haz y si dos polarizaciones son usadas ambas deben tener un aislamiento. Las antenas - - de haces múltiples han sido consideradas como la respuesta a la restricción del ancho de banda que afecta a los usuarios en un sistema de comunicación particularmente en el - uso de satélites.

Si el usuario o grupos de usuarios están se-parados geográficamente cada uno puede utilizar la misma - banda de frecuencia teniendo acceso al satélite por medio de un diferente haz de antena.

Las limitaciones de espacio en el satélite demandan una estructura de antena simple capaz de radiar muchos haces en forma simultánea los cuales están suficientemente aislados de manera que cada uno de esos haces no - se interfieran. Esto es conocido como el reuso de frecuenu

cias a través de la diversidad de espacio. Adicionalmente dos usuarios o un grupo de usuarios situados en una misma área geografica, ambos pueden usar la misma banda de frecuencia sin interferirse por ejemplo empleando polarizaciones ortogonales (circular derecha e izquierda o vertical y horizontal). Esto es conocido como reuso de frecuencia a través de la diversidad de polarización y esto es limitado ya que existe dos polarizaciones ortogonales.

La diversidad de espacio es considerablemente más flexible estando limitado solamente por el número de haces individuales en la antena y por el tamaño de esta.

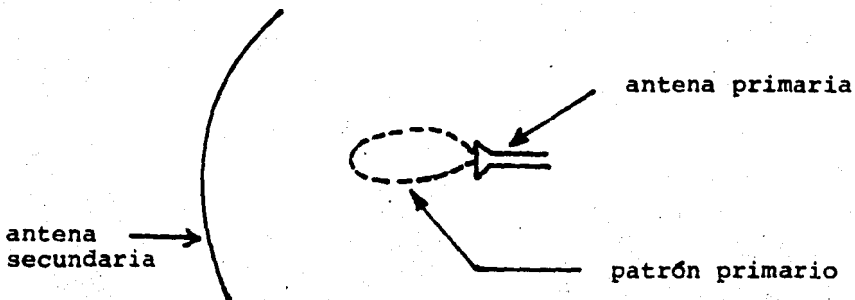
En el reuso de frecuencia se llega a usar una antena con haces múltiples, donde los haces son aislados de acuerdo a una polarización ortogonal considerando que cada haz se transmite a una determinada banda de frecuencia.

Los haces deben cubrir algunas áreas en un orden de máxima ganancia. De acuerdo al diseño que tiene un sistema de antenas se debe de considerar la antena parabólica que usa alimentadores múltiples donde se tienen que limitar el nivel de lóbulos laterales al mínimo para evitar interferencias; la importancia del uso de alimentado-

res es que se debe de tener una posición de simetría para que así se tenga una distribución de la forma del haz o haces que se vayan a formar. En el caso de una antena o alimentador circular tipo corneta se tiene un patrón de radiación con idéntica fase y amplitud en el plano (E-H). En cuanto a la antena tipo cuerno circular se limita su utilidad en la aplicación en comparación con un reflector ya que la antena de cuerno es usada ordinariamente para cobertura global.

Una antena de cuerno produce una alta directividad (21db) y el haz está apuntando a lo largo de un eje de referencia del propio satélite tomando una dirección como si fuera un reflector.

Se muestra a continuación el siguiente arreglo que es un alimentador tipo cuerno y una antena parabólica.

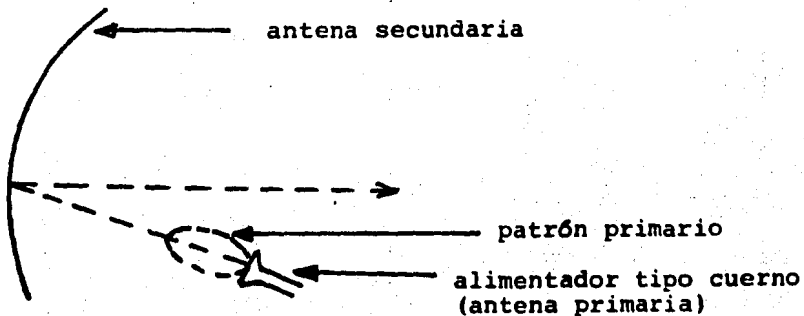


La presencia de una antena primaria en la fase de la onda reflejada tiene dos desventajas:

La primera es que las ondas reflejadas de la parabola regresan a la antena primaria produciendo una interacción y un acoplamiento mal hecho. Este acoplamiento puede reducirse grandemente usando una antena primaria polarizada circularmente.

Si la radiación de la antena primaria es de polarización circular derecha, la onda reflejada de la parabola es esencialmente polarizada circularmente izquierda y la antena primaria es insensitiva para esta polarización.

La segunda, la antena primaria actua como una obstrucción bloqueando la parte central de la apertura. Para evitar ambos efectos solamente una parte de la parabola puede ser usada y la antena primaria se desplaza como se muestra a continuación en la siguiente figura.



Las antenas de satélites influyen considerablemente en la utilización de la órbita de los satélites - geoestacionarios particularmente cuando se emplean haces - de cobertura restringida.

El tipo particular de antena utilizado dependerá de la frecuencia del ancho del haz, los anchos mínimos del haz dependen de la precisión con que pueda estabilizarse la actitud del satélite y de las necesidades de servicio como por ejemplo, la zona de cobertura y la reutilización de las frecuencias.

La estabilidad corriente de orientación de las plataformas de las antenas de vehículos espaciales es del orden de $\pm 0, 2^\circ$, a menos que el satélite sea capaz de realizar operaciones de seguimiento, la ganancia de la antena esta limitada por la estabilidad de orientación a - 50dB de ganancia en la dirección del eje.

Las ganancias superiores a estos valores requieren un aumento considerable de la complejidad del satélite, hasta la fecha en frecuencias superiores a 1GHz se han utilizado ampliamente bocinas para las anchuras de haz más grande y reflectores parabólicos iluminados a partir del foco para las anchuras de haz menores.

Teóricamente, el diagrama de radiación de la antena debiera ser tal que la energía se concentrara en la dirección de las estaciones terrenas de la red, desde un punto de vista práctico, el diagrama de radiación de un haz de satélite debería proporcionar una iluminación uniforme de las zonas de cobertura y ninguna en el exterior de la misma como lo muestra la figura 1.

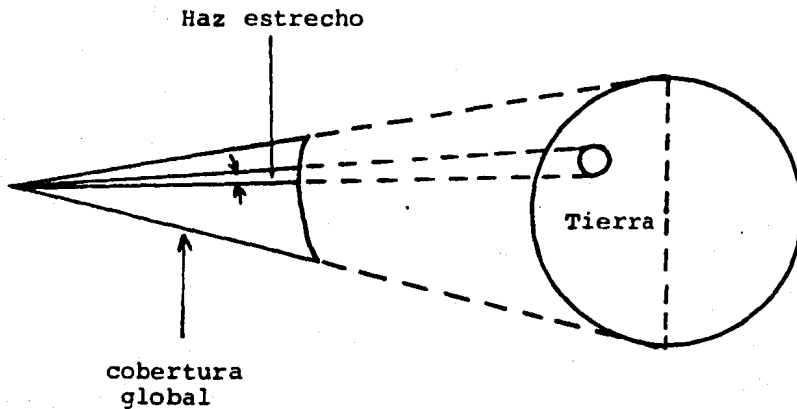


Fig. 1

DIAGRAMA IDEALES DE RADIACION DE ANTENAS DE SATELITE

Es posible acercarse a este objetivo, pero para ello se necesita una antena más grande y pesada que una antena simple, cuya ganancia dentro de la zona de co-

bertura serfa casi igual.

Como una antena simple tiene una radiación apreciable fuera de la zona de la cobertura proporciona también tolerancia a los errores de control de actitud y de posición orbital.

Por lo que respecta a la ganancia en la zona de cobertura y a la reducción de la interferencia entre sistemas, puede considerarse dos métodos de conformación de diagramas de radiación de una antena de satélite a saber:

- 1) Conformación del haz para ajustarlo a una zona de cobertura (conformación en el plano normal al eje de propagación);
- 2) Conformación dentro del área de cobertura (conformación en el plano del eje de propagación).

Habrá tendencia a conformar el haz de manera que se ajuste a la zona de cobertura en la medida que sea éste el medio más eficaz y desde el punto de vista -- técnico y económico de obtener una p.i.r.e elevada en dirección de las estaciones terrenas en la zona de cobertu-

ra puede considerarse la conformación de un haz de manera que iguale la energía en toda la superficie de la zona de cobertura (ver figura 1).

La figura 2 muestra los diagramas ideales de una función $\frac{\text{sen}^2 x}{x^2}$ y la suma de dos funciones $\frac{\text{sen}^2 x}{x^2}$ desplazadas que produce una ondulación de ganancia de -- 3dB.

La ganancia mínima entre los puntos 3dB es -- aproximadamente la misma en ambos diagramas pero la abertura requerida para producir el haz conformado en unas 10 veces mayor y la pendiente de la ganancia en los puntos a -- 3dB es mucho mayor en varios vehículos espaciales existentes se ha utilizado la conformación de los haces y la generación de haces espacialmente separados por iluminaciones múltiples en un reflector parabólico común.

La figura 3 representa un ejemplo de diagrama que utiliza esta técnica para satélites que proporcionan cobertura en los Estados Unidos, esta técnica presenta gran atractivo desde el punto de vista del lóbulo principal puesto que es pequeña la pérdida en la dirección de -- dicho lóbulo.

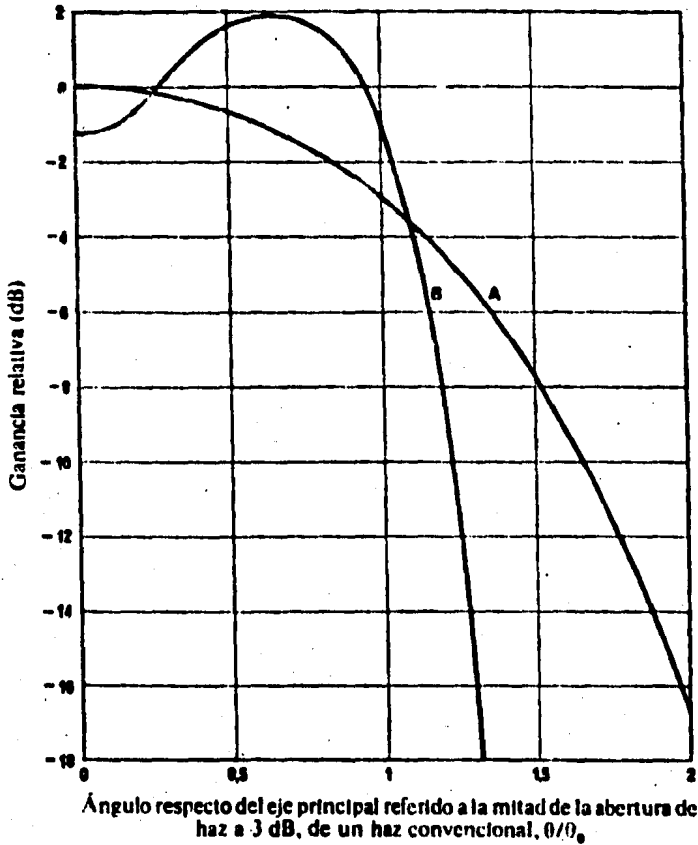


Figura 2. Haz convencional y haz conformado.

A: Haz convencional $\sin^2 x / x^2$

B: Ejemplo de un haz conformado .

Nota. En la fórmula que da la ganancia relativa del haz convencional $\sin^2 x / x^2$ la variable X puede expresarse como $1.39 \theta / \theta_0$ radianes . En el caso en que $\theta = \theta_0$ la ganancia del haz convencional es : $\sin^2 1.39 / 1.39^2 = (0.707)^2 = 0.5$ lo que corresponde a -3 dB .

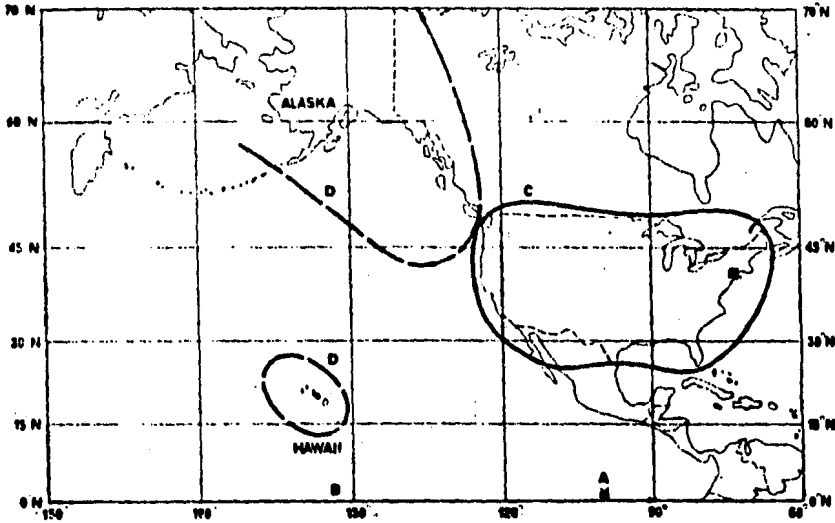


Figura 3 . Ejemplos de contornos de zonas de cobertura de un satélite .
 (Haz de $6.8^{\circ} \times 3.5^{\circ}$ y haces estrechos y circulares de 2.8° producidos por una antena de 1.5 m con alimentadores múltiples ; el sistema trabaja a 4 GHz en el trayecto descendente y a 6 GHz en el trayecto ascendente) .
 A: Satélite B: Ecuador C: Haz de $6.8^{\circ} \times 3.5^{\circ}$
 D: Haces estrechos y circulares de 2.8°

La figura 4 representa la pérdida de ganancia en dirección del lóbulo principal como función de un ángulo normalizado que se desplaza con respecto al eje. Se observará que un haz de 1° puede ser desplazado desde el centro de la Tierra al borde de la Tierra con sólo una pérdida de ganancia de 3dB.

Esta técnica puede utilizarse también para conformar haces dentro de una zona de cobertura según indica la figura 2.

La potencia relativa para cada iluminación puede ajustarse para formar diagramas de lóbulo principal asimétricos. La utilización de la p.i.r.e., puede aumentarse mediante disposiciones asimétricas que proporcionan la mayor ganancia en dirección de las estaciones terrenas con la máxima densidad de tráfico. Así pues, la utilización de esta técnica conduce a una gran variedad de formas de diagramas de lóbulo principal que el proyectista de sistemas puede utilizar para hacer que sea máxima la utilización de la p.i.r.e.

Además, revisten interés las antenas de reflector del tipo de haces múltiples a causa de su sencillez

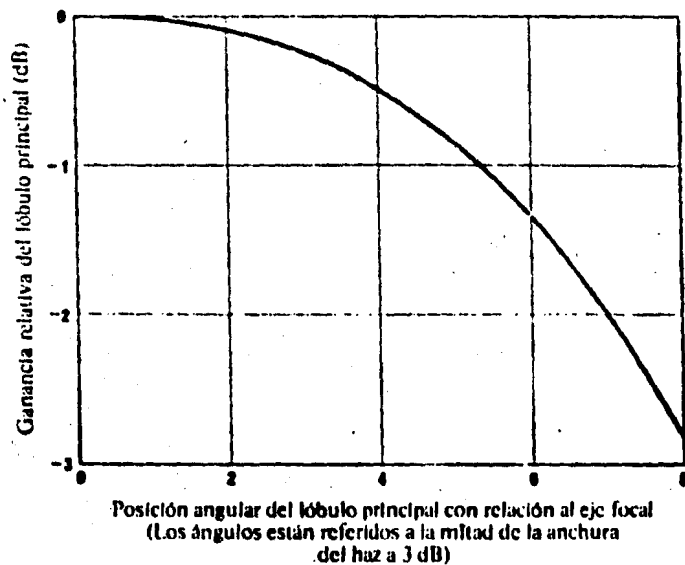


Figura 4. Ganancia del lóbulo principal en función de la posición angular del lóbulo principal respecto al eje focal. Iluminación relativa en los bordes de la abertura: 20 dB
 $f/D = 1$

por un gran ancho de banda, facilidad de construcción y reducido peso y costo.

Sin embargo, los estudios han demostrado que la estructura normalmente grande de los alimentadores múltiples causa un bloqueo excesivo lo que da lugar a elevados niveles de radiación de lóbulos laterales en todas las configuraciones excepto en la del tipo de alimentación excéntrica.

Puede construirse también antenas de haces - múltiples enfocando la energía procedente de un sistema de bocinas de alimentación primaria por medio de una lente de microondas.

La simetría axial de tal configuración asegura una reducida aberración en los haces explorados, lo que se traduce en una menor radiación en dirección de los lóbulos laterales y un mayor aislamiento del haz de lo que es posible obtener con antenas de haces múltiples del tipo de reflector; este factor reviste importancia para las aplicaciones con reutilizaciones de frecuencias.

Por otro lado, ya sea con una antena de re--

flector o de lente, puede utilizarse una red de conformación del haz para generar una gran variedad de iluminaciones estrechas diferentes en la superficie de la Tierra o combinando varios haces estrechos, una iluminación de forma especial adaptada a casi cualquier zona de servicio geográfica deseada.

Paralelamente a la fabricación del prototipos de lentes, se han desarrollado técnicas de computadora para calcular las respuestas adecuadas de fase y amplitud de la red de conformación del haz.

Estas técnicas permiten obtener haces de forma variable que puede controlarse desde el suelo. Las figuras 5 y 6 muestran la posibilidad de la conformación del haz de una antena reflector-bocina de haz estrecho, se indican también los contornos de ganancia mínima para 4, 6, 18 y 28GHz incluidas las pérdidas del alimentador, del polarizador, del duplexor y del sistema de filtros de selección de banda.

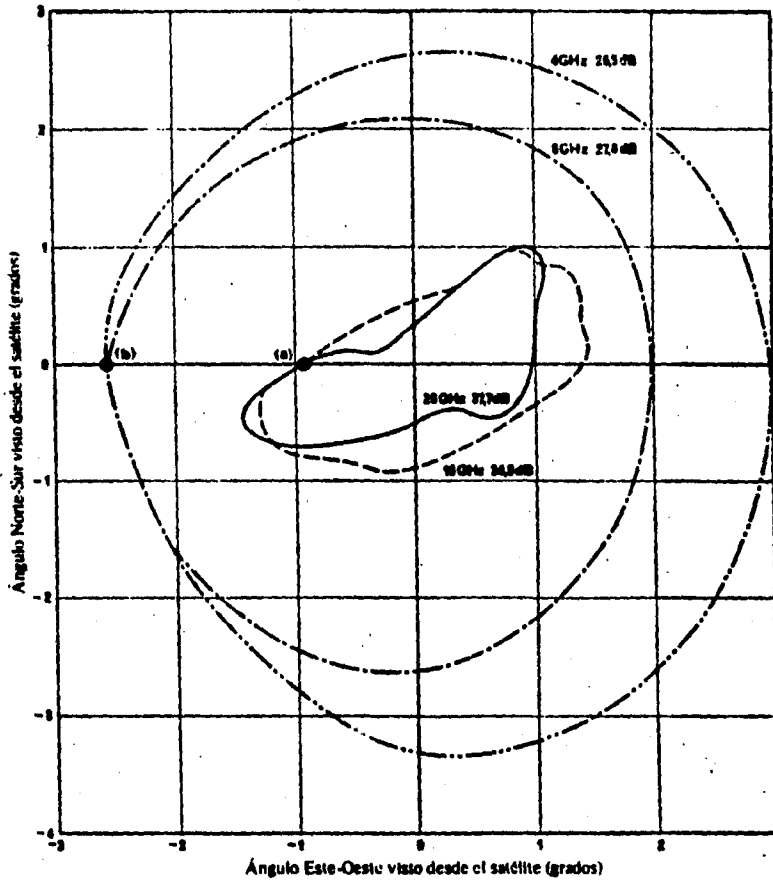


Figura 5 . Contornos de ganancia constante de la antena de bocina con conformación de haz .
 (Que satisface las necesidades de cobertura del Japón
 empleando polarización circular)
 (Para a) y b) , vease la fig. 6)

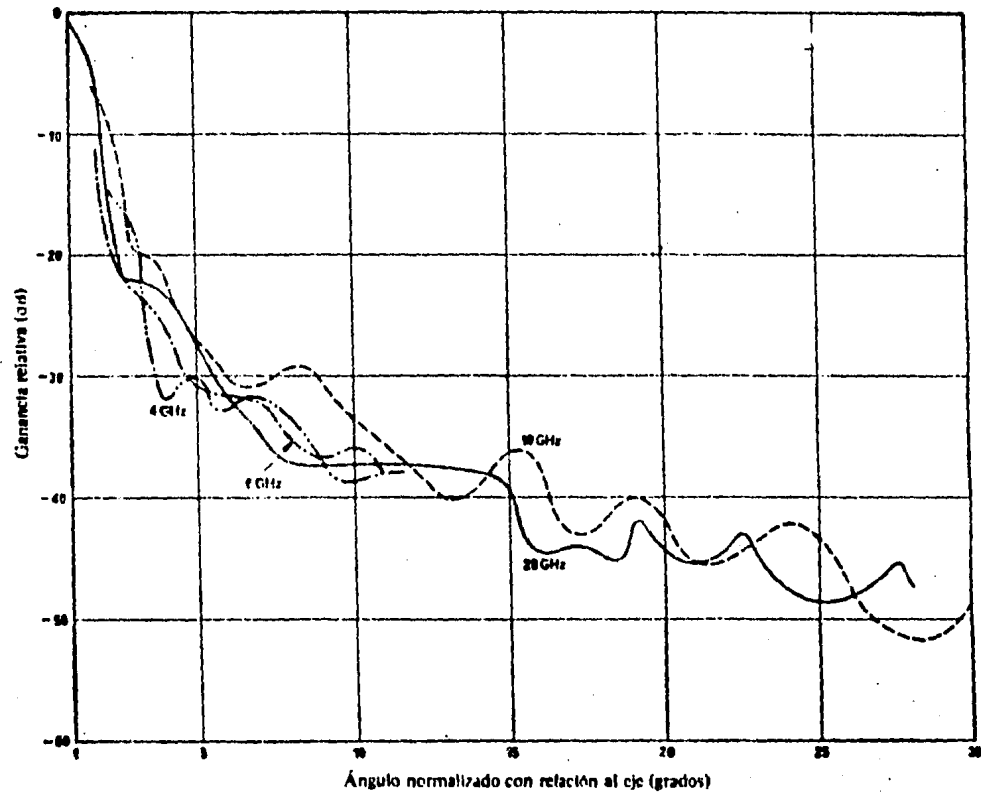


Fig.6 Diagramas medidos de la envolvente de las crestas de los lóbulos laterales de una antena de bocina de haz estrecho conformado

	Polarización	Angulo de referencia	
—————	Circular Izquierda	1°	} Vease a) en la fig.5
- - - - -	Circular Derecha	1°	
- . - . - .	Circular Izquierda	2.7°	} Vease b) en la fig 5
- . . . - .	Circular Derecha	2.7°	

DIAGRAMAS DE GANACIA DE LOS LOBULOS LATERALES

En lo que respecta a la utilización de la órbita y a la reducción de la interferencia, los diagramas de radicación de los lóbulos laterales son de suma importancia. Los lóbulos laterales se producen como resultado de distintos factores que intervienen en el diseño de las antenas y que incluyen la difracción y el desbordamiento alrededor de los bordes de un reflector o subreflector, la obstrucción de la antena, la distribución de amplitud y fase de la onda en la abertura y las iluminaciones fuera de foco.

La obstrucción de la antena puede ser un factor limitativo en sistemas de reflectores si $\frac{D}{\lambda}$ es bajo.

La distribución de amplitud y de fase en la abertura es un factor importante en todos los tipos de antenas. A medida que la iluminación de la abertura varía desde distribuciones uniformes a distribuciones donde la iluminación disminuye más en los bordes de la abertura, la ganancia de cresta disminuye ligeramente y los lóbulos laterales disminuyen significativamente cuando la obstrucción de la abertura no es importante. Este efecto se muestra en la figura 7.

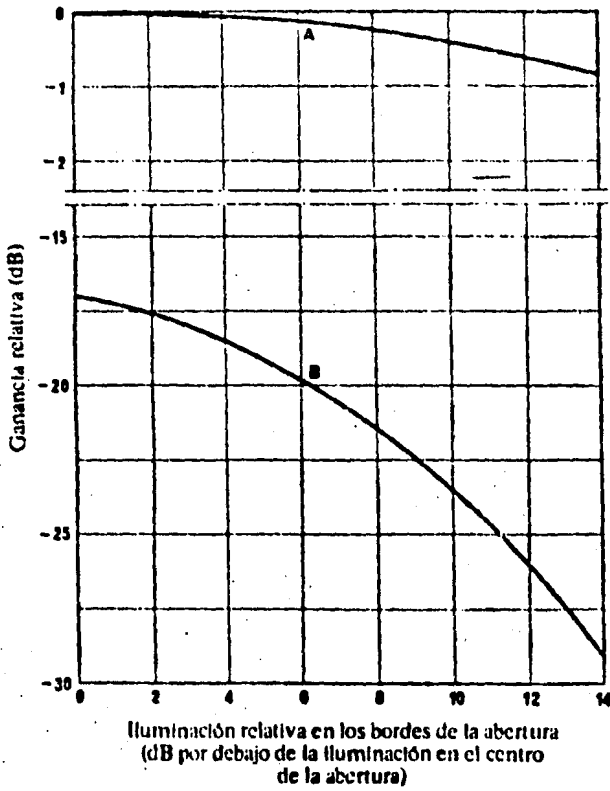


Fig. 7 Efectos de la iluminación de la abertura.

A: Lóbulo principal.

B: Primer lóbulo lateral

Para reflectores parabólicos sencillos iluminados a partir del foco por una fuente única en el que el nivel de iluminación hacia el borde del reflector es 10dB inferior a aquél hacia el centro y una relación $\frac{D}{\lambda}$ de -- aproximadamente 10, el nivel del primer lóbulo lateral es generalmente de unos -20dB con relación al nivel del lóbulo principal.

A medida que aumenta $\frac{D}{\lambda}$, el nivel relativo del primer lóbulo lateral disminuirá hasta unos -25dB con relación al lóbulo principal.

Los mayores niveles de lóbulos laterales -- para valores bajos de $\frac{D}{\lambda}$ se deben al efecto de la obstrucción de la abertura.

Para reflectores parabólicos alimentados en el foco principal para cobertura de la Tierra ($\frac{D}{\lambda} \approx 4$), el primer lóbulo lateral sería de unos -15dB con relación a la ganancia en el eje principal.

Cambiando el nivel de iluminación hacia el -- borde del reflector no se mejorarán materialmente los niveles de los lóbulos laterales cercanos cuando la obstrucción de la abertura es el factor de limitación.

Para sistemas con reflector parabólico con múltiples alimentadores, los niveles de los lóbulos laterales aumentan conforme se desplaza el lóbulo principal. A medida que aumentan el desplazamiento respecto del lóbulo principal, aumentan los niveles de los lóbulos laterales a ambos lados del eje (lóbulos laterales en coma) mientras que los opuestos tienden a fusionarse con el lóbulo principal. Los lóbulos laterales coma tienden a aumentar menos rápidamente cuando se emplean grandes disminuciones de iluminación hacia el borde del reflector o grandes relaciones f/D .

La figura 8 representa el nivel del primer lóbulo lateral coma como función del ángulo normalizado en relación con el eje principal para $f/D = 1$ y una disminución de iluminación hacia el borde del reflector de 20dB. La posición angular relativa del primer lóbulo coma coincide aproximadamente con la posición del primer lóbulo lateral normal.

Así pues, si se utilizan múltiples alimentadores para obtener conformaciones de los lóbulos laterales complejas (desplazar el ángulo en una proporción comparable a la abertura del haz), algunos lóbulos coma pueden estar situados dentro de la zona de cobertura.

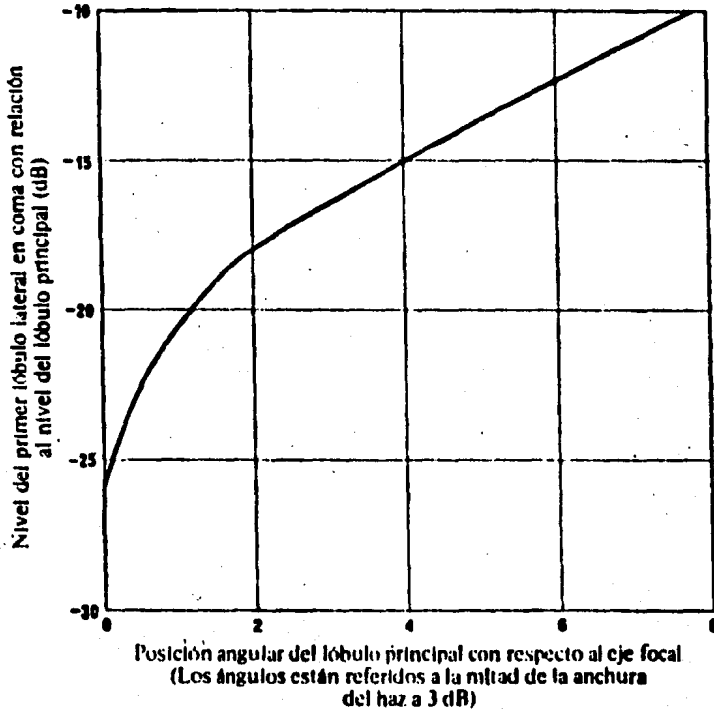


Fig.8 Nivel del primer lóbulo lateral coma , en función de la posición angular del lóbulo principal respecto del eje focal.

Iluminación relativa en los bordes de la abertura : 20 dB

$$f/D=1$$

Cuando se generan haces especialmente separados con múltiples alimentadores, el lóbulo lateral coma - puede estar situado dentro de las zonas de cobertura de -- otros sistemas de satélite.

Los lóbulos laterales coma son una propiedad fundamental de las antenas de reflector parabólico con alimentación desplazada del foco y puede dar por resultado -- niveles elevados de los lóbulos laterales.

Las iluminaciones múltiples dentro de la -- abertura de un reflector común aumenta el nivel de los lóbulos laterales cercanos.

UTILIZACION DE LA ORBITA
EFECTOS DE LAS ENVOLVENTES DE LOS LOBULOS LATERALES

Para mejorar la utilización de la órbita es preciso en último término o bien reducir la ganancia del lóbulo principal o aumentar el tamaño de la abertura o ambas cosas.

La figura 7 muestra el efecto de la primera medida. Haciendo que disminuya más rápidamente la iluminación, el nivel del primer lóbulo lateral se reduce y la pendiente de la envolvente de los lóbulos laterales aumenta. Sin embargo la posición relativa de los lóbulos laterales próximos no se altera significativamente.

La figura 9 muestra la mejora relativa de utilización de la órbita (se supone un sistema homogéneo con antena de satélite de haz de cobertura restringida, de sección circular y una pendiente de la envolvente de los lóbulos laterales de -7.5dB por octava). Se da por supuesto que un cierto número de haces de cobertura restringida se forman en un punto de la órbita geostacionaria y entonces el número relativo de haces que pueden formarse para una interferencia dada se calcula como función del -

nivel de envolvente de los lóbulos laterales.

Mejoras de pequeña magnitud en la envolvente de los lóbulos laterales influyen en la utilización de la órbita.

Los anchos de haz de las antenas de satélite generalmente están comprendidas en una de las tres categorías siguientes:

- anchuras de haz de unos 17° (cobertura -- global)
- anchuras de haz comprendidas entre unos 17° y unos 5° a 10°
- anchuras de haz restringido considerablemente menores que la correspondiente a la cobertura global.

En el caso de la cobertura global, el lóbulo principal comprende la Tierra y no existen lóbulos laterales dirigidos a esta. Más allá de los bordes de la Tierra vista desde el satélite, el único riesgo es la posible interferencia que pueda causarse a satélites explotados en bandas de frecuencias inversas; por ejemplo satélites que

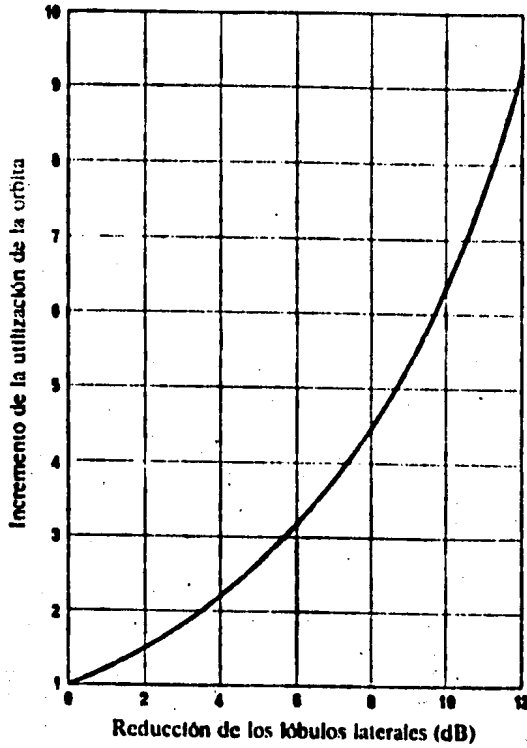


Fig 9 . Utilización de la órbita en función de la reducción de los lóbulos laterales .

transmitan en la banda de 6GHz y que reciban en la de 4GHz.

La figura 10 reproduce diagramas típicos medidos de las antenas de cobertura global de satélites - - INTELSAT IV y IVA para ángulos que rebasan con creces los correspondientes a los bordes de Tierra.

El lóbulo principal y la zona del primer lóbulo lateral son la fuente principal de interferencia a estaciones terrenas.

Para los lóbulos laterales de orden mayor - también constituyen una fuente de interferencia para las estaciones terrenas.

Otro aspecto que deberá considerarse en el diseño de satélites en que se utilicen antenas de haz estrecho es el de la capacidad de orientación de estas antenas.

Hay que adelantar que a medida que aumenta - la densidad de ocupación de la órbita del satélite, puede ser necesario el cambio de posición de los satélites existentes para acomodar nuevos satélites.

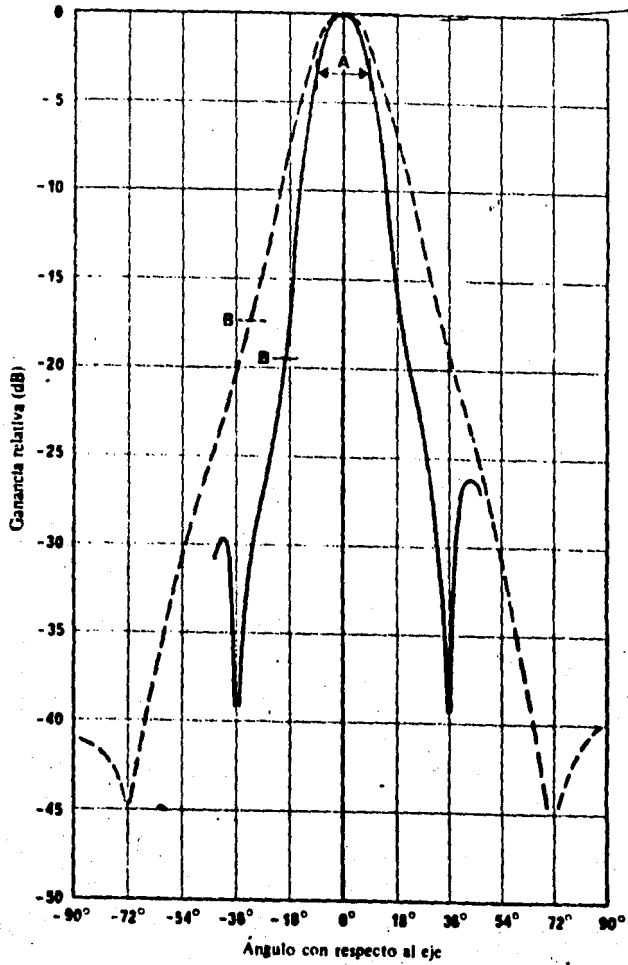


Fig. 10 - Antenas de satélite de cobertura global y polarización circular. Diagramas típicos medidos en $f = 3950$ MHz.
A: Ángulo que forma el borde de la Tierra visto desde el satélite.
B: Niveles isotrópicos.
 ——— Bocina cónica, con reflector plano de 45°
 - - - - - Bocina cónica multimodal, destinada al INTELSAT IV - A

La capacidad de cambiar la posición de un satélite puede ser muy restringida cuando sea fijo el ángulo del haz de la antena del satélite con respecto a la plataforma del satélite. Aun cuando el arco utilizable de la órbita de los satélites geostacionarios para un sistema dado está limitado por imperativos de la visibilidad directa, no deberá estar restringido indebidamente por los límites de orientación de las antenas de satélite de haz estrecho.

Un diagrama de radiación de la antena del satélite es importante tanto en la región del lóbulo principal como en la de los lóbulos laterales más lejanos de -- ahí que el siguiente diagrama propuesto comience en los contornos a -3dB del lóbulo principal y esté dividido en cuatro regiones:

$$G(\theta) = G_m - 3 \left(\frac{\theta}{\theta_0}\right)^2 \text{ dB para } \theta_0 \leq \theta \leq 2.6\theta_0 \quad \dots 1$$

$$G(\theta) = G_m - 20 \text{ dB para } 2.6\theta_0 < \theta \leq 6.3\theta_0 \quad \dots 2$$

$$G(\theta) = G_m - 25 \log\left(\frac{\theta}{\theta_0}\right) \text{ dB para } 6.3\theta_0 < \theta \leq \theta_1 \quad \dots 3$$

$$G(\theta) = -10 \text{ dB para } \theta_1 < \theta \quad \dots 4$$

siendo:

$G(\theta)$: ganancia para un ángulo (θ) respecto del eje del haz.

G_m : ganancia máxima en el lóbulo principal

θ_0 : mitad de la anchura del haz a 3dB en el plano considerado (3dB por debajo de G_m).

θ_1 : valor de (θ) cuando $G(\theta)$ en la ecuación (3) es igual a -10dB.

Estas funciones se muestran en la figura # 11

La ecuación # 1 es una de varias funciones - que pueden usarse para la aproximación del diagrama del lóbulo principal de un haz simple (no conformado).

De acuerdo con estos supuestos, en la región de -3dB a -20dB esta función proporciona valores de ganancias superiores, por lo general, a los que se encuentran en la realidad con las antenas reales de haz simple.

La ecuación # 2 corresponde a la región de - los primeros lóbulos laterales y esta basada en valores típicos obtenidos cuando no se intenta reducir los niveles de los primeros lóbulos laterales.

La ecuación # 3 corresponde a la región de los lóbulos laterales más alejados.

La cuarta región ecuación 4, se deriva también del diagrama de referencia de la estación terrena.

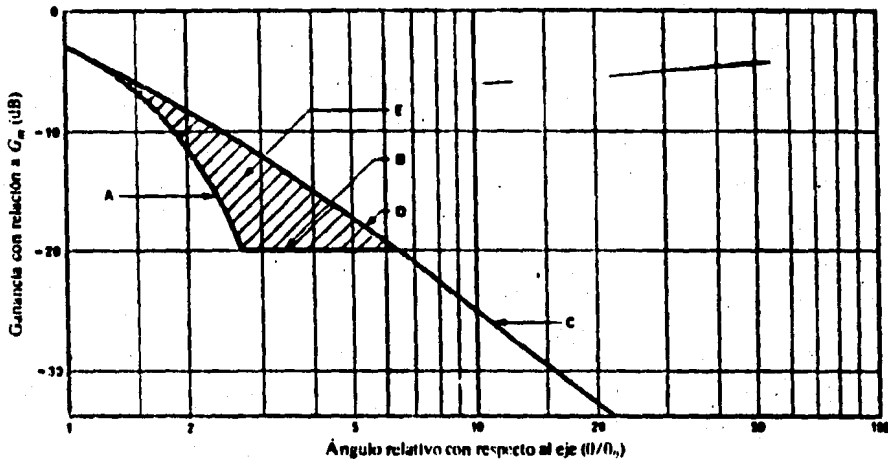


FIGURA 11 — Función de la envolvente del diagrama de radiación

θ_1 : valor de θ cuando $G(\theta)$ en (C) es igual a -10 dB
(Cuando θ es mayor que θ_1 , $G(\theta)$ no debería ser mayor que -10 dB)

- Curvas A: $[G(\theta) - G_m] = -3 \left(\frac{\theta}{\theta_0}\right)^2$ dB ($0 \leq \theta \leq 2,6 \theta_0$)
 B: $[G(\theta) - G_m] = -20$ dB ($2,6 \theta_0 < \theta \leq 6,3 \theta_0$)
 C: $[G(\theta) - G_m] = -25 \log \left(\frac{\theta}{\theta_0}\right)$ dB ($6,3 \theta_0 < \theta < \infty$)
 D: $\left[1 + \left(\frac{\theta}{\theta_0}\right)^{2,5}\right]^{-1}$
 E: Zona del primer lóbulo lateral

G_m : Ganancia máxima en el lóbulo principal

θ_0 : Abertura angular mitad a 3 dB en el plano considerado
(3 dB por debajo de G_m)

CONFORMACION DEL HAZ POR COMBINACION DE VARIOS ALIMENTADO-
RES EN UN REFLECTOR PARABOLICO COMUN

El diseño de la antena del satélite Intelsat, situado sobre el oceano Atlántico es un ejemplo de conformación del haz que satisface las exigencias de una zona de cobertura y ofrece al mismo tiempo suficiente aislamiento entre zonas de servicio para permitir la reutilización de las frecuencias.

La figura 1 ilustra contornos típicos de la zona de servicio mínimo requerido con reutilización de frecuencias entre el Este y el Oeste.

Las especificaciones exigen un cierto valor de p.i.r.e mínimo y relaciones portadora/interferencia en los trayectos ascendente y descendente superior a 27dB dentro de esos contornos.

La posición de las estaciones terrenas dentro de los contornos de cobertura especificada se indican con un punto; los márgenes de orientación necesarios para tener en cuenta las variaciones de actitud del satélite - permitidas por las especificaciones se indican mediante -

un rectángulo en torno a cada punto.

La figura 2 representa los contornos para cada haz del reflector parabólico común. Cada uno de estos haces es generado por un grupo de alimentadores a fin de que su conformación esté en consonancia con las condiciones operacionales; se obtiene una pronunciada reducción de la ganancia fuera de la zona de servicio, en las direcciones en que es particularmente necesario controlar los niveles de interferencia entre haces.

La cobertura estipulada en las especificaciones se obtiene combinando de manera apropiada las fases del par de haces en dirección Este y de manera similar, las fases de los dos haces Oeste.

La figura 3 reproduce el contorno de cobertura medido del haz Sudeste obtenido por mediciones en relación con los contornos de cobertura y aislamiento especificados.

También se indican los contornos previstos para el caso de una antena con varios alimentadores. Puede observarse que mientras las predicciones son bastante

exactas para los contornos de ganancia elevada del haz com puesto son poco exactas para los niveles más bajos de los lóbulos laterales.

En el caso de los alimentadores se presentan dos aspectos:

En el caso de un haz individual, se traduce en una débil excitación de todos los alimentadores próximos al alimentador activado.

En segundo lugar cuando se excitan simultáneamente varios haces componentes para formar un grupo el efecto del acoplamiento mutuo es el de modificar la impedancia de entrada de cada alimentador lo que impide obtener exactamente la repartición deseada de amplitud y desfase relativos entre los alimentadores.

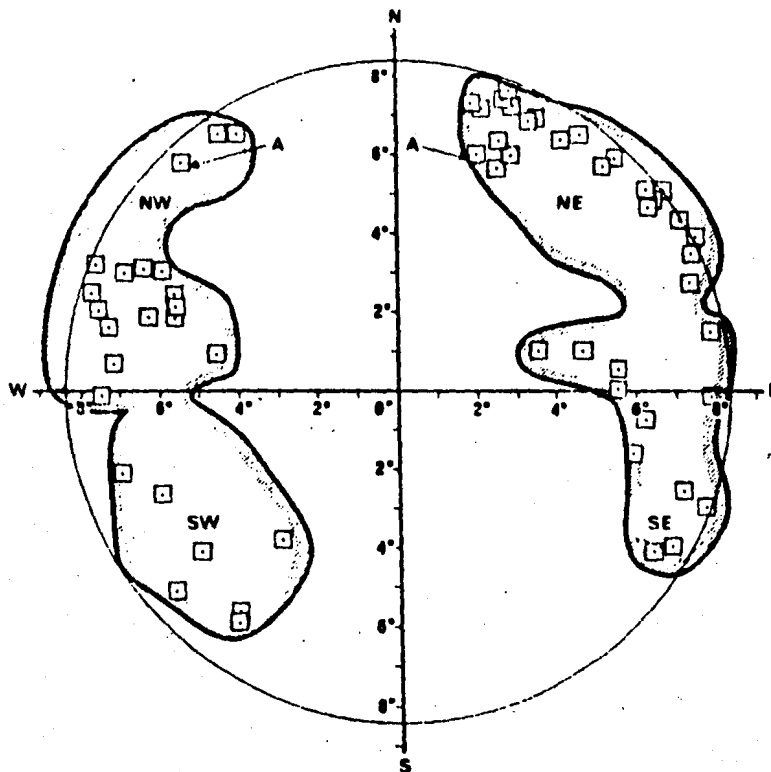


Fig. 1a . Zonas de cobertura especificadas para la antena del satélite INTELSAT IV A , tal y como se ven desde el satélite .

A: Ubicación de las estaciones terrenas .

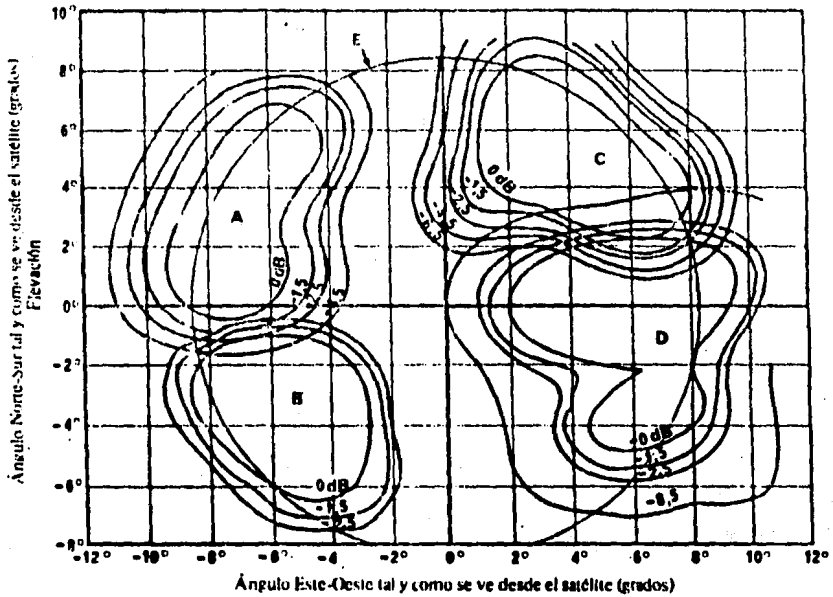


Fig 2. Contornos típicos de los haces de las antenas del satélite INTELSAT IV A obtenidos mediante mediciones ; la p.i.r.e se expresa en dB con relación al valor especificado en el borde la cobertura. Frecuencia 3975 MHz .

- A: Haz Noroeste.
- B: " Sudoeste.
- C: " Noroeste .
- D: " Sudoeste .
- E: Borde de la Tierra .

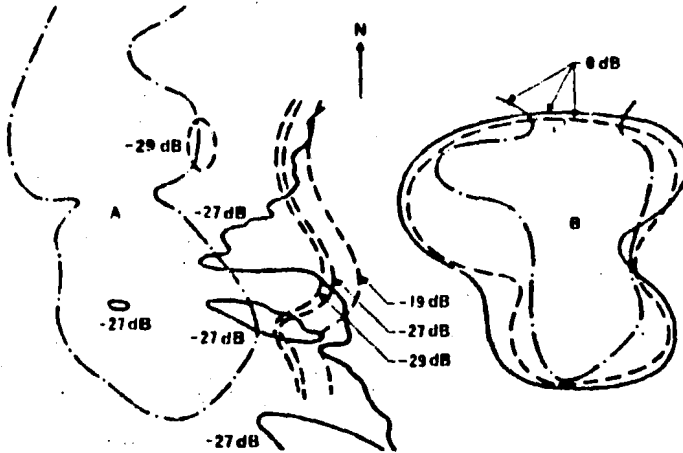


Fig 3 . Contorno del haz Sudeste de la antena del INTELSAT IV A tal y como se ve desde el satélite . La p.i.r.e en los contornos se expresa en dB con relación al valor especificado en el borde de la zona de cobertura. Frecuencia 3950 MHz .

- Contorno medido.
- " " calculado a partir de la distribución de
- --- los alimentadores .
- . — Contorno especificado.

A: región de aislamiento.

B: región de cobertura .

CARACTERISTICAS DE LOS LOBULOS LATERALES DE LAS ANTENAS DE
SATELITE DE GANANCIA ELEVADA

La reutilización de la frecuencia por medio de antenas de satélite de ganancia elevada exige el uso - de antenas cuya atenuación en dirección de los lóbulos la terales sea lo más elevada posible para lograr una separación eficaz con respecto a las zonas adyacentes de cobertu ra en las que se utiliza la misma banda de frecuencias.

Además conviene conocer los diagramas exactos de los lóbulos laterales de las antenas de satélite con ob jeto de coordinar los sistemas de satélites que utilizan po siciones angulares adyacentes de la órbita de los satéli-- tes geoestacionarios.

La figura 4 representa los resultados de las mediciones efectuadas con una antena de prueba para satéli tes geoestacionarios, en parte en condiciones óptimas destinadas a cubrir una zona circular con un ángulo de abertu ra de 1.35° , visto desde la antena.

La antena es un paraboloide circularmente si métrico y alimentado en el centro, que tiene un diámetro -

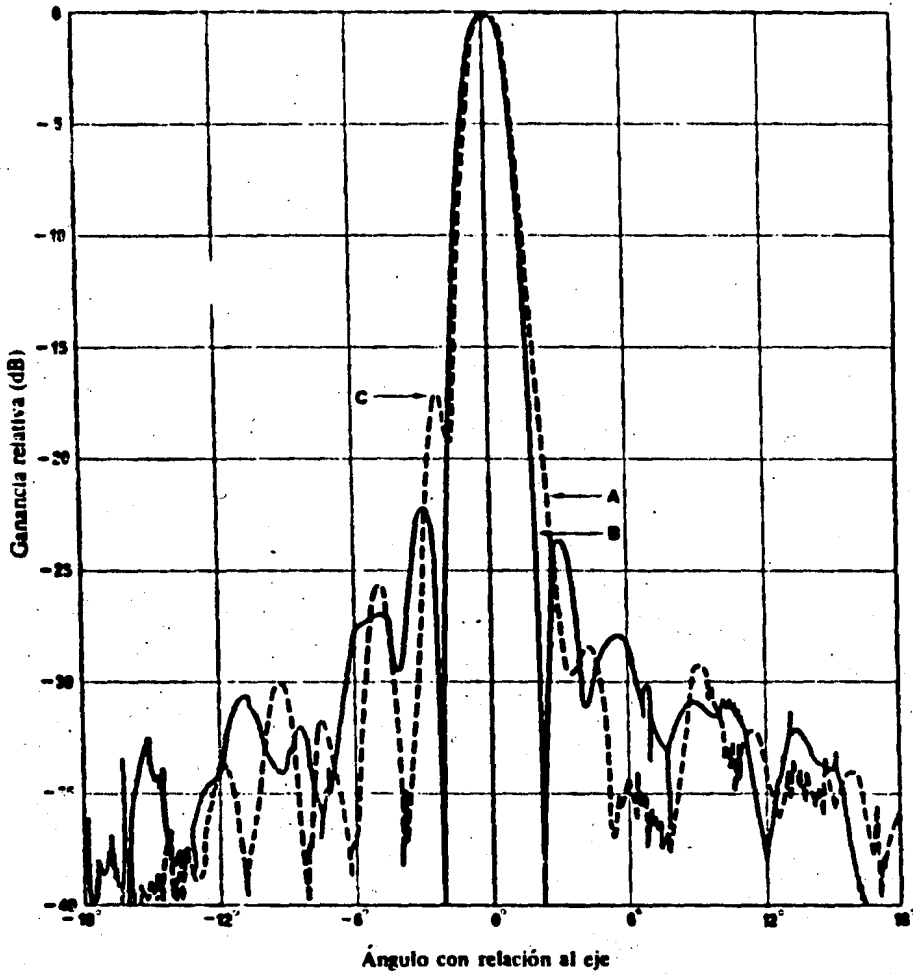


Fig. 4 Diagrama de un paraboloide alimentado en el foco .
11.7 GHz. Polarización horizontal .

A: Plano H . B: Plano E . C: Reflexión en Tierra .

de 1.20 m. y una relación $\frac{D}{f}$ de 0.38.

Funciona en la banda de frecuencia de 11.7 a 12.5GHz y permite la polarización lineal y la circular.

La alimentación primaria consiste en un radiador circular de guíasondas con su reborde situado casi en el plano de abertura del reflector parabólico.

Las dimensiones son tales que en el plano de abertura de la antena parabólica se obtiene una iluminación en fase lo más periódica posible desde el centro hasta el borde.

En el caso nuestro considerando un sistema de antenas como un elemento de comunicación se hace también resaltar el empleo de la polarización. En la actualidad se han definido técnicas como las polarizaciones ortogonales circulares o lineales, el empleo de la polarización ortogonal puede ser un medio eficaz de aumentar la capacidad de la órbita de los satélites geoestacionarios.

Dentro de las aplicaciones se consideran las siguientes:

- a) reutilización de frecuencias dentro de los haces principales de las antenas de los satélites y de las estaciones terrenas;
- b) empleo por satélites adyacentes, a fin de reducir la separación entre satélites;
- c) empleo en haces de cobertura restringida -vecinos o superpuesto- de los satélites para reducir las interferencias.
- d) reducción de la interferencia producida por los enlaces de mayor potencia en los de menor potencia a través del mismo satélite.

Deben considerarse distintos factores, tales como la separación de acuerdo al tipo de polarización que puede obtenerse en diferentes sectores de los haces de las antenas y para las diferentes frecuencias de la banda de funcionamiento, las características de los polarizadores, los efectos que se producen en la atmósfera y en la ionosfera, la estabilidad en la orientación de los satélites y la implantación del seguimiento y corrección en la polarización.

Se considera que en cuanto a los sistemas de

captación de señales electromagnéticas se tienen sistemas polarizados se hace mencionar los sistemas polarizados circularmente, se emplean polarizadores para la conversión entre polarización lineal y polarización circular. En los sistemas polarizados linealmente pueden utilizarse polarizadores rotables para alinear la polarización de la estación terrena con la de la onda recibida.

En ambos casos pueden utilizarse polarizadores ajustables para compensar los efectos de la descomposición en la polarización.

Para los sistemas de antenas de satélites, la región de interés coincide con la cobertura del haz, extendiéndose al menos hasta el contorno de -3dB .

Como se verá en el diagrama de radiación más adelante, las medidas típicas recogidas indican que en esta región, las antenas de bocina de satélites con diagramas cuyo haz tenga una simetría de revolución casi perfecta alrededor del eje focal, proporcionará una separación de 40dB tanto para la polarización circular como lineal.

La dirección del plano de polarización de las antenas de un satélite observada desde la estación te-

rrena varía en función de la posición del satélite con relación a la ubicación de la estación terrena y la actitud del satélite.

Se consideran a continuación la elección entre las polarizaciones lineal y circular en los sistemas de satélites:

- a) La polarización lineal requiere mantener una alineación adecuada entre las direcciones de polarización de las antenas -- del satélite y de la estación terrena.
- b) En el caso de la polarización lineal, -- para frecuencias inferiores a 10GHz, la rotación de Faraday puede exigir el seguimiento de polarización en la estación terrena.
- c) El ángulo de polarización de una antena polarizada linealmente, puede variar a -- lo largo de su ancho de banda de diseño.
- d) La calidad de funcionamiento de los polarizadores que son necesarios en los sistemas con polarización circular y pueden utilizarse también en los sistemas pola-

rizados, linealmente, puede variar con la frecuencia.

- e) Los sistemas con polarización lineal correctamente alineados, se comportan mejor en presencia de la lluvia que los sistemas con polarización circular.

1.2) SUBSISTEMA DE TRANSPONDERS

Un satélite de telecomunicaciones tiene la finalidad de retransmitir las señales enviadas desde Tierra hacia un destino determinado.

Cuando se realiza la comunicación desde la Tierra hacia el satélite ocurre una atenuación en la trayectoria, al llegar la señal de comunicación al satélite la recibe un receptor y pasa al transmisor para que así el satélite transmita al lugar deseado; a la etapa de receptor-transmisor en el satélite se le conoce como transponder.

El transponder realiza la conversión de frecuencias ya que el satélite recibe a la onda portadora en el orden de una frecuencia alta y luego la convierte a una frecuencia baja como es el caso de convertir una frecuencia de 6GHz a 4GHz.

Se debe de considerar que el satélite tiene - - transponders asignados de acuerdo a las frecuencias de operación y zonas para realizar los enlaces de comunicación.

El satélite INTELSAT V posee 27 transponders - con tres diferentes anchos de banda que son :

40MHz, 80MHz y 240MHz. En los cuales se acomoda el tráfico de diferentes tipos de señales como voz, datos video, etc, utilizando varios métodos de modulación, multiplexaje y acceso múltiple.

De acuerdo a la organización de los transponders lo que importa es que acomode la señal de comunicación en un canal de transmisión en el satélite a una determinada banda de frecuencia y frecuencia portadora.

Se ilustra a continuación el plan de canalización en el transponder del satélite INTELSAT V.

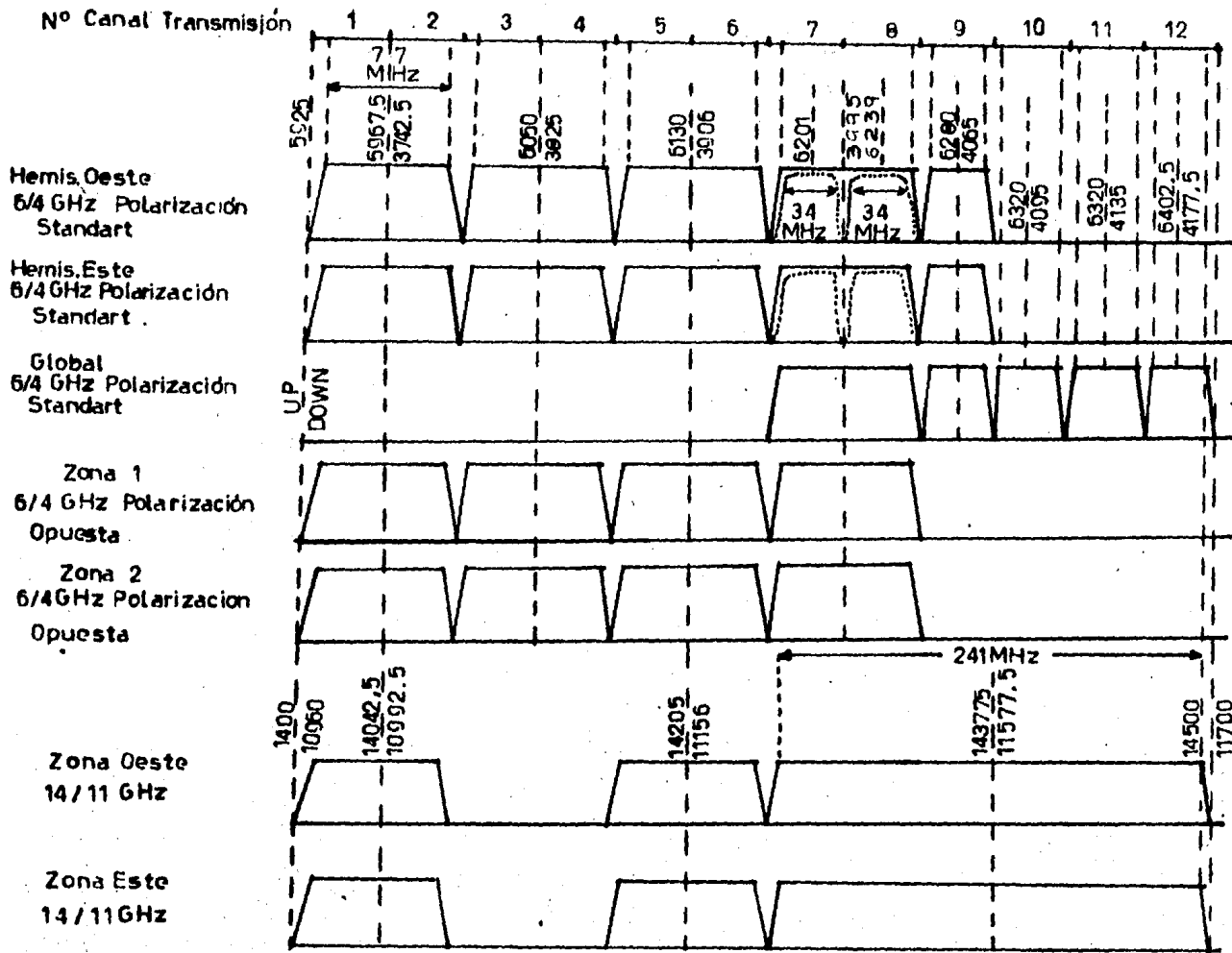
En algunos casos, cuando un canal se extiende más de lo debido se puede identificar como un canal de número múltiple, como ejemplo se tiene la zona Oeste cuyos canales son (1-2) o el canal (7-12). Cuando aparece una línea punteada en el plan de canalización indica que la canalización en un enlace ascendente (UP-LINK) se presenta en dos canales independientes, como es el caso del canal 7 y 8, -- mientras que en un enlace descendente (DOWN-LINK) los canales anteriores se combinan para formar un sólo canal (7-8).

El sistema de comunicación en el satélite podrá incorporar un número de canales, para que puedan ser trans-

mitidos y definir de alguna manera una organización para -- realizar la comunicación a diferentes regiones del planeta.

La siguiente tabla muestra como puede ser establecida de forma independiente la comunicación por cada canal y ésta puede realizarse solamente entre una área transmisora y área receptora.

Desde	a	Zona Oeste	Zona Este	Hem. Oeste	Hem. Este	Zona 1	Zona 2	Global
Zona Oeste		(1-2) (5-6) (7-12)	(1-2) (5-6) (7-12)	(1-2) (5-6)	(1-2) (5-6)	(7-8)	(7-8)	
Zona Este		(1-2) (5-6) (7-12)	(1-2) (5-6) (7-12)	(1-2) (5-6)	(1-2) (5-6)	(7-8)	(7-8)	
Hem. Oeste		(1-2) (5-6)	(1-2) (5-6)	(1-2) (3-4) (7) (8) (9)	(1-2) (3-4) (5-6) (7) (8) (9)	(3-4) (5-6)	(3-4) (5-6)	
Zona 1		(7-8)	(7-8)	(3-4) (5-6)	(3-4) (5-6)	(1-2) (3-4) (5-6) (7-8)	(1-2) (3-4) (5-6) (7-8)	
Zona 2		(7-8)	(7-8)	(3-4) (5-6)	(3-4) (5-6)	(1-2) (3-4) (5-6) (7-8)	(1-2) (3-4) (5-6) (7-8)	
Global								(7-8) (9) (10) (11) (12)



Las etapas de operación del transponder son las siguientes:

- 1) Amplificación de bajo nivel y la traslación de frecuencia en el enlace descendente.
- 2) Canalización en el transponder
- 3) Circuitos de conmutación
- 4) Amplificación de potencia y la traslación de frecuencia considerando la zona de operación del satélite.
- 5) Circuitos combinadores

A continuación se describe cada una de las mencionadas etapas:

ETAPA 1. Amplificación de bajo nivel y traslación de frecuencia en el enlace descendente.

Se tiene la presencia del receptor (RCVR) considerando que la señal de comunicación viaja desde la estación terrena al satélite, la potencia de la señal recibida es muy pequeña cerca de 10^{-10} watts, para esto se hace uso de un amplificador de alta frecuencia, considerando la transmisión de la frecuencia portadora.

Después de realizar la amplificación, se realiza una conversión a una baja frecuencia para que la transmisión se haga del satélite a la estación terrena receptora. En esta conversión se tiene presente filtros que eliminan las señales indeseables y asignando la señal a un canal deseable permitiendo el acceso de la información a --- otros circuitos para que sea enviada a su destino deseable.

Se observa en esta etapa que existen los interruptores "S" y "C", estos tienen la opción de marcar la ruta a la señal de comunicación para que pueda ser procesada y transmitida, también estos interruptores actúan como una etapa de redundancia.

ETAPA 2. Canalización en el transponder.

El circuito híbrido "H" es selector de línea que puede clasificar la señal de comunicación para enviarla al circuito de canalización indicado. En estos circuitos se coloca la señal de comunicación en un canal a una banda de frecuencia para su transmisión.

ETAPA 3. Circuitos de conmutación.

Cuando la señal de comunicación ya tiene un canal de frecuencia asignado, ésta pasa a una sección de circuitos de interconexión.

El satélite posee 7 circuitos de interconexión que actúan como matrices de conmutación para poder enlazar la sección receptora y transmisora de acuerdo a las combinaciones de conmutación que permita realizar el satélite - de acuerdo a la capacidad que se tenga asignada para ciertas áreas específicas que cubre el satélite para los enlaces de comunicaciones.

ETAPA 4. Amplificación de potencia y la traslación de frecuencia considerando la zona de operación del satélite.

Una vez teniendo la conexión del circuito adecuado, el satélite INTELSAT V llega a hacer una selección de la línea con la ayuda de un multiplexor.

Después de que la señal de comunicación pasó al multiplexor de entrada, pasa a la etapa de amplificación - de potencia realizada por el ATOP (Amplificador de Tubo de Onda Progresiva) y al final por un multiplexor o un conmutador tipo "S" que servirá para marcar la ruta a la señal que se desea transmitir al combinador y a la antena de comunicación que se encargará de transmitir la información - al destino asignado.

Los bloques (U/C) son convertidores de frecuencia, estos no siempre se presentan en todo el diagrama ya que dependen de la frecuencia a la que va a transmitir el

satélite y hacia la región que se considere. Para este -- caso sólo se tendrá presente para la frecuencia de 11GHz y zonas Este y Oeste.

1.3) SUBSISTEMA DE TELEMETRIA Y COMANDO

En el capítulo de Telemetría, Comando y Rastreo se analizará con mayor detalle este subsistema.

Este subsistema sirve para tener un control en el funcionamiento del satélite mediante la ayuda de dispositivos auxiliares como: propulsores de corrección de balance, sensores geoestacionarios infrarrojos, mecanismo para realizar algún movimiento en el plano solar en dirección - al Sol.

La transmisión de las señales de comando es a - la frecuencia de 6GHz para el enlace ascendente, mientras que las señales de telemetría se transmiten a la frecuen-- cia de 4GHz para el enlace descendente.

1.4) SUBSISTEMA DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA.

Lo fundamental en un satélite de comunicaciones es el sistema de generación de energía eléctrica y suministro de ésta a los dispositivos que la requieren.

Las fuentes de energía que se usan en un satélite son:

- a) Las celdas fotoeléctricas es donde se aprovecha la energía solar y la convierte en energía eléctrica.
- b) Las baterías electroquímicas como níquel-cadmio y níquel-hidrógeno ofrecen un buen rendimiento considerando que deben soportar ciclos de carga y de descarga, las baterías de níquel-cadmio han llegado a aceptar 20 000 descargas completas, la degradación de su funcionamiento empieza después de 4 años de servicio y la degradación total es después de los 7 años lo cual es un factor limitante en el tiempo de vida del satélite cuando se mantiene en la órbita geoestacionaria.

En la organización INTELSAT se ha tenido que usar

baterías níquel-hidrógeno considerando que el tiempo de operación en órbita ahora es de 10 años, también se considero su uso para los futuros satélites ya que estas sólo serán utilizadas cuando este presente el periodo del eclipse donde los paneles solares no están en funcionamiento.

Las baterías que alimentan un satélite de comunicaciones se clasifican en primarias y secundarias; las baterías primarias brindan un servicio regular durante la mayor parte del tiempo de operación que tiene de vida un satélite, se considera que las descargas que se presentan son de duración breve y con niveles bajos de potencia para su operación, mientras que las baterías secundarias solo funcionan cuando falla el suministro normal de energía eléctrica y las descargas que se presentan son a largo plazo operando a niveles elevados de potencia.

Las baterías secundarias son recargables y esto es posible, ya que cuando se recibe la energía del Sol, ésta se convierte a energía eléctrica por medio de las celdas fotoeléctricas. Esta no sólo se distribuye para el consumo de los equipos sino también se debe restituir la energía pérdida a las baterías.

Quando el satélite nuevamente se encuentra en la -

zona de eclipse, las baterías secundarias se encontrarán nuevamente al tope de su capacidad de carga y éstas se encuentran preparadas para sustituir una vez más a los paneles solares.

1.5) SUBSISTEMA PARA ACONDICIONAR EL SUMINISTRO DE -
ENERGIA ELECTRICA.

Las condiciones del suministro de energía dependen de la potencia que entrega el panel solar, de la selección del voltaje al que operará el satélite ya que este se presenta de acuerdo a la configuración del panel solar que puede llegar a exceder 2.5 veces el valor del voltaje nominal de operación y también la intensidad de radiación solar que llega a captar el panel solar.

El suministro de energía eléctrica es de manera continua, se debe de regular el voltaje para evitar que sea excesivo ya que los dispositivos que funcionan con la energía eléctrica están diseñados para operar a un voltaje determinado y su funcionamiento será satisfactorio siempre y cuando el voltaje aplicado no varíe más allá de los límites establecidos, un voltaje alto como bajo acortan la vida de los dispositivos eléctricos. La regulación del voltaje consiste en evitar fuertes fluctuaciones en el voltaje como también mantener el voltaje aplicado a un sistema de cargas lo más próximo al valor nominal.

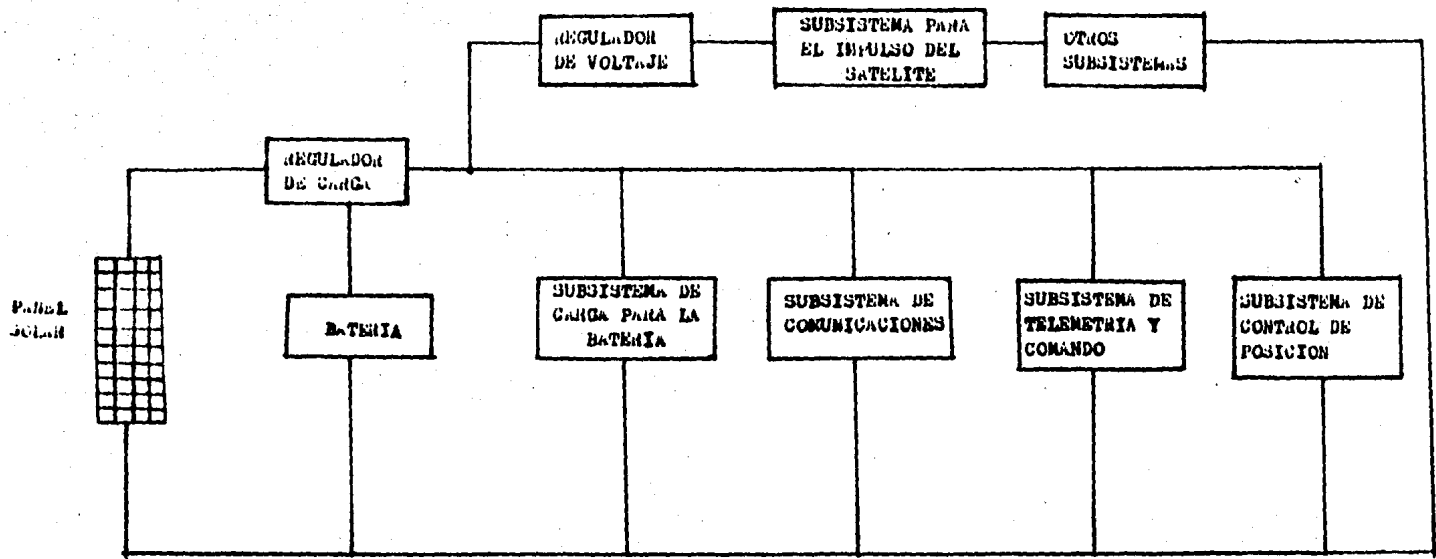
Se muestra a continuación la siguiente tabla --

donde se anotan las características eléctricas del satélite INTELSAT V como también un modelo del sistema eléctrico instalado en el satélite.

CARACTERISTICAS ELECTRICAS

SATELITE INTELSAT V

Extensión de la batería solar	18m ²
Capacidad de la batería de Ni-Cd	34AH
Potencia producida por la batería solar	
Al inicio	1725W
Al término (7 años)	1354W
Voltaje producido en la batería solar	42V
Voltaje en cada subsistema	29V
Asignación de potencia a cada subsistema	
Subsistema de Comunicación	875.w (30.2A, 29V)
Subsistema de Telemetría y Comando	32.3w (1.1A, 29.3V)
Subsistema de Control de posición	32w (1.45A, 28.9V)
Subsistema de Impulso del satélite	0.7w (0.02A, 35V)
Subsistema de Control Térmico	133.9w (4.6A, 29.10V)
Subsistema de Alimentación	20w (0.69A, 28.9V)
Subsistema de Carga de batería	100.7w (3.5A, 28.77V)
Otros subsistemas	1.0w (0.03A, 33V)
	<hr/>
	1206.1w (41.6A, 241.97V)



1.6) SUBSISTEMA DE PROPULSION

El sistema brindará un servicio con el fin de - usar propulsores para controlar la velocidad orbital de la nave, inclinación, posición durante la operación que tendrá durante 7 años.

El propulsor tendrá como combustible a la hidrazina (N_2H_4) donde este propulsor generará a la salida una - descomposición catalítica de la hidrazina.

La cantidad total requerida de hidrazina será - dividida en forma igual entre dos sistemas independientes, todos los propulsores serán capaces de encender continua-- mente pero funcionando a manera de pulso.

La presión de operación es de 30KPa (4Psi) con- siderando ante todo que el rango de temperatura es desde - $4^{\circ}C$ y la máxima temperatura predecida que es más de $10^{\circ}C$.

En cuanto a los propulsores al funcionar en forma de pulso, proporcionan la fuerza necesaria para ubicar la nave en una posición. Su función será de apagado-encendido.

Los propulsores son usados en la posición de -- control norte-sur del satélite.

El sistema de control esta basado en el principio del momento, tal es el caso del satélite INTELSAT V re quiere de un control activo para el desvío manteniendo su posición.

El momento es estimado para compensar algún par desordenado que pueda llegar a presentarse por la presen-- cia de la presión solar no balanceada.

Bajo estas condiciones para que el satélite se mantenga en su posición, los propulsores pueden por lo tanto mantener la influencia de estabilización con la ayuda - de los ejes de referencia y propulsores.

Cuando el satélite INTELSAT V se expone por primera vez al espacio libre, al ser separado del lanzador, - el satélite se desplaza a una órbita de transferencia.

El encendido del motor de apogeo a bordo del satélite lo inyecta en su órbita geoestacionaria circular de finitiva donde ocurre el despliegue de sus paneles solares y antenas.

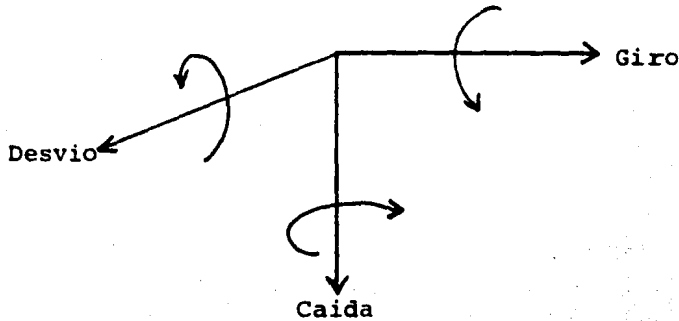
1.7) SUBSISTEMA DE ESTABILIZACION.

Cuando un satélite se encuentra realizando una órbita de transferencia o se debe de mantener en su posición de órbita geostacionaria es necesario tener control sobre el satélite con respecto a los movimientos que realiza.

Considerando el satélite INTELSAT V se considera un cuerpo estabilizado donde se tienen tres ejes de referencia y que con la ayuda de estos se tiene un control del satélite. La estabilización en el satélite se logra mediante giroscopos y con la ayuda de estos dispositivos el satélite puede tener una velocidad de rotación alrededor de sus ejes y lo cual tiende a mantenerlo en una dirección determinada en el espacio.

El sistema que se emplea en el satélite INTELSAT V es teniendo tres giroscopios ya que se tiene la propiedad de que cada giroscopio corresponde a un eje determinado en una dirección en el espacio. Los tres giroscopios nos aseguran las tres direcciones perpendiculares fundamentales de referencia en el espacio y estos nos definirán nuestra horizontal y vertical durante la órbita del satélite.

Se muestra a continuación el sentido de orientación de los ejes de referencia.



El control de los movimientos realizados por el satélite son con la ayuda de sensores solares e infrarrojos y los propulsores que se tienen. Cuando el satélite se deba de transferir de una posición a otra de acuerdo a la órbita que se tenga que realizar, el movimiento debe estar estabilizado por medio de los propulsores del mismo.

Para un satélite de telecomunicaciones tiene una importancia decisiva no sólo la órbita en la que se mueve sino también su posición en relación con la tierra. Un cambio de ángulo en la trayectoria o en su posición original

por mínimo que sea, puede dar lugar que las antenas del satélite pierdan de vista "la zona a la que se tiene que comunicar", de ahí que una orientación y una estabilización exactas y fiables sean decisivas para el éxito de la misión.

Por consiguiente se tendrá que analizar su trayectoria y su posición con la ayuda de la estación terrena de telemetría y rastreo ya que así pueden guiar al satélite para adoptar las correcciones necesarias. El satélite - - INTELSAT V tiene prácticamente una inmovilidad total lo que permite dotarlo de grandes paneles solares gracias a esto la orientación que este tiene es con un margen de error de 0.1° .

2) ORBITA GEOESTACIONARIO

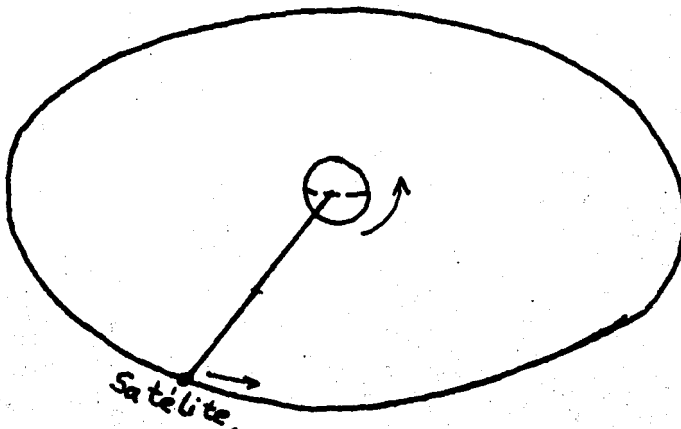
2.1) CARACTERISTICAS DE LA ORBITA GEOESTACIONARIA

La órbita que realiza el satélite es circular a 36000 km de altura y corresponde a un periodo orbital de 23 horas 56 minutos y este tiempo corresponde a la rotación de la Tierra.

El satélite permanece fijo tanto en longitud como en latitud. A este tipo de satélites se les conoce como satélites "geoestacionarios".

Las antenas de las estaciones de rastreo solo tendrán que seguir al satélite de acuerdo a la posición con la seguridad de que el satélite se encontrará en el mismo lugar.

El satélite geoestacionario permanece fijo sobre el Ecuador.



VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ORBITA GEOESTACIONARIA

VENTAJAS

- 1) El satélite permanece casi estacionario. Como el satélite se encuentra en órbita geostacionaria debe conservar su posición considerando el ejercicio de la fuerza de atracción terrestre.
- 2) No hay necesidad de cambiar de un satélite a otro.
- 3) Debido a la distancia, un satélite geostacionario esta en línea de vista desde el 42.4% de la superficie terrestre (38% para un ángulo de elevación de más de 5°)
- 4) Tres satélites dan una cobertura global excepto en los polos.
- 5) No hay cambios por efectos Doppler
- 6) En la órbita geostacionaria el satélite estará en zonas de sol donde se aprovecha el uso de celdas solares que es una ventaja.
- 7) Se deben de determinar el ángulo de elevación máximo y mínimo de la estación terrena para realizar el enlace con el -

satélite considerando ante todo los niveles de interferencia que se permiten. En esta posición se puede abarcar gran parte del planeta para comunicar.

DESVENTAJAS

- 1) Las latitudes mayores de 81.25° Norte y 77° Sur no son cubiertas.
- 2) La señal es muy débil debido a la distancia por lo tanto existe retardo en la transmisión.
- 3) Cuando el satélite pasa a la zona de sombra donde las celdas solares son inútiles y se requiere el uso de baterías.
- 4) Se tiene el problema que la órbita geostacionaria ya se está saturando y se tiene la necesidad de hacer nuevas técnicas de comunicación como también el acceso a nuevas frecuencias más altas.

AJUSTES DE ORBITA

Para mantener la órbita del satélite, este debe hacer periódicamente correcciones en la posición Este-Oeste o un cambio en la posición.

Esto se debe de considerar ya que el satélite no se encuentra sólo en la órbita geoestacionaria, se tienen varios satélites uno al lado de otro y existe el peligro de choque entre satélites.

Además se puede llegar a perder precisión en la ubicación del satélite y estación terrena. Las correcciones de posición norte-sur son útiles para prevenir cambios de la inclinación de la órbita, este criterio ha de considerarse de acuerdo al plano de acción que se tiene como referencia al Ecuador.

También la capacidad de maniobra que tiene el satélite de acuerdo al diseño de operación y el tipo de arreglo de el sistema de antenas empleadas en la comunicación.

Las correcciones de la posición son hechas por medio de los propulsores.

Las causas de la tendencia en la inclinación orbital del satélite son por la atracción gravitacional de la luna y del sol.

Esas fuerzas inducen una oscilación diaria a lo largo del radio de la órbita con una más significativa - variación del plano de inclinación.

Las variaciones del plano de inclinación dependen de la inclinación de la órbita lunar con respecto al plano ecuatorial de la Tierra.

El satélite puede ser colocado en la órbita con una pequeña inclinación inicial para minimizar los efectos del cambio de inclinación.

Se tiene una más segura tolerancia en un ángulo de inclinación que es menor a 2° , los satélites no son precisamente geoestacionarios ya que aquí influyen las correcciones de posición norte-sur, el cambio del plano de inclinación orbital que es $0.86^\circ/\text{año}$ y que es el resultado de la atracción gravitacional solar y lunar y por esto las orbitas no se mantienen en una perfección circular.

Este efecto como la inclinación orbital y la excentricidad que no es cero causa en una trayectoria completa un retraso que es de 250 m seg donde se tiene una degradación en el enlace.

En el caso del ajuste de la órbita de un satélite se ha de considerar algunas alteraciones que se manifiestan en el medio ambiente.

Se ha de considerar que el planeta tiene atmosfera y tiene cambios que son originados por la energía que proviene desde el Sol.

Sin embargo esta energía es variable, del Sol se tiene un flujo de gas caliente que se conoce como viento solar, este viento solar es una radiación en forma de partículas atómicas con una cierta carga mas propiamente protones y electrones. La velocidad del viento solar cercana a la órbita de la tierra en valor promedio es de 400 km/seg.

En virtud de que existe el campo magnético de la Tierra, esta es capaz de capturar parte del viento solar que esta a su paso, en realidad la Tierra en su cur

so "corta" a través de campos magnéticos partículas cargadas y radiación que abarca todo el espectro electromagnético.

Muchas de las orbitas son demasiadas altas y pueden llegar a tener una alteración; lo que puede haber es que aquí no existe del todo un flujo donde llegue a alterar o desviar la órbita.

Los satélites son afectados por el flujo de energía a grandes alturas y están sujetas a otra fuerza - no gravitacional actuando en una determinada área a esto se le conoce como presión solar.

Esta es una presión minuta ($4.6 \times 10^{-6} \text{ N/m}^2$) - causada por la luz solar sobre la superficie del satélite y siendo la luz solar reflejada, justamente como partículas que están expulsando y ejercen una presión sobre la zona.

Este es un efecto muy pasivo indetectable en forma ordinaria, pero, está actuando en forma continua sobre el satélite que se encuentra orbitando con la luz, puede causar cambios sustanciales en la órbita ya sea un cam-

bio en la expansión o contracción de la trayectoria en la órbita y un cambio en la excentricidad.

Cuando un satélite empieza a realizar su trayectoria circular, esto lo hace casi circularmente. La presión de la radiación solar actúa y hace que la órbita no sea lo mejor posible, se puede notar que de acuerdo a las condiciones, el satélite es sensible a cambios de flujo de radiación y presión solar por lo cual es necesario que se tenga exactitud en el rastreo.

Los satélites que tienen una altura de 36000 km ó 40000 km empiezan a sentir efectos gravitacionales - apreciables desde el Sol y la Luna bajo el nombre de perturbaciones luni-solar.

El periodo orbital de un satélite es el tiempo que éste tarda en efectuar una revolución completa; la manera de poder medirlo se hace respecto a la órbita en sí.

Por medio de la siguiente expresión se puede tener el tiempo deseado.

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{GM}} (R+h)^{3/2}$$

Siendo:

T: Tiempo

G: Constante gravitacional siendo del valor
 $6.66 \times 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{Kgm} \cdot \text{seg}^2} \approx 6.66 \times 10^{-20} \frac{\text{Km}^3}{\text{Kmg} \cdot \text{seg}^2}$

M: masa de la Tierra 5.983×10^{24} kgm.

R: radio de la Tierra 6378 km

h: altura del satélite considerada a partir
de la superficie de la Tierra.

Se hara por consiguiente la gráfica usando -
la expresión anterior para así poder optimizar el tiempo -
y altura para una orbita geostacionaria en un satélite de
comunicaciones.

$$GM = (6.66 \times 10^{-20}) (5.983 \times 10^{24}) \frac{\text{km}^3}{\text{seg}^2}$$

$$GM = 39.84678 \times 10^4 \frac{\text{Km}^3}{\text{seg}^2}$$

$$\sqrt{GM} = 631.243 \frac{\sqrt{\text{km}^3}}{\text{seg}}$$

De la ecuación: $T = \frac{2\pi}{GM} (R+h)^{3/2}$

$$T = \frac{2\pi}{GM} (6378+h)^{3/2}$$

h (km)	T (hr)
0	1.4
8045	4.78
16090	9.31
24135	14.73
32180	20.93
35880.7	24.01
36000	24.12
40225	27.81

VELOCIDAD DE ESCAPE

Un satélite puede colocarse en órbita geoes-tacionaria, teniendo un escape desde la superficie terres-tre ya sea en forma vertical u horizontal.

1) Velocidad de escape vertical

$$v^2 = \frac{2GM}{r} = \frac{2GM}{R+h}$$

$$v^2 = \frac{2(6.66 \times 10^{-20}) (5.983 \times 10^{24}) \left(\frac{\text{Km}^3}{\text{Kgm seg}^2} \right) (\text{kgm})}{(6378+35800) \text{km}}$$

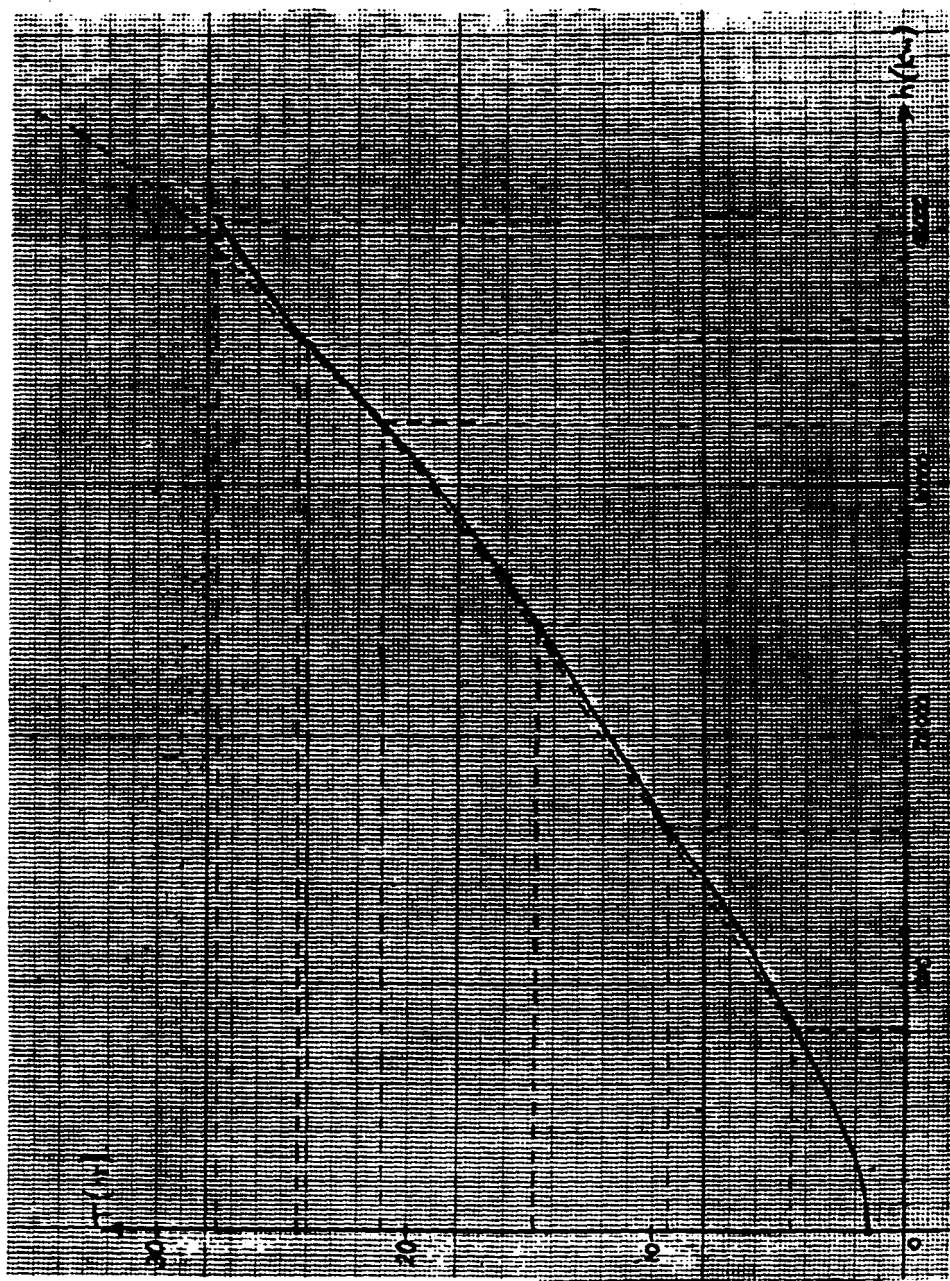
$$v = 4.346 \frac{\text{km}}{\text{seg}} \approx 15\,648.44 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

2) Velocidad de escape horizontal

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$$

$$v = \sqrt{\frac{39.84678 \times 10^4 \text{ km}^3/\text{seg}^2}{(6378+35800) \text{km}}}$$

$$v = 3.0736 \frac{\text{km}}{\text{seg}} \approx 11065.11 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$



ESPACIAMIENTO ORBITAL

En una órbita geoestacionaria se tiene la limitación de que sólo se puede colocar un número finito de satélites, esto se debe a que los satélites no pueden estar muy cercas uno de otro ya que se producen interferencias.

Con el espaciamiento angular que exista entre dos satélites se debe tener niveles permisibles de interferencia.

Para realizar la comunicación vfa satélite - se debe tener en cuenta la posición del satélite en la órbita espacial ya que la comunicación se realizará de acuerdo al contorno geográfico de operación y al ángulo de elevación con que opera la estación terrena.

De acuerdo a lo anterior se debe realizar un plan de optimización para poder utilizar la órbita y operar con ciertas bandas de frecuencias de acuerdo a las necesidades.

Para brindar un buen servicio de comunicación

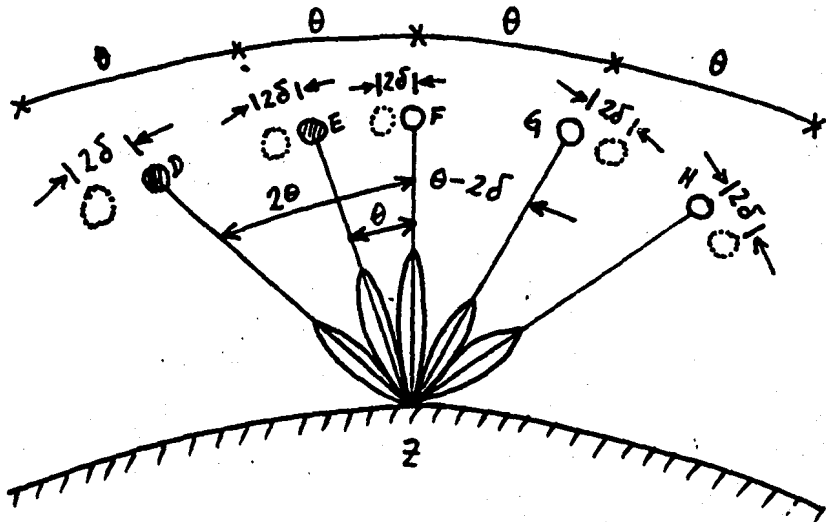
de acuerdo a la posición del satélite en la órbita geoes-tacionaria, se deben de considerar los siguientes facto--res:

- 1) En caso de tener satélites de comunicaciones vecinos se debe tener un nivel tolera-ble de la interferencia que puede llegar a captarse.
- 2) Que cada satélite posee grandes diferen-cias en cuanto a su funcionamiento ya sea en la densidad de potencia o en el ancho de banda porque cada satélite opera de -- acuerdo a la posición que este tenga en - la órbita espacial.
- 3) Que para la conservación de la posición del satélite se debe tomar en cuenta la presión de la radiación solar y el campo gravitacional de la tierra ya que estas son las causas de un desvío en la posición del satélite.
- 4) Que el espaciamiento orbital entre satélites debe ser de un espaciamiento mínimo. El espaciamiento orbital mínimo entre sa-télites que llegan a servir a una misma

región es de valores ya típicos de entre 2° y 5° , aunque llegan a existir espaciamientos de 10° .

La UIT recomienda que para conservar la posición que tiene asignada el satélite en la órbita geostacionaria se tenga como tolerancia máxima de error de $\pm 1^\circ$.

La siguiente figura muestra que los satélites D, E, F, G y H están de acuerdo a una cierta posición, se tiene que la estación terrena (Z) sirve al satélite F.



Cada satélite se mueve con una tolerancia de $\pm \theta^\circ$ con respecto a su posición de órbita ya asignada y la separación angular entre los satélites es de θ° .

En este diagrama se llega a mostrar la posición de cada satélite considerando también la interferencia ocasionada por cada satélite y que se llegan a presentar en los lóbulos laterales de la antena en la estación terrena "Z".

La interferencia total que se llega a presentar en la estación terrena "Z" ocasionada por los satélites D, E, G y H esta definida por la siguiente ecuación:

$$Z = \theta^{-2,5} \left[1.18 + \left(1 - \frac{2^\circ}{\theta}\right)^{-2,5} + 0.18 \left(1 - \frac{\theta}{\theta}\right)^{-2,5} \right]$$

LIMITACIONES EN EL ARCO DE SERVICIO.

Se pueden llegar a tener limitaciones de operación cuando la antena del satélite llega a prestar su -- servicio a diferentes áreas que desean establecer una comunicación.

Las limitaciones que se mencionan son las siguientes:

- 1) El satélite debe ser localizado en su posición orbital.
- 2) Se llegan a presentar limitaciones en cuanto a las características en las antenas del satélite, cuando se pretende dar servicio a una o varias áreas.

La limitación será cuando el satélite usa haces múltiples, ya que cada haz tiene - una forma determinada y una dirección teniendo reuso de frecuencia, donde se considera una adecuada relación portadora/interferencia ya que a veces el propio satélite sirve a una áreas determinadas.

- 3) Los patrones de radiación de la antena --

del satélite han sido optimizados para --
brindar la máxima ganancia hacia cierta -
región o regiones.

De acuerdo al diseño de la antena, se de-
be hacer énfasis en que si el satélite cam
bia de posición su funcionamiento ya no es
el mismo ya que el patrón de radiación no
puede ser optimizado para las nuevas condi-
ciones que se establecen.

- 4) El servicio del satélite deber ser en for-
ma continua cuidando que este satélite no
trabaje en la misma banda de frecuencia en
que operan otros satélites vecinos que com
parten la órbita geoestacionaria.

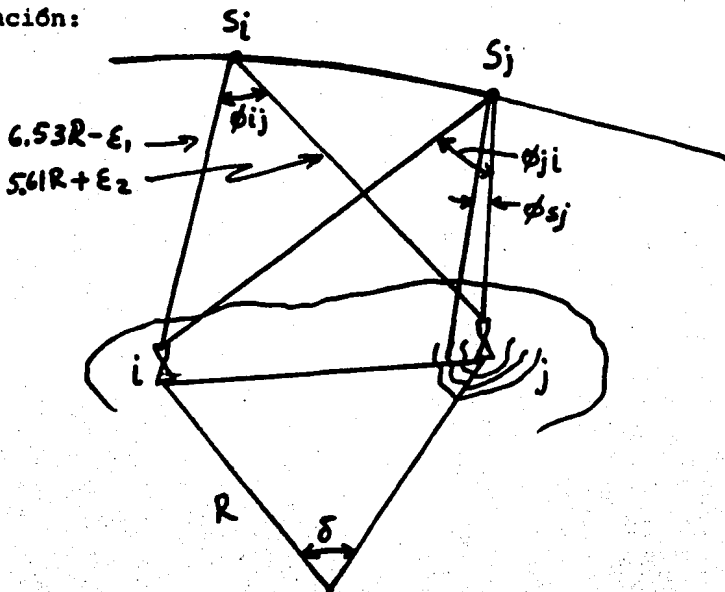
SEPARACION ANGULAR DE LAS ESTACIONES TERRENAS.

De acuerdo a la posición que tiene un satélite geostacionario, se debe de considerar las zonas que cubrirá el satélite para realizar la comunicación por medio de sus antenas.

Las zonas que se cubrirán dependerá del ángulo del haz proveniente de la antena de un satélite.

El ángulo del haz se denomina (ϕ) y depende de la geometría que se establezca para la localización de las estaciones terrenas.

Consideremos a continuación la siguiente ilustración:



Se considera la distancia entre el satélite y la estación terrena, siendo $6,53R-E_1$ y $5,61R+E_2$.

Siendo "R" el radio de la Tierra, "E" es la desviación $E_1=0$, $E_2=0.92$, si la estación terrena es de un ángulo de elevación de 0° en dirección al satélite (i).

$E_1=0.92$, $E_2=0$, si la estación terrena es de un ángulo de elevación de 90° en dirección al satélite (i).

El ángulo del haz requerido para cubrir una área determinada, se tiene por medio de la siguiente expresión:

$$\cos\phi_{ij} = \frac{(6.53-E_1)^2 + (5.61+E_2)^2 - 2(\text{sen } \frac{\delta}{2})^2}{2(6.53-E_1)(5.61+E_2)}$$

donde " δ " es la separación angular de las dos estaciones terrenas "i" y "j".

Se pueden considerar algunos casos de acuerdo a la forma de operación:

CASO 1

Cuando ambas estaciones terrenas están operando en un ángulo de elevación de 90° .

$E_1 = 0.92$, $E_2 = 0$, el ángulo del haz es:

$$\phi_{ij} = 2 \operatorname{sen}^{-1} \left[\frac{1}{5.61} \operatorname{sen} \frac{\delta}{2} \right]$$

CASO 2

Cuando ambas estaciones terrenas están operando a un ángulo de elevación de 0° .

$E_1 = 0$, $E_2 = 0.92$

El ángulo del haz es:

$$\phi_{ij} = 2 \operatorname{sen}^{-1} \left[\frac{1}{6.53} \operatorname{sen} \frac{\delta}{2} \right]$$

CASO 3

Cuando una estación terrena esta operando a un ángulo de elevación de 90° y otra estación terrena que opera a un ángulo de elevación de 0° .

$$E_1 = 0, \quad E_2 = 0$$

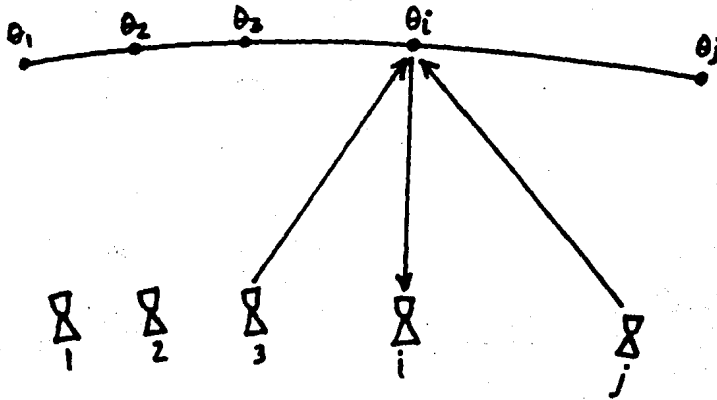
El ángulo del haz es:

$$\phi_{ij} = 2 \operatorname{sen}^{-1} \left[\frac{1}{\sqrt{(6.53)(5.61)}} \operatorname{sen} \frac{\delta}{2} \right]$$

CRITERIO DE INTERFERENCIA.

La manera de poder evaluar el nivel de interferencia, lo podemos hacer de acuerdo a un modelo térmico que se encuentra en un ancho de banda.

Se muestra a continuación un modelo entre sis temas para el análisis de interferencia.



Un sistema lo definiremos como el enlace que hay entre el satélite y la estación terrena.

El sistema (i) significa que hay un enlace entre el satélite (i) y la estación terrena (i).

Teniendo el caso de la estación terrena (j), se considera que hay una interferencia de esta misma al sistema (i), a esta interferencia se le conoce como el incremento de temperatura de ruido en el receptor del sistema (i) ocasionado por el sistema (j).

Se considera en este caso especial al sistema (j) ya que hay presente un enlace entre el satélite (i) y la estación terrena (j).

Debido a la interferencia que se presenta en el enlace por satélite, se denominará como temperatura de ruido equivalente ΔT .

ΔT_i es el incremento de temperatura de ruido equivalente que se presenta en el receptor de la estación terrena (i) debido a la interferencia de otro sistema.

ΔT_i se define de la siguiente manera:

$$\Delta T_i = \gamma_i \frac{(P_{ej})(G)(g_{ri})(|\theta_i - \theta_j|)}{K\ell_u} + \frac{(P_{sj})(G)(g_{sj})(|\theta_i - \theta_j|)}{K\ell_d}$$

γ_i : es la ganancia en la transmisión, teniendo al satélite (i) en el enlace.

Siendo
$$\gamma_i = \frac{Pr_{si}}{Pre_i} \times \frac{G_{si}}{G_{e3}} \times \frac{G_{ei}}{G_{si-e_3}} \times \frac{l_u}{l_d}$$

donde:

Pr_{si} : Potencia de recepción en el satélite (i)

Pre_i : Potencia de recepción en la estación terrena (i)

G_{si} : Ganancia de la antena de transmisión en el satélite (i)

G_{e3} : Ganancia de la antena de transmisión en la estación terrena (3)

G_{ei} : Ganancia de la antena de recepción en la estación terrena (i)

G_{si-e_3} : Ganancia de la antena de transmisión que involucra el enlace desde el satélite (i) a la estación terrena (3)

l_u : Pérdida de transmisión en el espacio libre en el enlace ascendente.

l_d : Pérdida de transmisión en el espacio libre en el enlace descendente.

Pej: Densidad de potencia máxima por Hertz en la antena -
de la estación terrena transmisora (j)

Psj: Densidad de potencia máxima por Hertz en la antena -
del satélite (j)

G: Ganancia de la antena transmisora en la estación te-
rrena (j) cuyo enlace se realiza en dirección al sa-
télite (i) en proporción a la ganancia de la antena
receptora de la estación terrena (i) cuyo enlace se
realiza en dirección al satélite (j)

$$G = \frac{G_{ej-s_i}}{G_{ei-s_j}}$$

gsj: ganancia de la antena transmisora del satélite (j)
siendo la dirección del enlace hacia la estación te-
rrena receptora (i).

gri: ganancia de la antena receptora del satélite (i) sien-
do la dirección del enlace desde la estación terrena
transmisora (j)

K: constante de Boltzman (Joule/°k)

$\theta_i - \theta_j$: separación angular entre dos satélites (i) y (j) -
(grados)

Las normas establecidas por el CCIR para proteger a los sistemas de las interferencias han sido hechas en base a un patrón de antena como referencia siendo utilizadas las antenas de satélite para cobertura global.

El patrón de antena como referencia es:

$$G = 32 - 25 \log_{10} \theta \quad (\theta > 1^\circ)$$

Este patrón de radiación nos ayuda a determinar el nivel de ganancia que puede ser aceptado teniendo la interferencia que se presenta en los lóbulos laterales, siendo usado este patrón bajo diferentes condiciones:

$$1^\circ < \theta < 48^\circ, G = 32 - 25 \log_{10} \theta$$

$$48^\circ < \theta < 100^\circ, G = 10 \text{dB}_i$$

$$100^\circ < \theta < 180^\circ, G = -15 \text{dB}_i$$

Siendo " θ " el ángulo medido a partir de la dirección de máxima radiación.

Considerando el enlace en un sistema cualquiera que en este caso lo consideramos como (i), la potencia de ruido en (pWop) en dicho sistema se define como:

$$N_{int} = 8000 \left(\frac{10^{3 \cdot 2}}{k} \right) \left[\frac{S_{ui} I_{uj}}{l_u} + \frac{S_{di} I_{dj}}{l_d} \right] |\theta_i - \theta_j|^{-2.5}$$

Donde:

- $S_{ui} = \frac{g_{ri} i}{T_i}$ Sensitividad en el enlace ascendente bajo la presencia de interferencias.
- $S_{di} = \frac{1}{T_i}$ Sensitividad en el enlace descendente bajo la presencia de interferencias.
- T_i Temperatura de ruido equivalente para realizar un enlace con el satélite (i)
- $I_{uj} = P_{ej}$ Potencia de interferencia en el enlace ascendente ocasionada por la estación terrena (j)
- $I_{dj} = P_{sj} g_{sj}$ Potencia de interferencia en el enlace descendente ocasionada por el satélite (j).

En la expresión N_{int} se presentan dos términos siendo:

$$P_{ji} = (8000) \cdot \left(\frac{10^{3.2}}{k} \right) \left[\frac{S_{ui} I_{uj}}{l_u} + \frac{S_{di} I_{dj}}{l_d} \right]$$

(P_{ji}) , representa la interferencia que proviene desde el sistema (j) al sistema de satélite (i) considerando un espaciamiento angular de 1° .

De acuerdo a los criterios establecidos para el estudio de la interferencia, se denomina como " N_{si} " como la máxima interferencia permitida desde un satélite cualquiera al sistema (i) definiéndose como:

$$P_{ji} |\theta_i - \theta_j|^{-2.5} \leq N_{si} (\theta_i, \theta_j)$$

Para este criterio se pueden considerar a dos satélites en forma arbitraria.

El criterio recomendado para N_{si} , según CCIR es de 400 pWop: $N_{si} (\theta_i, \theta_j) = 400 \text{ pWop}$.

La recomendación que ha adoptado INTELSAT es:

$$360p_{Wop}; \theta^\circ < |\theta_i - \theta_j| \leq 5^\circ$$

$$360 \left| \frac{\theta_i - \theta_j}{5} \right|^{-2} p_{Wop}; 5^\circ < |\theta_i - \theta_j| < 10^\circ$$

$$90 \left| \frac{\theta_i - \theta_j}{10} \right|^{-0.5} p_{Wop}; 10^\circ < |\theta_i - \theta_j| < 48^\circ$$

$$40p_{Wop}; 48^\circ < |\theta_i - \theta_j|$$

2.2) ANGULO DE ELEVACION DEL SATELITE

ANGULO DE OPERACION

En una estación terrena se debe de considerar bajo que posición de operación operará.

• Son fundamentales los angulos de operación - elevación y azimuth.

Debemos de considerar que la operación será cuyo satélite es de tipo geostacionario y su órbita se encuentra sobre el plano del Ecuador.

Para la operación que se debe de tener con - satélites geostacionarios con respecto a un punto determinado de la Tierra; el parámetro geométrico más importante es el ángulo de elevación.

Cabe señalar que se debe de definir perfectamente al satélite o satélites con los que operarán en el arco orbital de operación.

Lo importante en este caso es localizar la - línea de vista entre la antena y el punto del arco orbital

correspondiente a un ángulo de elevación de la misma antena en la estación terrena, INTELSAT tiene fija su característica de operación del ángulo de elevación de una estación terrena.

Se ha considerado con un ángulo mínimo de elevación de 5°.

Si el ángulo de elevación es demasiado pequeño, el haz de la antena tiene que pasar mucho más a la atmósfera terrestre y es severamente afectada por el ruido y los diferentes tipos de absorción como: absorción atmosférica por lluvia y neblina.

El ángulo máximo de elevación de la antena se queda establecido cuando apunta hacia el zenith, aquí ofrece la menor resistencia al viento y corresponde a 90°.

El ángulo de azimuth es un parámetro geométrico de apoyo en la operación con satélites geoestacionarios especialmente para compensar el movimiento de deriva propio de los satélites o en su defecto el movimiento longitudinal de los mismos cuando se encuentran ubicados muy al norte o al sur del globo terrestre.

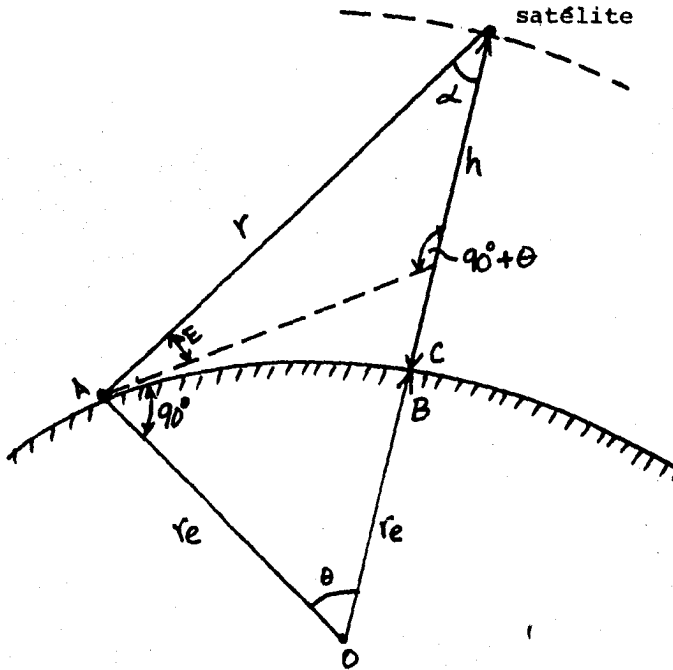
Para poder tener un mejor manejo de datos y determinar más fácilmente otros parámetros se ha hecho un monograma donde se tienen como datos, el ángulo de elevación de la estación terrena, la latitud de la estación terrena y la longitud relativa del lugar en tierra.

La latitud del lugar en tierra puede ser norte o sur y la longitud puede ser este o oeste del punto - subsatélite.

De acuerdo al monograma se tiene un ángulo - de azimuth.

$A = 0^\circ$ a lo largo del eje vertical y $A = 90^\circ$ a lo largo del eje horizontal.

De la órbita geostacionaria se tiene la siguiente ilustración.



r_e : radio de la Tierra (6378 km)

h : Altura del satélite (35 784 km)

$r_e + h = 42162$ km.

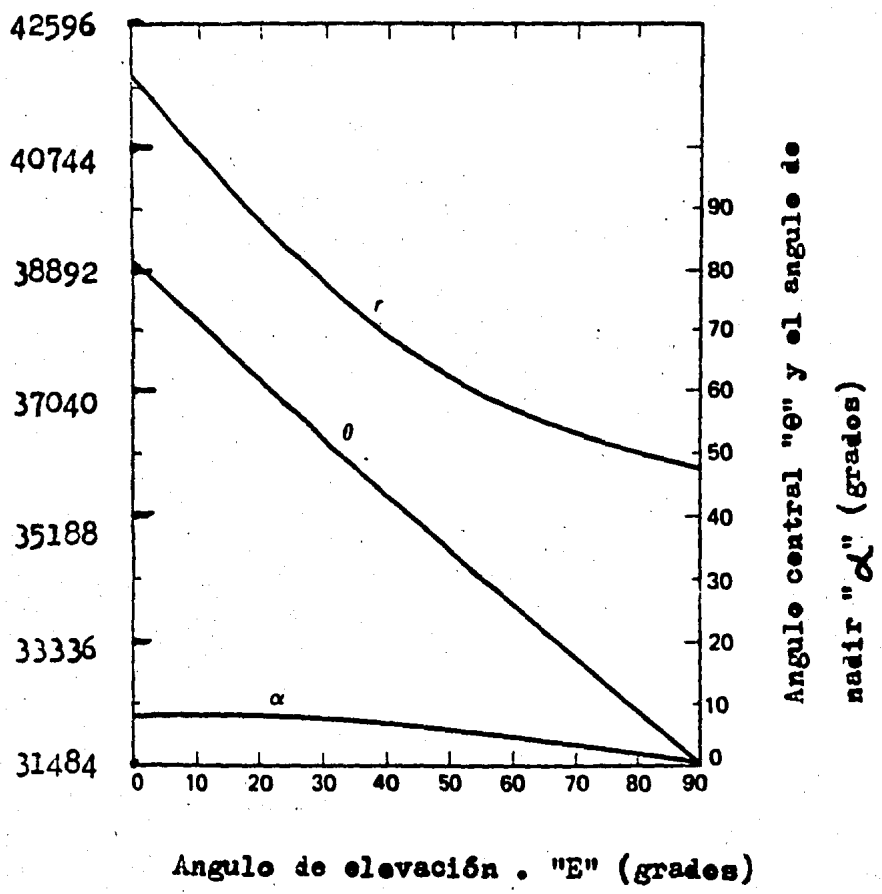
E : ángulo de elevación

r : distancia de vista

θ : ángulo central

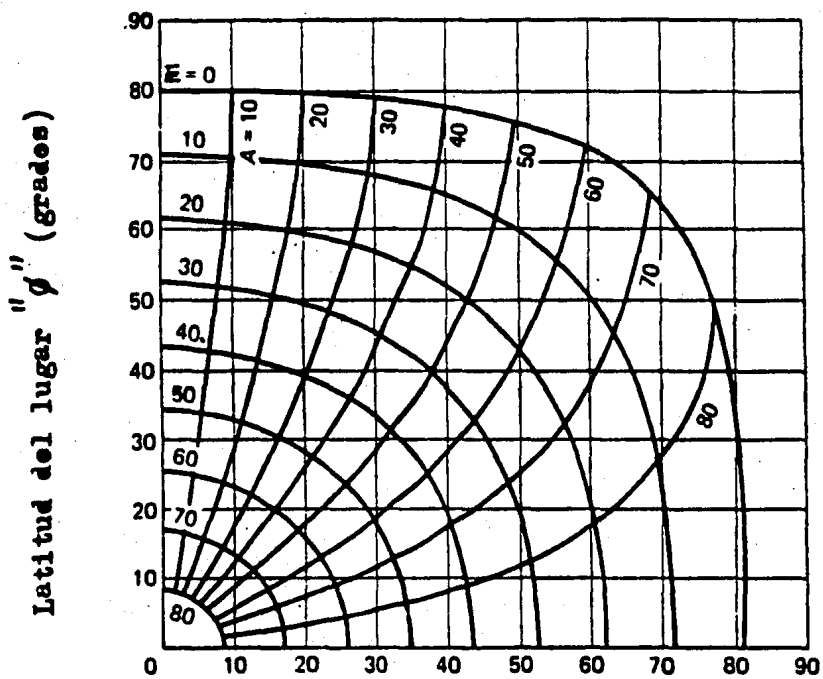
α : ángulo de nadir

$$r^2 = (r_e + h)^2 + (r_e)^2 - 2(r_e)(r_e + h) \cos \theta$$



"A" ángulo de azimuth

"E" ángulo de elevación



Longitud relativa del lugar " θ " (grados)

NOMOGRAMA

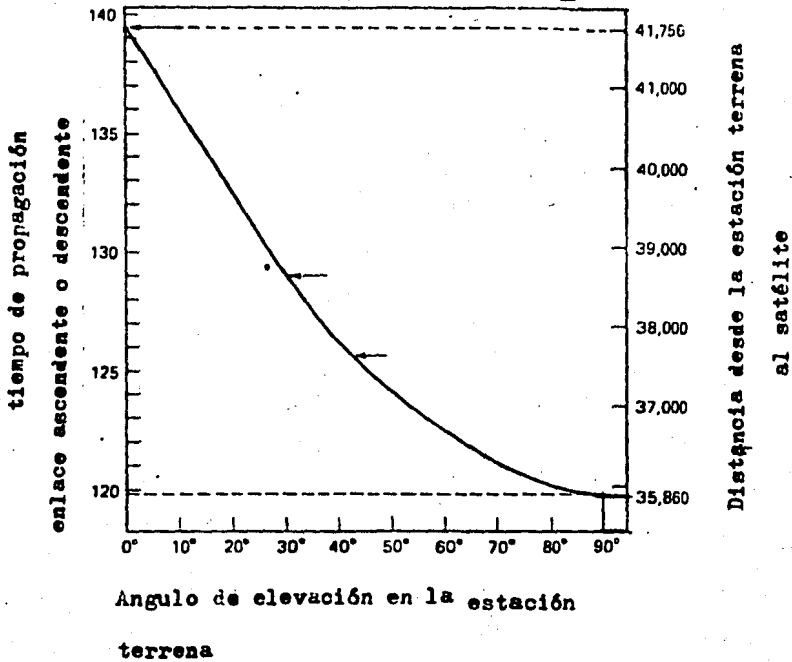
Ángulos de azimuth y elevación para
satélites geostacionarios .

2.3) RETRASO DE PROPAGACION EN EL SERVICIO FIJO POR SATELITE

Se define como retraso de propagación al -- tiempo que tarda en llegar la información desde el origen hasta su destino.

Considerando a la velocidad de la luz y la distancia que hay entre dos estaciones terrenas que se comunican por satélite, la distancia recorrida por la señal que es de 72000 km y el retraso de propagación es aproximadamente de $\frac{1}{4}$ segundo .

Por medio de la siguiente gráfica se muestra como la distancia y el retraso de propagación varía con el ángulo de elevación.



Tiempo de la señal de propagación usando como parámetro la distancia de la estación terrena al satélite

EFECTOS QUE SE MANIFIESTAN EN LA PROPAGACION

En el caso de una comunicación vía satélite una de las características que se toman en cuenta es el -- tiempo de propagación cuando se realiza la comunicación en tre dos estaciones terrenas.

Se debe de considerar que en una red de comu nicación por vía satélite ha puesto de manifiesto dos pro blemas que son:

- a) un largo retardo de tiempo
- b) el eco

Señalaremos que en la transmisión de vía sa- télite existe un largo retardo de tiempo. La razón de este retraso es que el satélite se encuentra situado en órbita geoestacionario considerando que la comunicación se realiza en un solo salto es decir es desde una estación terrena a otra.

El retraso que se tiene es dependiendo del - lugar se tienen valores promedios que van desde 240 msec a 280 msec.

La tolerancia al eco que tiene el abonado al hablar depende del periodo de retardo y de la intensidad del eco.

Existen dos formas de reducir el eco hasta un límite tolerable.

Una forma es atenuarlo hasta que pase casi - desapercibido en comparación con la voz del abonado.

A medida que aumenta el retardo también debe aumentarse la atenuación del eco.

El segundo método es emplear un dispositivo de conmutación activado por la voz en el circuito de retorno para impedir que el eco llegué hasta el abonado al hablar.

El retardo de propagación prolongado de los circuitos telefónicos pueden crear tres distintas situaciones perturbadoras pero tolerables:

- 1) Conversación simultánea de los dos abonados.
- 2) Constante llamada de un abonado a otro,

3) Dificultad de un abonado para ir contestando al otro.

1) Conservación simultánea de los dos abonados.

Si ambos abonados comienzan a hablar con solo un cuarto de segundo de diferencia los dos continuarán hablando hasta que uno finalmente oye al otro y queda en silencio.

Cuando sucede esto, ninguno de los abonados se escucha.

2) Constante llamada de un abonado al otro.

Cuando un abonado ha estado hablando por algún tiempo y termina lo que estaba diciendo, generalmente hace una pausa para escuchar la respuesta.

La contestación se demora si el otro abonado vacila antes de hablar.

Si a esta se demora se le agrega el retardo de la transmisión por satélite, el -- primer abonado se impacienta y comienza a llamar al otro abonado pensando que a

lo mejor ya no esta en la línea o que la conexión se ha cortado.

- 3) Dificultad de un abonado para ir contestando al otro.

Puede suceder que uno de los abonados es pere hasta que el otro haga una pausa -- para contestar.

En la comunicación por satélite el primer abonado tardaría un cuarto de segundo para notar la pausa.

Cuando la contestación llegará al segundo abonado, por lo menos otro cuarto de segundo más tarde, este puede haber reanudado su conversación.

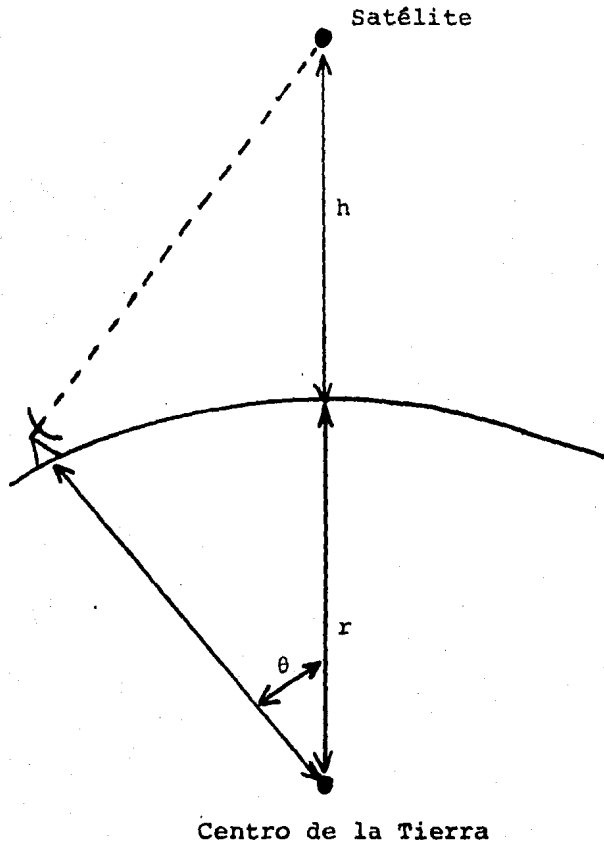
El problema se complica si además se produce una conversación simultánea.

2.4) TIEMPO DE PROPAGACION EN EL SERVICIO FIJO POR -
SATELITE.

Al realizarse la comunicación usando un satélite geoestacionario, la señal de comunicación esta sujeta a un tiempo de propagación. El tiempo de propagación total depende principalmente de la altura del satélite y del enlace o salto teniendo como trayectoria tierra-espacio-tierra.

Para realizar la comunicación de un solo salto, se debe de considerar que se tiene un tiempo de propagación mínimo (t_{\min}) y un tiempo de propagación máximo (t_{\max}). El tiempo de propagación mínimo se ha de considerar cuando dos estaciones terrenas se encuentran próximas entre si y el satélite se encuentra exactamente encima de ellas. El tiempo de propagación máximo entre dos estaciones terrenas corresponde cuando ambas estaciones ven al satélite desde el horizonte.

Si se tienen las condiciones de operación de --
acuerdo al siguiente diagrama:



siendo:

- "h" la altitud del satélite
- "r" el radio de la Tierra
- "c" la velocidad de la luz
- " θ " es el ángulo con vértice en el centro de la Tierra entre las direcciones del satélite y de la estación terrena.

El tiempo de propagación correspondiente a la trayectoria tierra-espacio es:

$$t = \frac{1}{c} \sqrt{R^2 + r^2 - 2Rr \cos \theta}$$

donde $R = r + h$

El tiempo de propagación mínimo y máximo para un salto entre estaciones terrenas se definen como:

$$t_{\min} = \frac{2h}{c}$$

$$t_{\max} = \frac{2h}{c} \sqrt{1 + \frac{2r}{h}}$$

Las expresiones anteriores permiten calcular los valores mínimo y máximo del tiempo de propagación en una comunicación de un sólo salto, considerando las posiciones de las estaciones terrenas.

Se puede también considerar el tiempo de propagación que se presenta en el equipo terminal y longitud del cable en una estación terrena, el tiempo de propagación suplementario se puede calcular a partir de la recomendación

G.144 del CCITT que es:

$$t_s = 12 + (0.004 \times \text{distancia en kilómetros}) \text{ (milisegundos)}$$

$$t_s = 12 + (0.0064 \times \text{distancia en millas}) \text{ (milisegundos)}$$

De acuerdo con la fórmula anterior el valor -- constante 12 milisegundos se considera por los equipos terminales y la presencia de cierta longitud de cable y los coeficientes 0.004 y 0.0064 se basan en el empleo de línea de gran velocidad en la mayoría de los circuitos que se manejan en los equipos terminales.

A continuación el siguiente cuadro donde se -- ilustra la variación del tiempo total de propagación en un sólo salto para satélites no geoestacionarios y geoestacionarios.

	Variación del tiempo total de propagación en un solo sentido								
	Satélite no geoestacionario (altitud: 11 000 km)			Satélite no geoestacionario (altitud: 14 000 km)			Satélite geoestacionario (altitud: 36 000 km)		
	Min.	Máx.	Medio	Min.	Máx.	Medio	Min.	Máx.	Medio
Entre las estaciones terrenas	74	109	92	92	128	110	240	280	260
Circuitos terrenales de propagación	10	50	30	10	50	30	10	50	30
Total	84	159	122	102	178	140	250	330	190

En una comunicación telefónica internacional es necesario limitar el tiempo de propagación entre dos abonados. A medida que crece el tiempo de propagación mayores son las dificultades de comunicación de los abonados.

El CCITT recomienda los límites siguientes para el tiempo medio de propagación en un sentido cuando existan fuentes de eco y se utilicen supresores de eco adecuados:

- a) De 0 a 150 milisegundos, es admisible
Se pueden emplear supresores de eco y estos pueden modificarse si el tiempo de propagación excede de 50 milisegundos.
- b) De 150 a 400 milisegundos, es admisible con siderando precauciones en la comunicación - cuando el tiempo de propagación en un sólo sentido excede de 300 milisegundos teniendo también como condición que se utilicen supre sores de eco que estén diseñados para tiempos de propagación elevados.
- c) Para mayor de 400 milisegundos, este es inad misible.
Solo se realizará la comunicación bajo circunstancias especiales. Lo recomendable es no establecerse la comunicación con este tiempo de propagación.

2.5) TRANSMISION DE DATOS

En el caso de la comunicación de estaciones terrenas usando el satélite, se debe de considerar la sin cronización.

Cabe señalar que la sincronización en la modalidad de Acceso Múltiple por Distribución en el Tiempo (TDMA) en una estación terrena depende de la forma de con trol en la comunicación.

Una estación terrena puede ser esclava es de cir depender de un control ya sea en el satélite o en la terminal terrestre.

El control que se puede considerar es el re-
loj.

Este reloj sera nuestra referencia en cuanto al procesamiento en datos.

Puede considerarse que la dependencia es de un reloj a bordo de un satélite o de un reloj en la termi nal terrestre que se conoce comunmente como "maestro".

Se considera que existe la relación maestro-esclavo lo que nos indica es que el maestro es quién ordena y el esclavo ejecuta o dependiendo de las condiciones éste actúa.

El maestro de la estación terrena genera una señal y de reloj y de igual forma lo hace el satélite.

La figura 1 ilustra la sincronización en el satélite y en la estación terrena.

Donde la estación terrena esta considerada - a estar esclavizada o sometida al reloj del satélite.

El reloj del satélite es $\zeta(\tau)$ siendo una secuencia de pulso del reloj del satélite.

El reloj de la estación terrena (i) es $\zeta_i(\tau)$ siendo una secuencia de pulso en el reloj.

" τ " es el tiempo del sistema o universal.

El primer pulso del reloj del satélite como lo muestra la figura 1 ocurre en el tiempo $\tau = \tau_0$.

La terminal terrestre se encuentra esclavizada a este reloj y de igual forma las transmisiones.

Las transmisiones llegan al satélite en sincronismo con los pulsos del reloj de acuerdo a la trama - del satélite espaciados por $\zeta_f(\tau)$ (segundos).

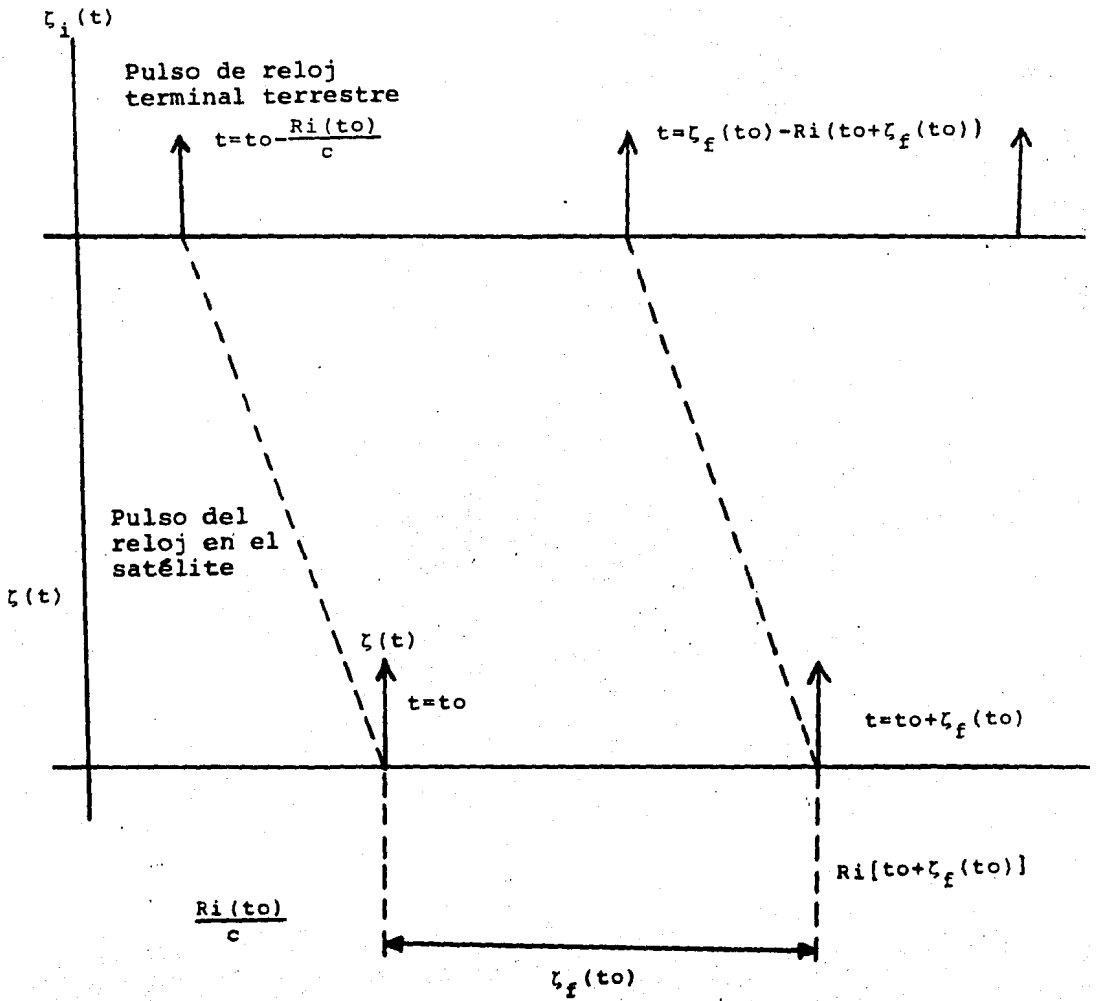
De acuerdo con esto, los pulsos del reloj en la terminal terrestre debe ser realmente transmitidos por $\frac{R_i(t)}{c}$ donde $R_i(t)$ es la distancia de propagación entre - la terminal terrestre y el satélite y "c" es la velocidad de la luz.

El primer pulso es emitido desde la terminal terrestre a un tiempo del sistema en dicha terminal $t=t_0 - \frac{R_i(t_0)}{c}$, puesto que el pulso llega con un tiempo - al satélite en $t=t_0$ (Ver figura 1)

El reloj de la terminal terrestre se encuentra sujeto al satélite y puesto que la distancia $R_i(t)$ - esta en general variando con el tiempo. $\zeta_i(t)$ no puede ser una razón de pulso de una frecuencia constante fija. Así el segundo pulso es emitido en un tiempo

$$t=t_0+\zeta_f(t_0)-\frac{R_i[t_0+\zeta_f(t_0)]}{c}$$

Por lo tanto la duración de la trama en cada terminal terrestre varía con el tiempo.



Sincronización en el satélite y estación terrena sujetas al satélite. La distancia desde la terminal terrestre al satélite medida en el tiempo de llegada en el satélite es $R_i(t)$.

El tiempo de trama en el satélite es $\zeta_f(t)$

Definimos $\Delta R_i(t_0) = R_i(t_0) - R_i(t_0 + \zeta_f(t_0))$

La $\zeta_f(t)$ es el tiempo de trama en el reloj del satélite medido en el tiempo relativo universal al principio de la trama en t , $\zeta_f(t) \cong \zeta_f$

Es importante notar, que el retraso en la propagación no tiene efecto o daño en la transmisión de datos, si el sistema se diseña bajo cierto criterio.

Dentro de un enlace de transmisión de datos se debe de considerar un control.

En el enlace de transmisión de datos, el sistema transmisor envía una trama de datos y debe esperar para tener el conocimiento del sistema receptor antes que se envíe la trama siguiente que se ha de transmitir.

En un enlace de satélite tendremos que esperar 540 milisegundos.

Si la velocidad de transmisión es razonablemente alta y el tamaño de la trama no es muy grande, un sistema transmisor podría gastar más tiempo que el esperado por lo tanto la eficiencia de utilización del enlace sería muy baja.

Cuando ocurre degradación, sucede que el canal del satélite depende de los parámetros usados, como la razón de transmisión, tamaño de la trama principal y el tiempo empleado para realizar el procesamiento de las tramas conocidas.

Consideramos que una máquina transmisora puede enviar "M" tramas antes de recibir una respuesta. Si "F" es el tamaño de la trama (bits) y "S" es la velocidad de transmisión (bits/segundo).

Cuando una trama es enviada lo deseable es que la respuesta sea recibida contenida en el tiempo.

El tiempo de retraso que se admite es $\frac{(M-1)F}{S}$

Si la respuesta de retraso excede $\frac{(M-1)F}{s}$ el enlace será ineficiente.

El retraso de propagación en el satélite es de 540 milisegundos.

El retraso total de la respuesta será más -- largo que el de 540 milisegundos debido a los requisitos de recepción de datos, la respuesta del sistema y también por el retraso que ocurre en los circuitos terrestres de la estación terrena al satélite.

Un valor típico del retraso es de 700 milisegundos.

Lo deseable es que $\frac{(M-1)F}{s} > 0.7$

Siendo " t_D " el retraso total de la respuesta, para una transmisión eficiente es: $\frac{(M-1)F}{s} > t_D$

Si esta condición no se satisface, el sistema transmisor enviará "M" tramas y luego suspende la transmisión.

El tiempo para transmitir una trama es $(\frac{F}{S})$ - (segundos).

Cuando el sistema transmisor envía una trama se recibe una respuesta " t_D " segundos más tarde.

En el tiempo $\frac{F}{S} + t_D$, se envían " M " tramas.

Si consideramos " N_D " el número de datos bits en una trama y " N_H " es el número más elevado de bits en una trama, entonces definimos a " F " como $F = N_D + N_H$

Por lo tanto la eficiencia de transmisión es el número de datos bits dividido por el número máximo de bits donde el circuito podría enviar en el tiempo " t ".

La expresión de la eficiencia de transmisión en general (ignorando errores) es:

1) Si el sistema transmisor no tiene pausas

$$\epsilon = \frac{N_D}{N_D + N_H} ; \text{ si } \frac{(M-1)(N_D + N_H)}{S} > t_D$$

2) Si el sistema transmisor tiene pausas

$$\epsilon = \frac{N_D M}{N_D + N_H + S t_D} ; \text{ si } \frac{(M-1)(N_D + N_H)}{S} < t_D$$

ECLIPSE

Cuando se tiene la trayectoria del planeta - este se encuentra iluminado por el Sol.

Pero se debe considerar que existen zonas de sombra. En nuestro caso, cuando la sombra de la Tierra cubre al satélite de acuerdo a la posición que tenga, las celdas solares no operan.

De acuerdo a las experiencias que se tiene - en órbita geostacionaria, los satélites que se encuentran en esta órbita tienen 90 eclipses durante un año.

Se tienen dos periodos de eclipse en un año teniendo 46 eclipses por periodo.

Los periodos que se consideran son los equinoccios de primavera y otoño.

El eclipse varía de acuerdo a la duración. La duración mínima para un eclipse es de 10 minutos por día, la duración máxima es de 72 minutos en el equinoccio.

Los máximos eclipses ocurren en los días de equinoccios.

Un diagrama de geometría simplificada de un sa télite geoestacionario en un equinoccio se muestra en la fi gura 1.

En la figura 2 se muestra la duración del -- eclipse por día contra el día del año.

Otro de los fenómenos que ocurre es cuando el satélite pasa directamente frente al Sol.

El Sol teniendo una alta temperatura es en - cierta forma una fuente poderosa de ruido y se puede tener una alteración de la transmisión del satélite.

De acuerdo a los casos que se han presentado llega a ocurrir durante 5 días consecutivos, en un tiempo de 10 minutos.

La manera de mantener la comunicación en for ma continua es teniendo dos satélites y lo que se hace en este caso es que se considera uno de los satélites para -- realizar las comunicaciones antes de que se principie la - interferencia con el Sol.

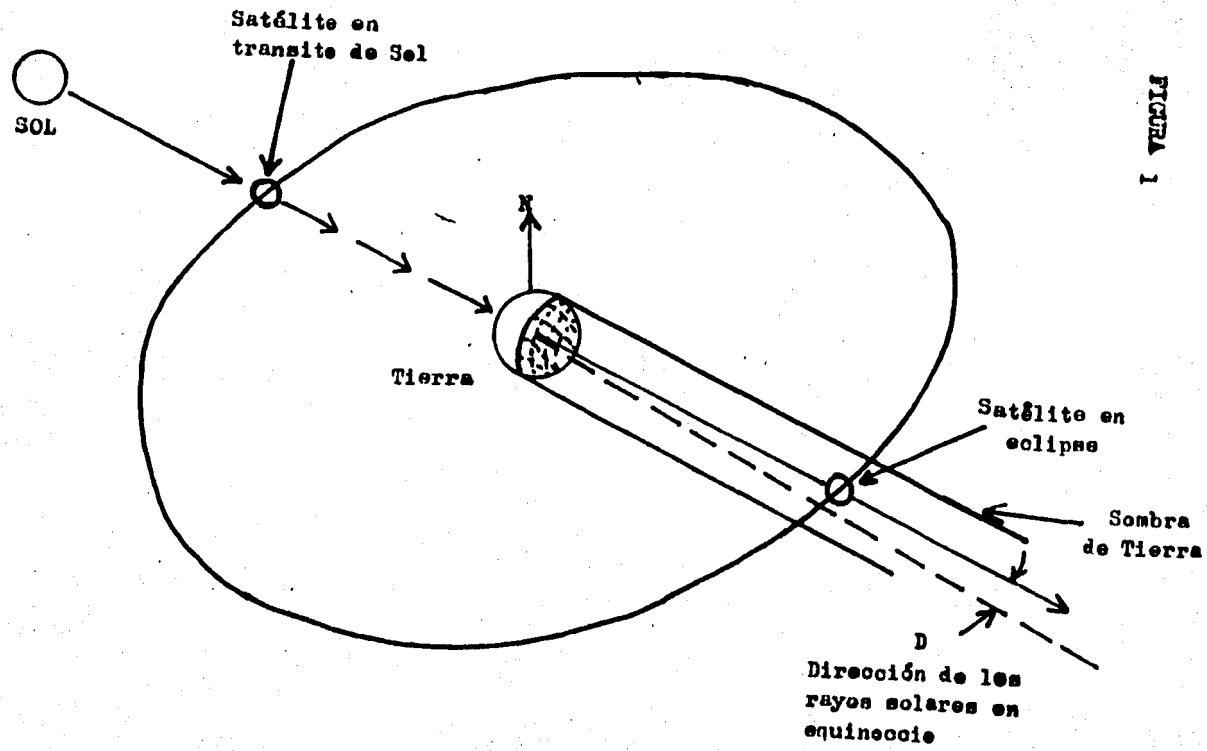
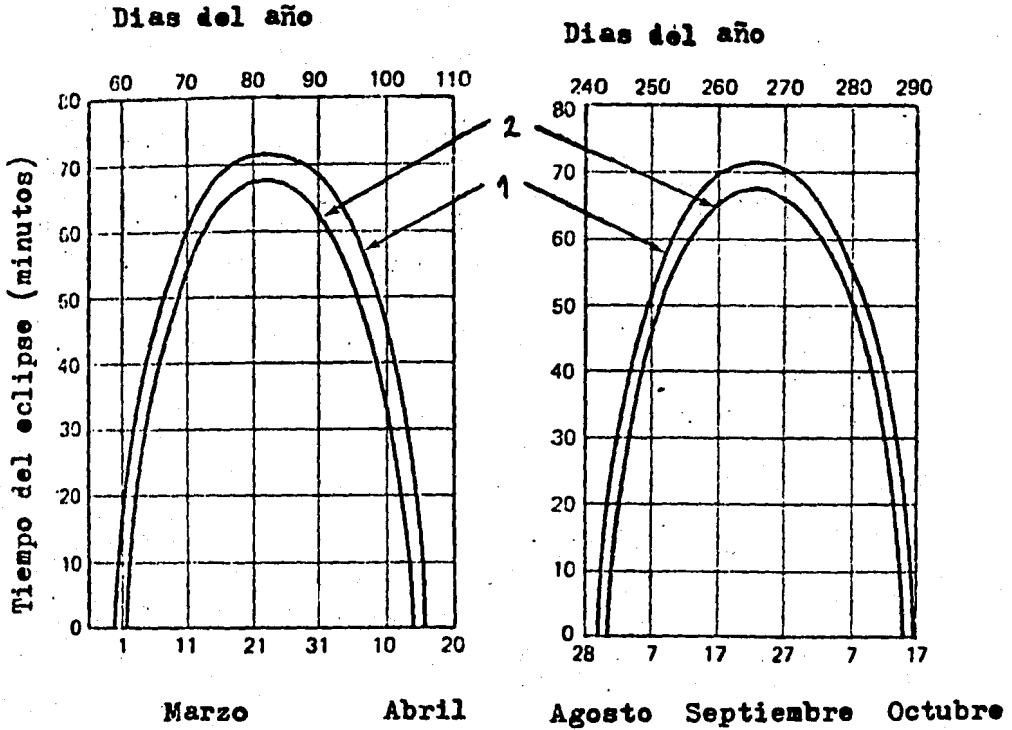


FIGURA 1



(1) Sombra Media . (2) Sombra Total .

Duración de eclipses en el satélite

Figura 2

Los satélites de comunicación cuentan con un sistema que brinda energía eléctrica para una operación normal, las baterías son las que soportan la demanda de energía eléctrica durante el eclipse.

Puede presentarse el caso en que se tenga -- que reducir la operación de la carga útil durante el eclipse y ocurre cuando el satélite se encuentra en completa oscuridad.

Para este caso como es el eclipse se debe considerar un número de ciclos de carga/descarga para el sistema de almacenamiento de energía.

El uso de batería se puede llegar a usar desde un 50% al 70% de su capacidad durante cada ciclo de descarga.

Durante la descarga se debe considerar con cuidado una limitación de la corriente de descarga para -- así evitar pérdidas en capacidad y así limitar a un mínimo el voltaje de la batería para después poder recargarla.

Se dispone un tiempo de 23 horas para poder recargar una batería después de que haya sucedido un eclipse.

El satélite completamente operará con su carga útil bajo las condiciones de los solsticios de verano e invierno (ya que puede ser afectado en forma diferente a la simetría que se guarda con el plano ecuatorial de la Tierra).

El fin de vida (donde es afectado por la degradación del equipo, disipación de energía debido a la degradación del arreglo solar).

3) COLOCACION DE UN SATELITE EN ORBITA GEOESTACIONARIO

Los satélites INTELSAT de comunicaciones han sido lanzados desde la base de lanzamiento Cabo Kennedy si tuada en los Estados Unidos de América.

Se menciona a continuación la secuencia que se siguió para colocar el satélite INTELSAT V en órbita -- geoestacionaria con un respectivo diagrama.

1) Tiempo T_0

Para el lanzamiento el cohete que se uti liza para colocar al satélite de comu- nicaciones en órbita geoestacionaria con- siste en dos etapas.

La primera etapa es el cohete Atlas y la segunda etapa es el cohete Centauro; el cohete en todo su conjunto es conocido como Atlas-Centauro.

El cohete Atlas-Centauro transporta un - satélite geoestacionario cuyo peso es de 1869 kg.

El lanzamiento se inicia ya cercana la hora de la medianoche de acuerdo al tiem

po del meridiano de Greenwich; la primera etapa del cohete Atlas-Centauro, que es el Atlas, se activa emprendiendo un vuelo vertical desde Cabo Kennedy en dirección al Este sobre el Océano Atlántico.

2) To + 3,58 minutos

Existe el desprendimiento de las cubiertas del cohete que protegen al satélite INTELSAT V exponiendolo por primera vez al espacio libre.

3) To + 27 minutos

La segunda etapa del cohete es la Centauro y ésta traslada al satélite para realizar su órbita de transferencia que es, elíptica teniendo un perigeo de 6546 km, un apogeo de 42162 km y una inclinación de 26.6° en la órbita.

4) To + 27 minutos + 10 segundos

La etapa Centauro tiene la capacidad de colocar al satélite en la órbita de transferencia, esta etapa realiza un giro de

90° para dar una debida orientación y -- dar maniobra al satélite para realizar - sus operaciones.

5) To + 29 minutos

Por medio de un mecanismo la etapa Centauro separa al satélite impartiendo a éste una velocidad de $0.5 \frac{m}{seg}$. A partir de - este momento el satélite empieza a realizar su trayectoria de transferencia; de acuerdo a la posición que posee el satélite se tiene como referencia a los ejes de inclinación y de giro.

El error que presenta la posición del satélite es:

- a) en el eje de inclinación de 1.23° y
- b) en el eje de giro de 1.23°

6) To + 31 minutos + 2 segundos

Dos segundos después de haberse realizado la separación se encienden por 13 minutos los propulsores que hay en el satélite para evitar un desvio en la órbita de transferencia; los propulsores ocasion

nan a que el satélite realice 43.5 revoluciones/minuto, para que así se pueda mantener la estabilización y la referencia a la superficie terrestre.

7) To + 51 minutos

Se establece el enlace entre la estación de telemetría y comando que se encuentra en Tierra con el satélite ya que el objetivo es de coordinar las operaciones de rastreo en la órbita de transferencia, - la comunicación se realiza conforme el satélite avanza sobre su trayectoria.

8) To + 1 hora + 21 minutos

Se determina la posición del satélite de acuerdo a la órbita haciendo los ajustes necesarios ya que como se está realizando la orientación del satélite se experimentan giros a razón de 45+1 revoluciones/minuto, el control que se realiza en la nave es por medio de señales de comando que transmite la estación terrestre - al satélite y que son recibidas por éste mediante el uso de su antena omnidirec-

cional.

9) To + 3 horas + 48 minutos

Se realiza una maniobra de orientación - con el objetivo de hacer funcionar el mo tor de apogeo y para esto es necesario - colocar al satélite en otra posición que sea más cómoda para realizar la trayecto ria.

El satélite realiza un giro de 40° con - respecto a la trayectoria de la órbita.

10) To + 5.4 horas

Se prepara al satélite para encender el motor de apogeo el satélite podrá reali- zar la órbita de transferencia y podrá - trasladarse a la posición óptima geoesta cionaria.

Se pretende que antes de realizar el en- cendido del motor de apogeo sea necesaa- rio ajustar la posición del satélite du- rante 2.4 horas antes del encendido te- niendo antes que asegurar la trayectoria que se ha de seguir cuando se encienda el motor de apogeo con un error mínimo -

de 0.79° .

11) To + 7.8 horas

Se enciende el motor de apogeo impartiendo una velocidad inicial de 1756 m/seg. para trasladar al satélite lo mejor posible a la órbita geoestacionaria.

12) To + 7.38 horas

Como se está cambiando de órbita es necesario tener una reorientación en cuanto a la posición con la ayuda de la estación de telemetría y comando.

Se hace uso de los propulsores que posee el satélite para mantener la orientación realizando el encendido de los mismos a manera de pequeños impulsos.

13) El tiempo de operación varía de To+8 horas

a To+20 horas. Las estaciones que se encuentran en Tierra rastrean la trayectoria del satélite teniendo que considerar la inclinación, posición y los posibles cambios o correcciones que tenga

que realizar el satélite en la órbita.

Se realizan también la transmisión de se
ñales de telemetría y comando.

14) To + 20 horas

Se realiza una nueva orientación del saté
lite con respecto a la órbita.

Lo que sucede es considerar el plano de la órbita y la otra referencia que se -- tiene es el sol, el ángulo formado será aproximadamente de $+15^\circ$, teniendo esto el satélite tiene una posición de 73° con respecto al plano de la órbita para llegar a tener una nueva posición de acuerdo a la órbita que se esta realizando.

15) To + 24 horas + 15 minutos

El satélite inicia un cambio en su órbita y lo realiza mediante el uso de los propulsores que se usan durante 25 minutos para poder corregir la inclinación de la órbita de transferencia teniendo cuidado de evitar errores en la excentricidad y posición que tiene el satélite; la velo-

cidad a la que viaja el satélite es de -
1810 m/seg.

16) To + 24 horas + 40 minutos

Aquí el satélite logra aproximarse a la órbita geostacionaria la velocidad que ahora adquiere el satélite es de - -
1824 m/seg haciendo una reorientación de la órbita.

17) To + 24 horas + 45 minutos

El control del satélite se hace mediante el uso de giros copios que se usan como referencia para realizar los movimientos.

Los giros copios son de:

desvío, giro e inclinación.

Se experimenta una variación usando los giros copios teniendo un movimiento de -
0.5°/segundo logrando así mantener al satélite lo mejor posible.

18) To + 25 horas

Se hace el despliegue de los paneles solares y el arreglo completo de las ante-

nas de comunicación cuidando de no perder la trayectoria y la orientación hacia el Sol; se transmiten señales de comando enviadas desde Tierra para tener control en el satélite.

19) To + 26 horas

Se debe de cuidar la orientación de los paneles solares para captar lo mejor posible la energía solar, puede realizarse la orientación del satélite por medio de la transmisión de señales de comando.

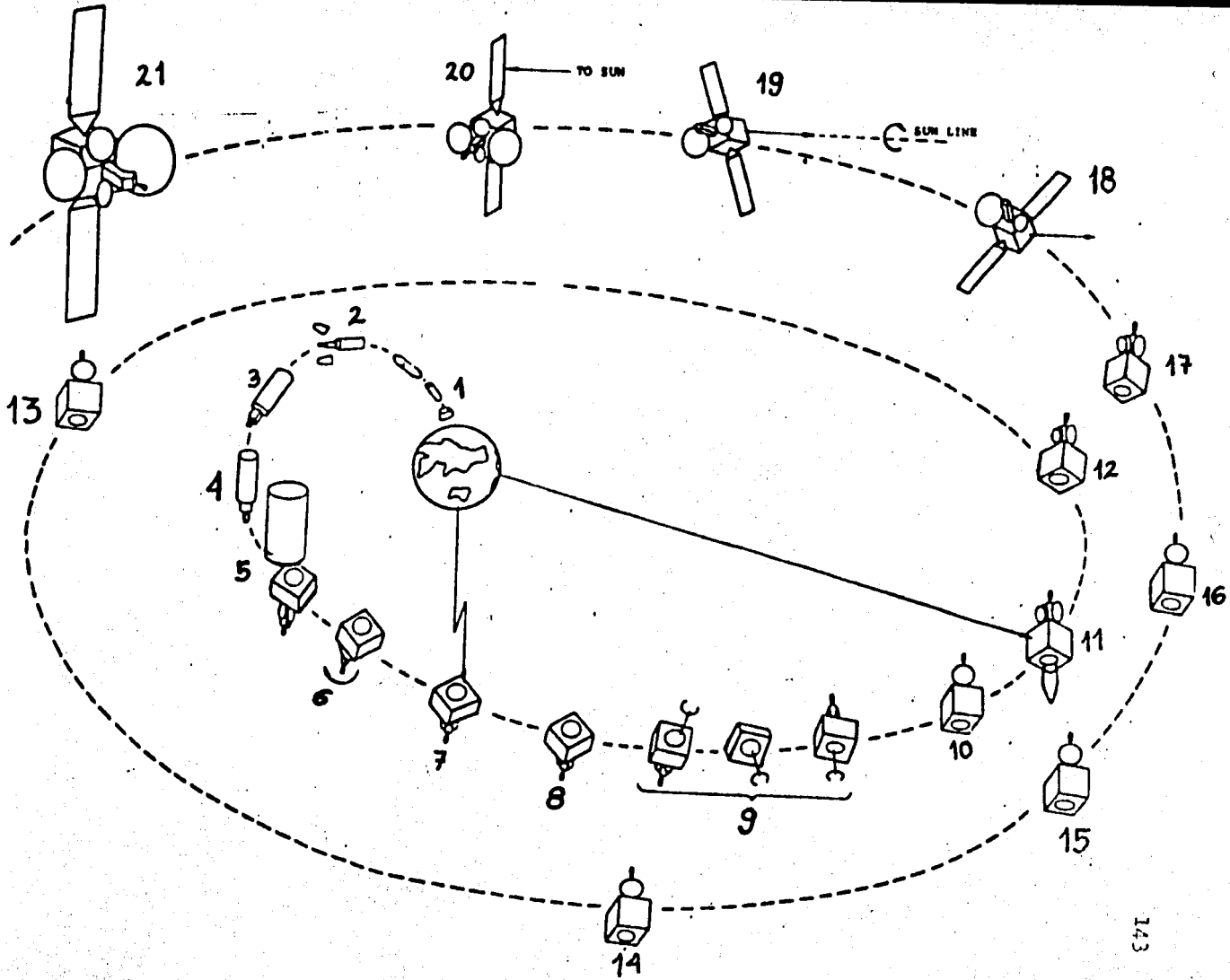
El satélite realiza giros de $0.25^\circ/\text{segundo}$ para alinear la posición del satélite con respecto al Sol.

20) To + 30 horas a 31 horas

Se debe de eliminar alguna tendencia de giro y para esto se usan propulsores que eliminan la posible rotación de $0.5^\circ/\text{segundo}$.

De acuerdo a las condiciones de tiempo en To+40 horas o 41 horas se llega a presentar el primer eclipse.

- 21) Se tiene al satélite en la posición de -
la órbita geoestacionaria manteniendolo
de acuerdo a un margen de error de opera
ción.



4) ESTACION TERRENA

4.1) Características de la estación terrena para comunicación internacional.

Una estación terrena es un elemento del sistema global de comunicación es un punto virtual de interconexión bilateral con el resto de las estaciones terrenas que se encuentran operando dentro del ángulo de cobertura de un mismo satélite.

Donde un enlace de satélite comprende:

Estación terrena-satélite-estación terrena considerando que es un circuito que comprende un par de moduladores y demoduladores para la transferencia de la banda base a la portadora radio frecuencia y viceversa.

Una estación puede estar localizada en cualquier punto. Se deben hacer las siguientes consideraciones:

- 1) La elección del mejor sitio para ubicarla - es un factor determinante para su óptimo --

funcionamiento.

- 2) Debe considerarse el sistema de satélites - con que operará dicha estación.
- 3) Los lugares escogidos deben ser electrica-- mente tranquilos, si se quiere disminuir al mínimo la interferencia en el equipo recep-- tor.
- 4) El lugar preferentemente debe ser un valle a fin que las colinas distantes sirvan como una barrera natural contra las interferen-- cias en ángulos menores de 5°.
- 5) El terreno debe ser geológicamente estable para tener firmeza en los cimientos.
Al elegir una ubicación, hay que considerar el tipo de terreno, su inclinación, superfi-- cie, posibilidad de inundaciones y socava-- mientos.
- 6) Dentro de las especificaciones del sistema de antena, se deben de conocer las condicio-- nes climatológicas bajo las que ha de fun-- cionar. Es necesario considerar la informa-- ción sobre vientos, lluvia, escarcha, neva-- das, temperatura, humedad, tormentas de pol-- vo y arena.

Las estaciones terrenas en el sistema INTELSAT sirven también para comunicar al sistema global de satélite para los sistemas terrestres de comunicación de algunos países, usualmente por medio de enlaces de microondas.

Comparación entre el sistema internacional y doméstico para una comunicación por satélite.

4.2) SISTEMA INTERNACIONAL.

- 1) La transmisión es a nivel mundial
- 2) La distribución de frecuencias y canales de comunicación se hace bajo normas internacionales.
- 3) El satélite es usado por muchos países a la vez.
- 4) La localización del satélite es conocido -- por los usuarios de las zonas que desean comunicarse.
- 5) Se cuenta con el equipo de comunicación para enlaces internacionales y normas de operación.
- 6) Se tiene conocimiento del desarrollo tecnológico y se toman decisiones para aceptarlo.

4.3) SISTEMA DOMESTICO.

- 1) La comunicación se hace sólo para el país - en particular.
- 2) El plan de frecuencia y la distribución de canales para realizar las comunicaciones se encuentra limitada evitando interferencias con otros sistemas que son ajenos.
- 3) El país cuenta con su propio satélite para realizar sus comunicaciones.
- 4) La ubicación del satélite solo abarca al -- país de interés teniendo que cubrir las zonas que son de interés para la comunicación.
- 5) Se considera un programa de desarrollo en - donde interviene la óndustria, mercados, -- costos, experimentación y beneficios.

4.4) TIPOS DE ESTACION TERRENA.

Los satélites INTELSAT constituyen el sistema - espacial de comunicaciones mientras que el sistema terrestre esta formado por estaciones terrenas transmisoras y recepto ras ubicadas en algunos países del mundo.

Las estaciones terrenas son propiedad de las organizaciones de telecomunicaciones internacionales de los países en los que están situados y la explotación corre a cargo de estas entidades.

4.4.1) Estación terrena. Estandar A.

Esta norma que generalmente exige el uso de antenas parabólicas de un diámetro de 30 metros o más, es la más antigua y la que se ha utilizado en forma más generalizada en el sistema.

La antena de gran tamaño de la estación normalizada "A" le permite hacer uso de la capacidad del satélite de la manera más eficaz. La estación de este tipo trabajan en la banda de frecuencias 6/4GHz, la capacidad que se tiene es de alrededor desde 60 canales a más de 100 canales.

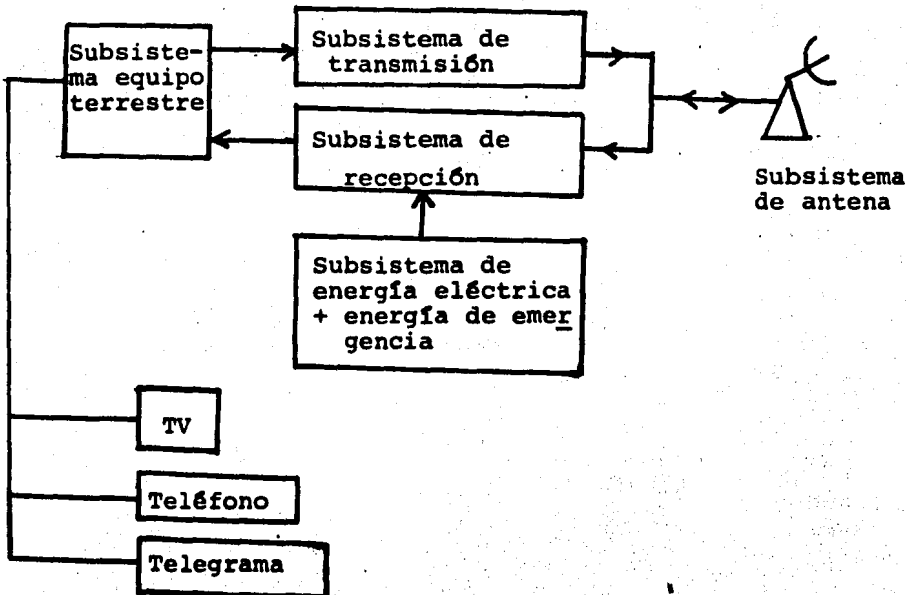
4.4.2) Estación terrena. Estandar C.

Se usan para operar en las frecuencias de 14/11GHz en el satélite INTELSAT V.

Este es un nuevo servicio en cuanto a la banda de frecuencia para así auxiliar en el congestionamiento de la banda 6/4GHz.

El tamaño de la antena varia desde 17.5 metros a 19 metros de acuerdo a la variación en el ángulo de elevación al satélite y las características de la lluvia con influencia en la atenuación en frecuencias más altas. La capacidad que se tiene para este tipo de estaciones es de 60 canales.

La organización de una estación terrena esta dividida en forma de subsistemas, como se muestra a continuación:



ESTRUCTURA DE UNA ESTACION TERRENA.

Una estación terrena comprende de los siguientes subsistemas:

- 1) Antena
- 2) Amplificador de bajo ruido
- 3) Amplificador de alta potencia
- 4) Equipo de comunicación terrestre
- 5) Equipo de banda base

INNOVACIONES TECNICAS Y DESARROLLO

En cuanto a las comunicaciones por satélite -- cabe señalar el desarrollo que tienen desde sus inicios hasta la tendencia futurista.

Considerando el avance que se tienen en los satélites va también de antemano el avance en las estaciones terrenas para así brindar un mejor servicio.

CARACTERISTICAS. SATELITES INTELSAT

	I	II	III	IV	IVA	V
Capacidad en circuitos telefónicos	240	240	1500	3750	6000	12000
Capacidad en canal de TV.	1	1	4	2	2	2
Antenas	Omnidireccional fija	Omnidireccional fija	Contra rotación mecánica	2 reflectores parabólicos de haz pincel 4 bocinas globales	Par de antenas transmisoras de reflector parabólico. Bocinas alimentadoras	2 reflectores hemisféricos y zona con alimentación descentrada 2 reflectores haz pincel con alimentación descentrada 2 bocinas de cobertura .
Cobertura	América del Norte y Europa	Cobertura terrestre (hemisferio Norte y Sur)	Tres regiones oceánicas: Atlántico Pacífico Indico	Tres regiones oceánicas: Atlántico Pacífico Indico	Tres regiones oceánicas: Atlántico Pacífico Indico	Tres regiones oceánicas: Atlántico Pacífico Indico
Banda de frecuencia	6/4GHz	6/4GHz	6/4GHz	6/4GHz	6/4GHz	6/4GHz; 14/11GHz
Vida útil	3 años	3 años	5 años	7 años	7 años	7 años

I

No posea acceso múltiple de estaciones terrenas.
La antena transmitía una señal en un arco completo de 360°
Solamente 2 estaciones terrenas podían trabajar con el satélite en un momento determinado.

II

Establece comunicaciones a destinos múltiples entre estaciones terrenas de la zona de cobertura.

III

Permite realizar combinaciones ya sea de enlace en TV ó en telefonía de acuerdo a la capacidad que lo permita.
La antena hace posible concentrar toda la potencia transmisora en dirección a la tierra en vez de radiar la potencia al espacio.
Mayor capacidad para transmitir simultáneamente - todo tipo de comunicaciones telefónicas, telegráficas, TV, facsímil y datos a alta velocidad.
Prestar servicios de TV sin interrumpir el servicio de comunicaciones telefónicas o mensajes.

IV

Nueva configuración de antenas.
Las antenas de haz pincel pueden ser orientadas desde tierra con el fin de apuntar haces de alta energía (ó alta capacidad) hacia zonas pequeñas de la superficie terrestre.
Capacidad de acceso múltiple y transmisión simultánea.

IVA

Se deriva del satélite - -- INTELSAT IV.
Cada reflector parabólico es iluminado por un conjunto de bocinas alimentadoras.
Capacidad de acceso múltiple y transmisión simultánea.

V

Las antenas - transmiten mediante haces globales, hemisféricos de zona y pincel.
Nueva gama de frecuencias que se utilizan en los haces pincel en la banda de 14/11GHz.
Se disponen de equipos especiales que serán usados para prestar servicios - de comunicación marítima.
Uso de polarización ortogonal y lineal.
Introducción de técnica TDMA/DSI.

4.5) DESARROLLO DE ESTACIONES TERRENAS.

Entre los años 1962 y 1963 se empezó a desarrollar el sistema de comunicación por satélite teniendo como principio al satélite INTELSAT I.

Las primeras estaciones terrenas tenían que someterse a un control de temperatura, debido a los cambios que había en el clima, como también tener una seguridad en el rastreo bajo la presencia de ráfagas de viento, deformaciones que se presentaban en el reflector.

La separación entre algunas estaciones terrenas era necesario ya que se tenía la posibilidad de rastrear satélites que no tenían órbita geoestacionaria; cuidando también que estas estaciones terrenas no tengan bajos ángulos de radiación.

Tener un control en la capacidad de recepción para portadoras RF y equipo terminal para el procesamiento de señal a nivel de frecuencia intermedia.

El sistema de enfriamiento en estos principios es de enfriamiento líquido para el uso de amplificadores de

alta potencia (Klystrons).

Se empieza a tener normas en cuanto al tamaño - del reflector de la antena y que varfa desde 26 metros a 30 metros.

Se llegan a presentar conforme a los avances mo dificaciones en la estructura de la antena y en el sistema de rastreo, teniendo ahora la seguridad del grado de deformación causado por viento, hielo y temperatura.

El sistema de control en la temperatura es de - un control eléctrico de termostato colocados de manera que funcionen bajo la presencia de hielo y nieve.

El enlace entre la antena y el equipo de control se hace por medio de gufas de onda ya que la señal procesada es transmitida desde el nivel de banda base a nivel RF y en la fase de recepción es de nivel RF a nivel banda base.

El mantenimiento ya es periodico en el sistema de servomecanismo que es utilizado para el sistema de ras-
treo, receptores de bajo ruido y amplificador de alta poten-
cia.

Como amplificador de alta potencia se usa un tercio de la potencia que anteriormente se usaba en la anterior generaci3n, estan presentes la tecnologfa del Kystron o los tubos de onda progresiva y estos representan una reducci3n en el mantenimiento de enfriamiento lquido.

Se brinda el procesamiento de se1al usando la - conversi3n frecuencia intermedia (FI)/radio frecuencia (RF) para un ancho de banda de 500MHz.

Se hace uso de filtros para evitar interferencias y se1ales indeseables.

En 1968 se empieza a diversificar el tr1fico en determinadas areas del mundo donde se tiene una cierta capacidad de tr1fico.

Se tienen elementos electr3nicos que son montados en el receptor de bajo ruido, convertidores de frecuencia y amplificador de alta potencia.

Se cuentan con estaciones terrenas m1s funcionales donde se tiene:

Oficinas, cuarto de conferencia, baño, cocina y dormitorios.

Se cuenta con equipo para poder ajustar los niveles de azimuth y ángulo de elevación.

Las instalaciones ya pueden ser prefabricadas - una planta de energía es colocada de forma adjunta a la antena.

La última generación de estaciones terrenas se encuentra concentrada todo en equipo electrónico, se encuentra con sistema de alimentación para un enfoque de haz.

El sistema de alimentación esta montado en la base de la antena como también se consideran receptor de bajo ruido, amplificador de alta potencia y sistema de rastreo.

Continua el uso de gufa de onda para la conexión de los sistemas de comunicación. Se usa equipo eléctrico y electrónico cuya necesidad hace tener una mejor iluminación y aire acondicionado.

Se tienen sistemas de control en el subsistema de alta potencia, receptor de baja potencia, control de po-

tencia.

En cuanto al sistema de rastreo se extiende el tiempo de vida modificando el sistema de servomecanismo a un sistema de monopolso es decir de operación con motor eléctrico paso a paso y así calibrar la posición de la antena, con este sistema se eliminan ciertas unidades que ya no son requeridas.

El mantenimiento en el caso del receptor de bajo ruido, amplificador de alta potencia y otras unidades en la fase de transmisión y recepción es en forma más práctica.

En cuanto a pequeñas estaciones terrenas se pueden improvisar por la simplificación del amplificador de alta potencia.

Se cuentan con niveles de potencia limitados -- siendo necesarios para una transmisión limitada. El equipo de comunicación usado en tierra como el sistema multiplex y enlaces de microondas son completamente en estado sólido y tienen un alto nivel de confiabilidad.

Las estaciones terrenas que se han instalado recientemente es por la gran densidad de tráfico y se han di-

señado para que operen sin interrupción y en periodos indefinidos.

Las generaciones futuras en la estación terrena es la técnica TDMA (Acceso Múltiple por Distribución en el Tiempo) y su uso será para las rutas de gran densidad de tráfico.

La planificación que se tiene en estas estaciones terrenas es que sea un equipo más compacto y además fácil de operar y mantener contando con el avance de los circuitos integrados.

4.6) TENDENCIAS DE DESARROLLO

Considerando que la necesidad son cada vez mayores se requiere una capacidad todavía más elevada, se han formulado la tendencia de satélites mejores y de mayor capacidad considerando también el desarrollo tecnológico y científico.

Las mejoras que se tienen en el satélite - - -
INTELSAT V-A son las siguientes:

- 1) Uso de baterías de níquel-hidrógeno, añadiendo modificaciones con el objeto de aumentar su capacidad.
- 2) Capacidad aproximada de 14000 a 15000 circuitos telefónicos y dos canales de TV.
- 3) Se incorporarán tres nuevos canales globales de polarización ortogonal, dos haces - pincel en polarización ortogonal en 6/4GHz para el suministro de servicios nacionales.
- 4) Vida útil de 7 años.

En cuanto a la tendencia que se tiene en el satélite INTELSAT VI, se considera lo siguiente:

- 1) Se considera seguir usando continuamente -- las bandas de frecuencias de 6/4GHz y 14/11 GHz.
- 2) Enlaces de comunicación digital de acuerdo a la técnica de conmutación por satélite - Acceso Múltiple por División en el Tiempo.
- 3) Brindar facilidades para los servicios domésticos.
- 4) Sistemas para comunicación marítima.
- 5) Equipo experimental para operaciones en la banda de 30/20GHz.

- 1) Uso de baterías de níquel-hidrógeno, añadiendo modificaciones con el objeto de aumentar su capacidad.
- 2) Capacidad aproximada de 14000 a 15000 circuitos telefónicos y dos canales de TV.
- 3) Se incorporarán tres nuevos canales globales de polarización ortogonal, dos haces - pincel en polarización ortogonal en 6/4GHz para el suministro de servicios nacionales.
- 4) Vida útil de 7 años.

En cuanto a la tendencia que se tiene en el satélite INTELSAT VI, se considera lo siguiente:

- 1) Se considera seguir usando continuamente -- las bandas de frecuencias de 6/4GHz y 14/11 GHz.
- 2) Enlaces de comunicación digital de acuerdo a la técnica de conmutación por satélite - Acceso Múltiple por División en el Tiempo.
- 3) Brindar facilidades para los servicios domésticos.
- 4) Sistemas para comunicación marítima.
- 5) Equipo experimental para operaciones en la banda de 30/20GHz.

- 6) El equipo que se utiliza actualmente puede ser usado este mismo pero ahora con una frecuencia mayor.
- 7) Incremento en el diseño de vida del satélite que va desde 7 años a 10 años.

5) DETERMINACION DE LA POSICION DE UN SATELITE.

5.1) INTRODUCCION.

El sistema INTELSAT posee estaciones terrestres en diferentes países y que su función es seguir la trayectoria del satélite.

Las estaciones rastrean la órbita del satélite constantemente, toman las lecturas de la posición y orientación que tiene el satélite en el espacio.

De acuerdo a las características técnicas de -- estas estaciones terrenas parte de la información también -- es enviada al centro de operaciones y centro espacial - - - INTELSAT en Washington D.C.

El centro de operación sólo le concierne la localización y coordinación de los servicios de telecomunicaciones realizados por vía satélite. Además puede ver por medio del centro de control de posición de los satélites, la orientación que tienen estos y la operación del sistema de comunicación del satélite.

Las estaciones terrenas que poseen el equipo - TTC&M son países asignatarios de INTELSAT.

Se encuentran localizados en los siguientes países:

- 1) Carnarvon, Australia
- 2) Tangua, Brasil.
- 3) Zamengoe, Camerún
- 4) Plemeur - Bodou, Francia
- 5) Fucino, Italia
- 6) Yamaguchi, Japón
- 7) Paumalu, Hawai
- 8) Andover, Maine, Estados Unidos de América

Estas estaciones brindan los servicios de TTC&M durante la operación del satélite INTELSAT V.

En Fucino, Italia y Yamaguchi, Japón realizan el análisis de la órbita. Las ocho estaciones de TTC&M operan con un equipo que opere 6/4GHz, uno para operación en 14/11GHz y una estación equipada para operar en ambas bandas de frecuencia.

5.2) SISTEMAS DE CONTROL

Las estaciones de TTC&M se encuentran localizadas de acuerdo a los siguientes criterios:

- a) Las estaciones deberán proteger la órbita del satélite, considerando que la antena - rastreadora tendrá un ángulo de elevación a partir de los 10° .
- b) La protección de la órbita del satélite se hará de acuerdo a la posición que tenga el satélite y a la estación rastreadora que - le corresponda realizar las operaciones de control.
- c) Cada estación TTC&M deberá estar localizada junto a una estación terrena que realiza la comunicación con el satélite para que así - se coordinen y se entablen las operaciones que deben de realizarse entre el satélite y la estación terrena.
- d) Se debe de considerar la accesibilidad de los servicios TTC&M. Se tienen pequeñas antenas paraboloideas de 12.8 metros de diámetro en Andover, Paumalu y Carnarvon.

Antenas de 13.4 metros de diámetro en los demás países asignados para esta misión.

Las antenas están montadas en un pedestal y que funcionan en forma hidráulica para la posición azimuth-ele-

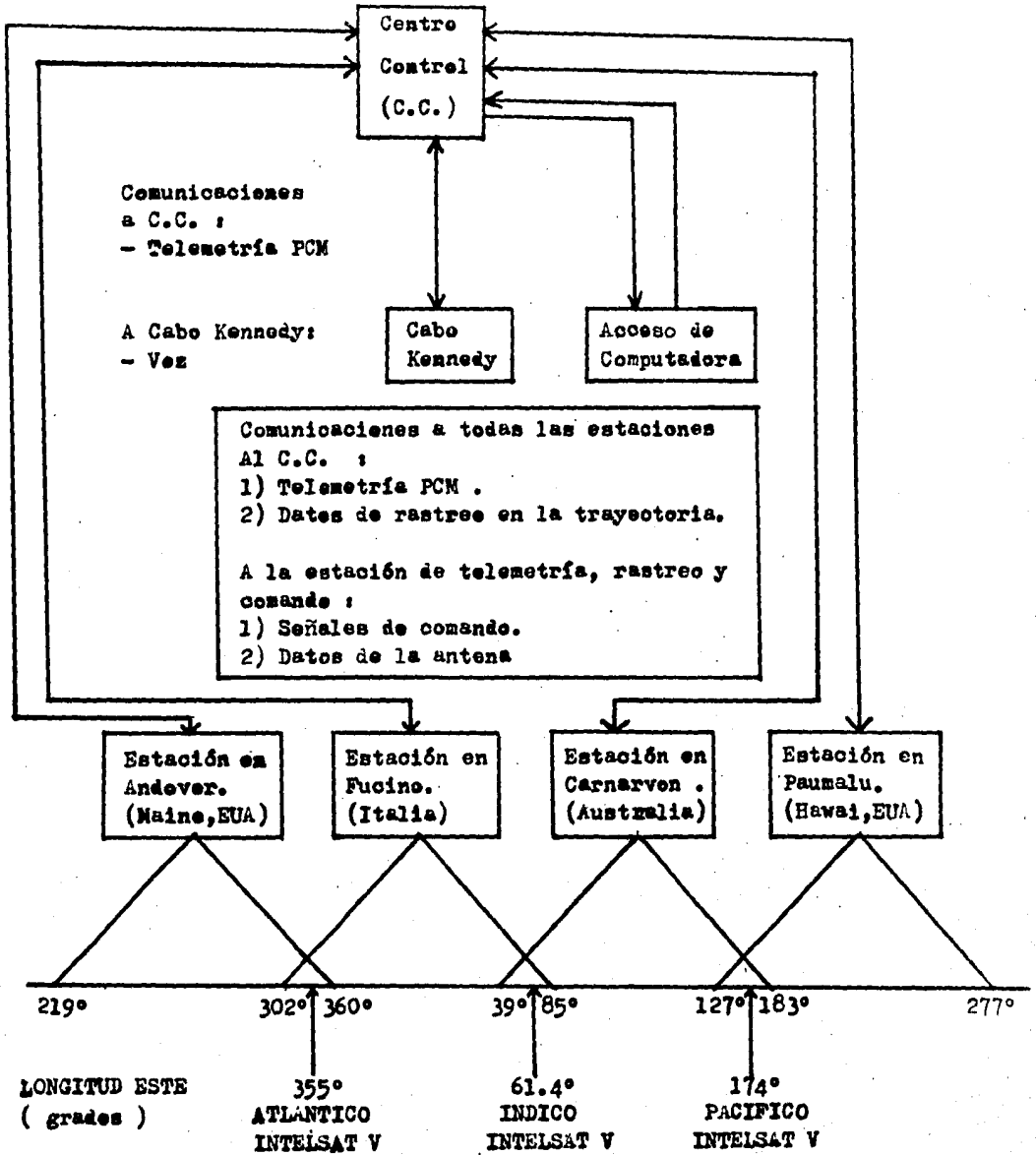
vación.

Para la posición de azimuth gira 300° y para -- elevación 90° . Las antenas están diseñadas para transmitir y recibir a un ancho de banda de 500MHz con las frecuencias de 6GHz para transmitir y 4 GHz para recibir.

La polarización empleada para recibir y transmitir es la polarización circular derecha o izquierda como -- también la polarización lineal.

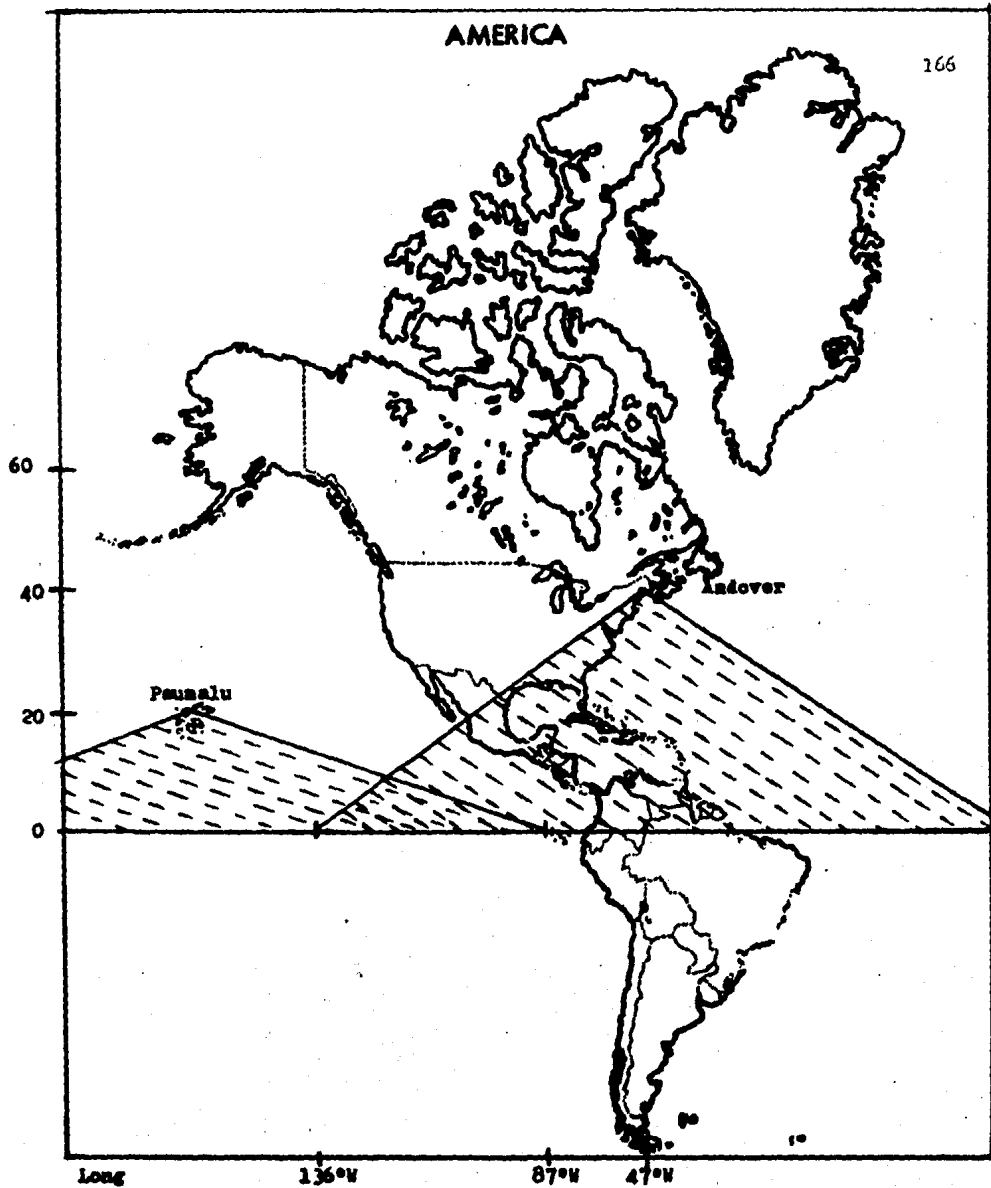
El ángulo de la onda polarizada linealmente ha-
cia y desde la nave puede ser determinada por la medición -
de la polarización de la onda recibida desde la nave.

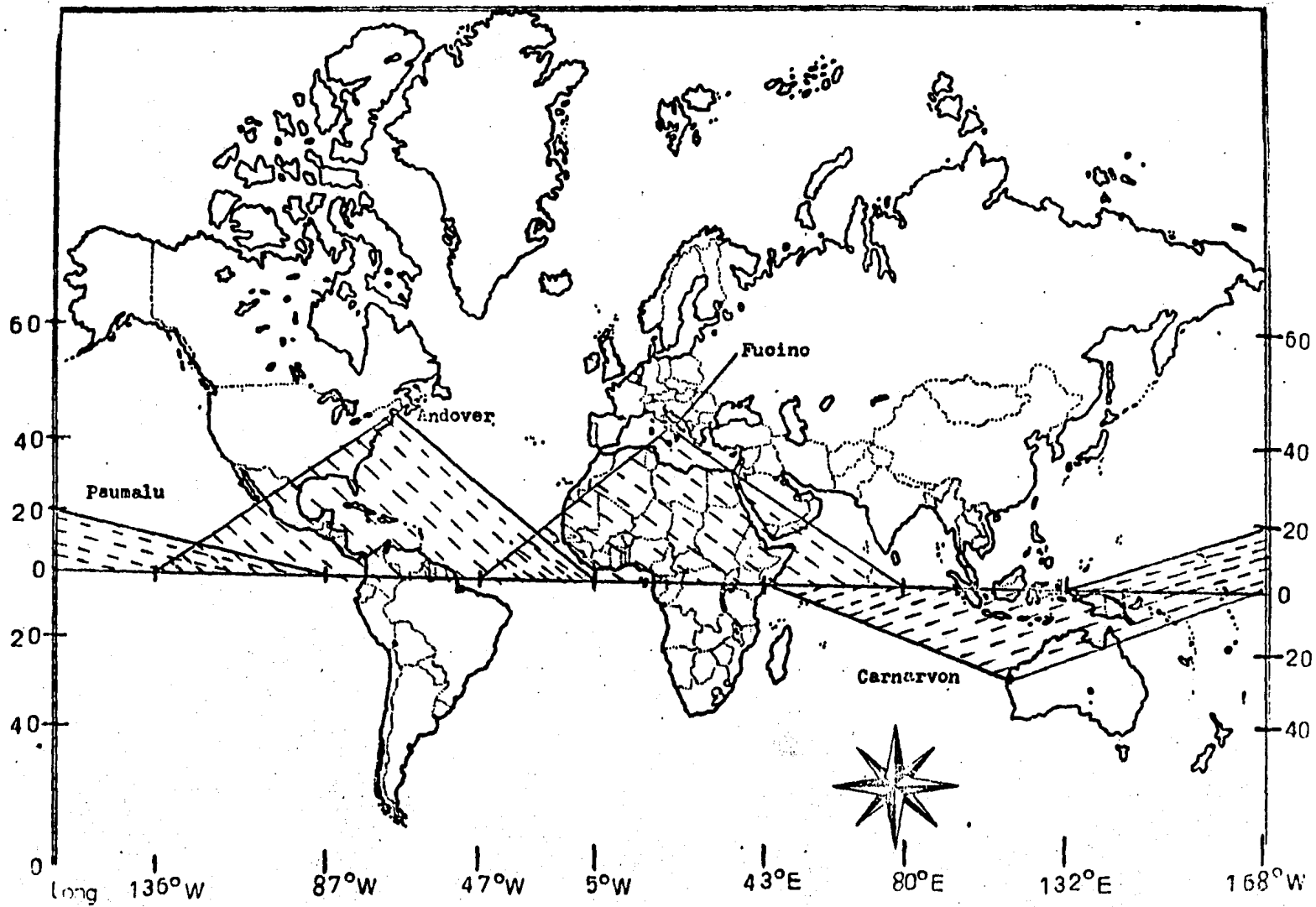
SISTEMA DE CONTROL UTILIZADO EN EL SISTEMA INTELSAT



AMERICA

166





5.3) TELEMETRIA, COMANDO Y RASTREO.

En el sistema de telemetría y comando se usa -- con el fin de poder controlar el satélite en órbita.

Las señales de comando son transmitidas en el enlace ascendente a una frecuencia de 6GHz.

Las señales de telemetría son llevadas en un enlace descendente a una frecuencia de 4GHz.

Las distancia del satélite esta determinada por la medición del intervalo de tiempo entre la transmisión de una señal en el enlace de comando y la recepción de la se--ñal en el enlace de telemetría.

En el satélite el subsistema de comando recibirá señales de comando desde las estaciones terrenas. El saté--lite decodificará esas señales de comando, generará una veri--ficación de la señal, donde estas son recibidas, la señal - se ejecuta.

El subsistema de comando brindará la capacidad para asegurar el control de los modos de operación, posición,

trayectoria de la órbita en el satélite.

Además, el subsistema de comando servirá como un receptor en el enlace ascendente para señales de rastreo.

El sistema estará operando en cualquier tiempo.

La operación del comando será capaz de conducir simultáneamente con las demás operaciones de comunicación sin degradación o interferencia para su operación.

Todas las transmisiones comando estarán en la banda de microondas especificada por INTELSAT desde 6170MHz a 6180MHz.

El ancho de banda para la transmisión en comando no será mayor que 4MHz.

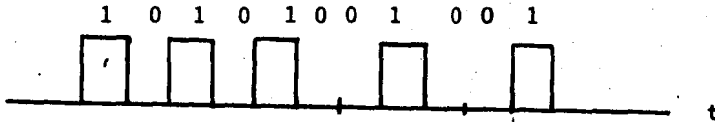
El subsistema será capaz para operar la transmisión de comando, teniendo una iluminación en el satélite entre -90 dBW/m^2 a -65 dBW/m^2 para un ancho de haz de media potencia de antena comando.

El subsistema será capaz de soportar sin degradación el nivel de densidad de flujo tan alto como -48 dBW/m^2 .

Para la operación de transferencia de órbita la antena de comando debe también brindar una protección omnidireccional en un plano perpendicular al eje del satélite - que realiza una tendencia al giro.

La antena será polarizada linealmente o circular izquierda. El mensaje transmitido al satélite estarán codificados en forma PCM-RZ.

PCM - RZ

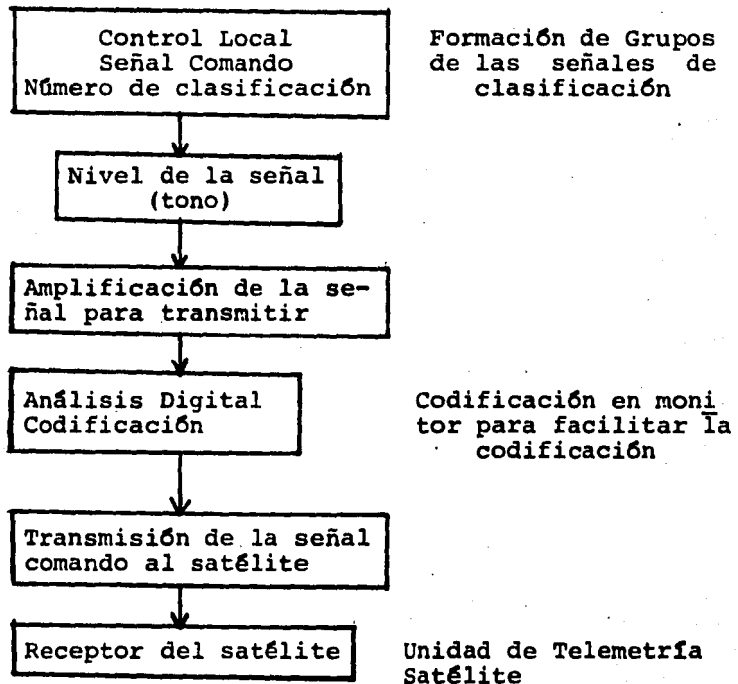


Los símbolos de codificación modularán el tono de la portadora de comando.

Los comandos pueden ser transmitidos ya sea un bit o una secuencia continua en un tiempo.

Las señales de comando son transmitidas al satélite por medio de la estación TTC&M o por el centro de -- control.

Las operaciones que se realizan en el centro de control para enviar las señales de comando son las siguientes:



El subsistema de telemetría monitoreara todos - los subsistemas de satélite y continuamente transmiten a la tierra suficiente información para determinar la posición, estado y funcionamiento como se requiere en el sistema del satélite y control.

Este subsistema tendrá canales de radio frecuencia. Adicionalmente se tendrán dos foros transmisores de telemetría.

Los datos de telemetría serán transmitidos por el transmisor y consistirán de portadoras PCM/PSK.

La telemetría de PCM será provisto en el cual - hará lo posible de monitorear una simple palabra de toda - una serie continua de datos.

Los dos foros transmisores de frecuencias serán de 3947.5MHz y 3952.5MHz.

Para el caso de PCM/PSK, la desviación pico de la fase es nominalmente de 1 radian. La subportadora de frecuencia PCM/PSK será de 32KHz.

Las características de datos de canal

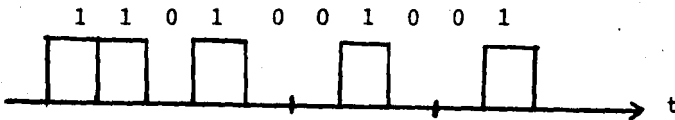
Formato PCM

Longitud de palabra 8 bits/palabra

Razón de bits 1000 bit/seg.

Código de datos NRZ

Código NRZ



Para la determinación de la distancia entre una estación terrena y el satélite la disponibilidad de la distancia será provista en el satélite.

Los tonos modulados de la distancia en la portadora de comando son retransmitidas sobre una portadora del faro a la estación terrena donde se mide la diferencia de fase entre los tonos originales y recibidos.

La portadora de comando modulada será recibida por el receptor comando en el satélite.

Una predicción de la señal en el receptor será conmutada hacia el transmisor de telemetría en lugar del oscilador de la señal modulada.

La salida del transmisor tendrá la misma frecuencia de la portadora y nivel de potencia cuando es modulado por la señal generada internamente.

Tres tonos para la medición serán usadas para la portadora de comando en frecuencia modulada 283.4Hz, - - 3968Hz y 27777Hz.

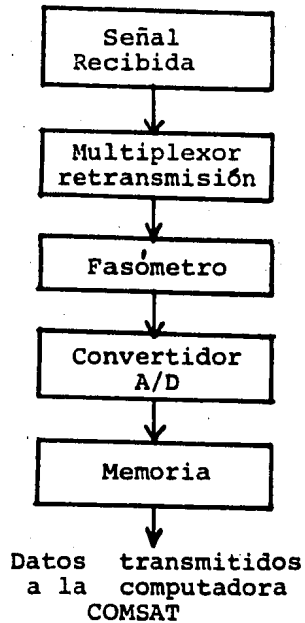
Para poder determinar la distancia se transmiten señales cuya forma es una onda senoidal.

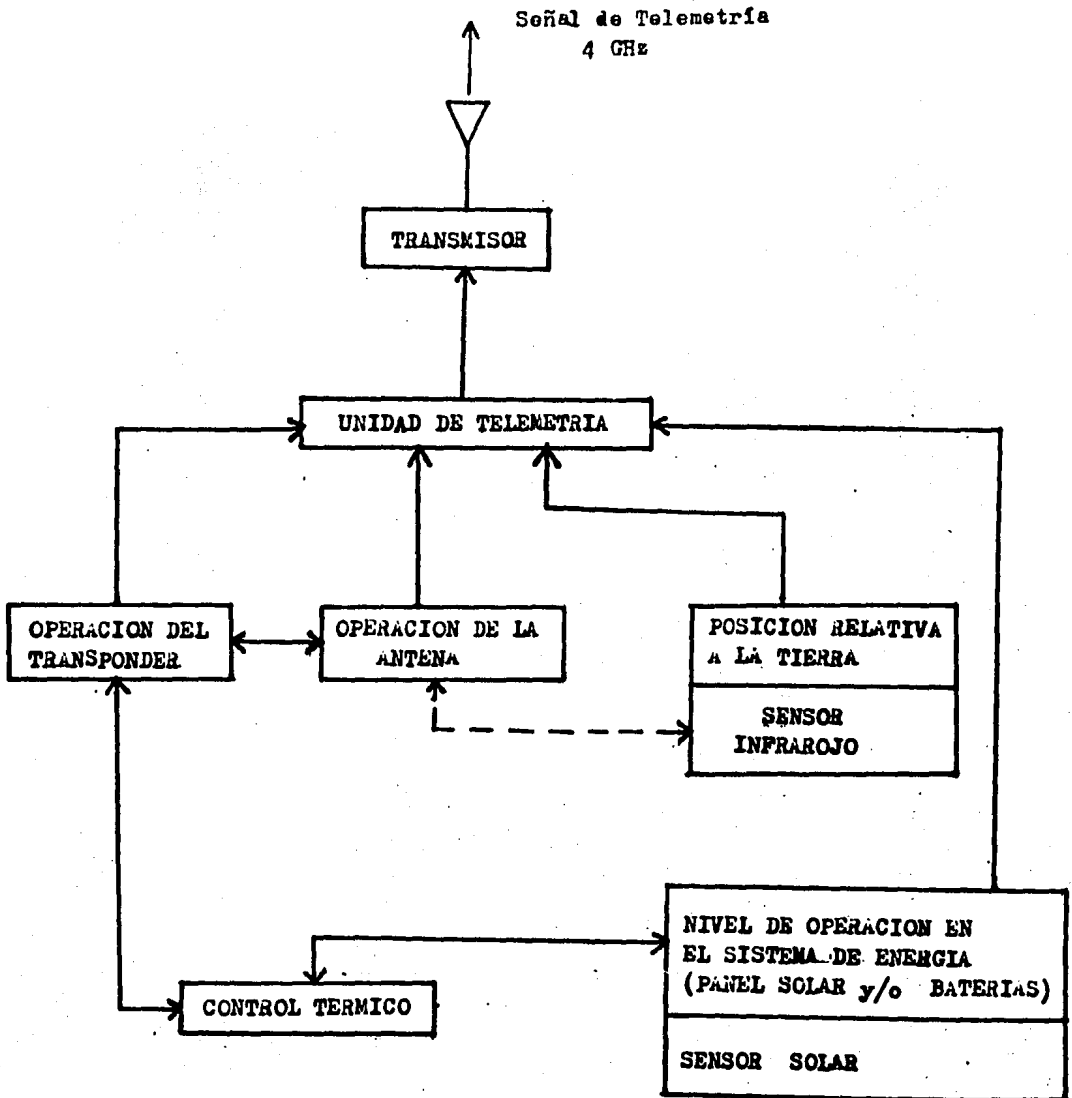
El método a usar es medir la fase entre la señal transmitida y recibida. Estas señales de rastreo son - aplicadas continuamente mientras se rastrea continuamente a la nave.

Una vez teniendo la señal transmitida y la señal recibida, estas son procesadas a través de un multiplexor de retransmisión y luego pasan a un fasómetro donde - - aquí se mide el desfase que hay entre las dos señales.

Teniendo la diferencia de fases, como son señales analógicas se convierten a señales digitales. Las señales pasan a un conmutador donde se muestrean estas y se almacenan en una memoria ya que cada señal es convertida del

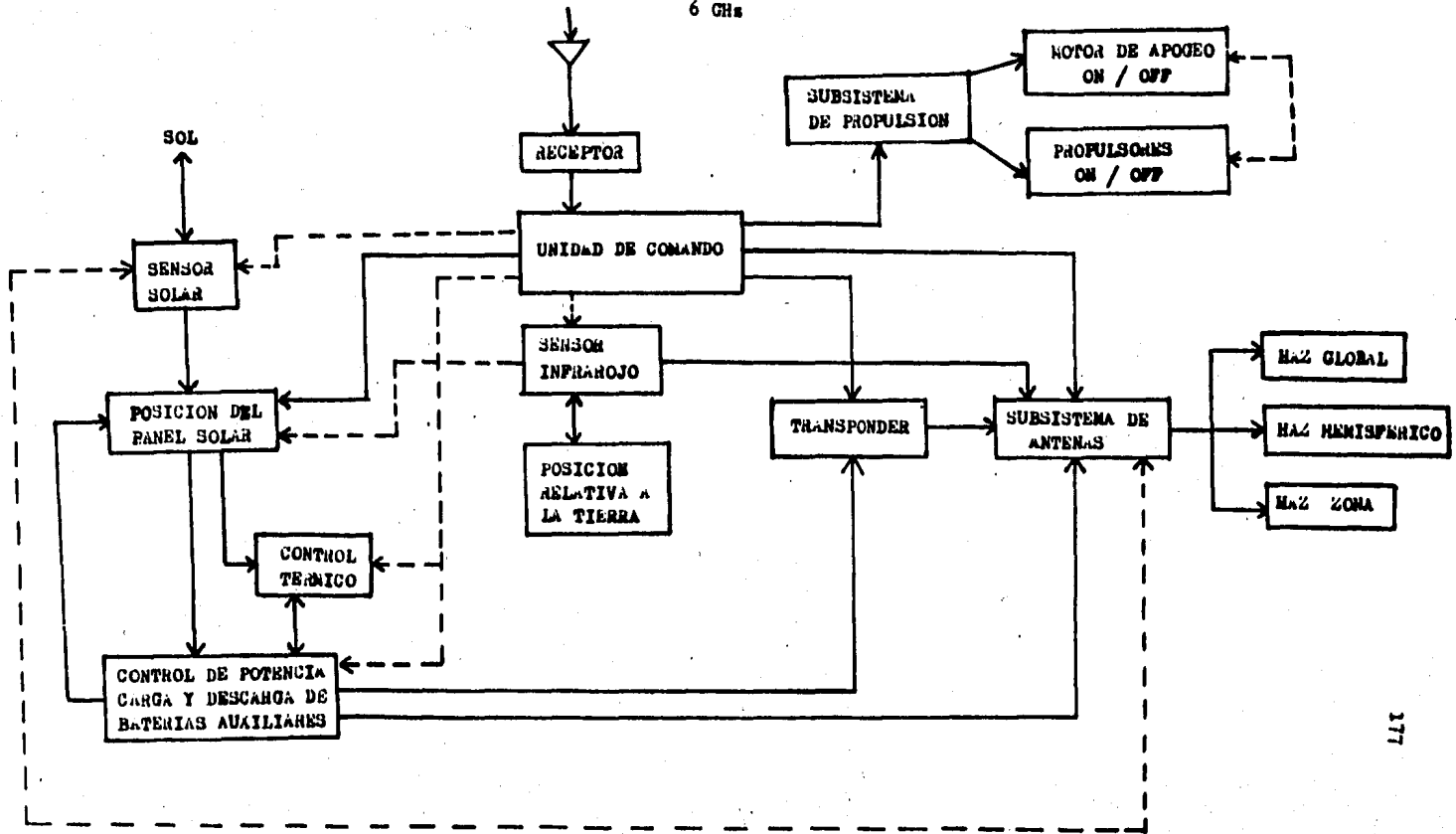
código BCD, al código Baudot y se imprimen estos datos en cintas de papel para transmitirlos a la computadora central de COMSAT.





5.3.1) DIAGRAMAS DE TELEMETRIA Y COMANDO DEL SATELITE

Señal de Comando
6 GHz



5.4) SISTEMA DE COMUNICACIONES

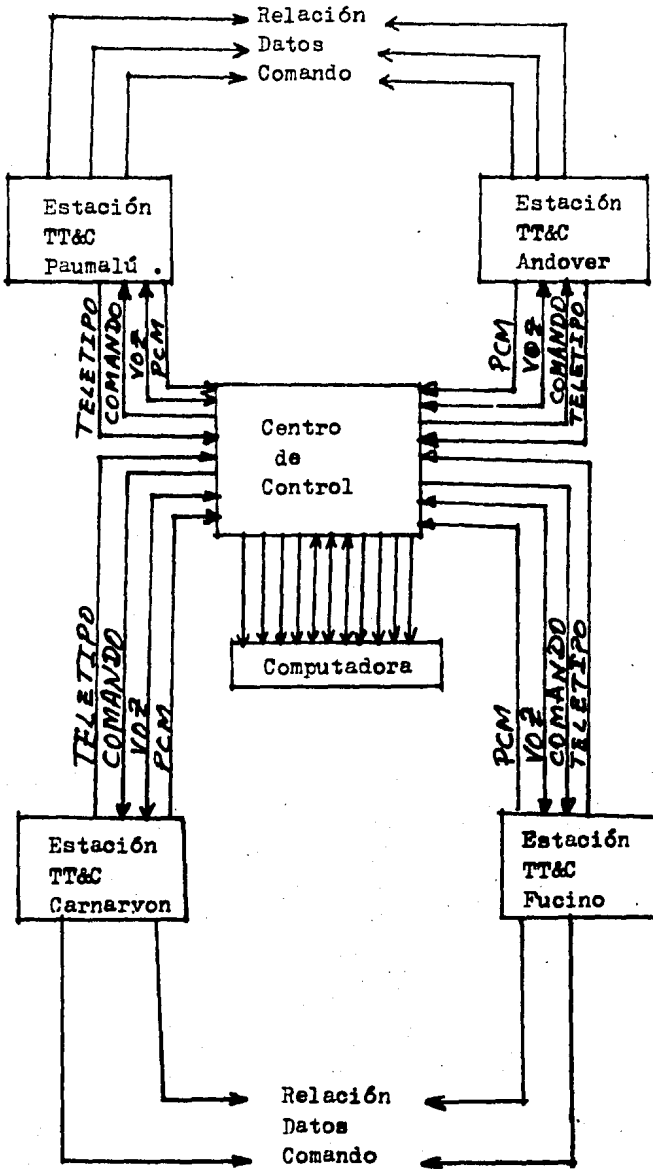
El siguiente diagrama muestra el sistema de comunicación. Aquí se muestran los enlaces de comunicación - tanto de voz, PCM, teletipo y comando entre el centro de control y las disponibles estaciones TTC&M.

Se tiene en consideración las señales de comando ya que se transmiten desde el centro de control a la estación TTC&M, donde estas señales se clasifican de tal modo que solo se tenga comunicación para este tipo de señal entre la estación TTC&M y el centro de control.

Las predicciones que se deben de considerar - para mantener la estrecha relación entre la estación terrena TTC&M y el satélite son porque es difícil predecir ciertos parámetros que tienen relación en la órbita del satélite.

Para evaluar estos parámetros la organización de estos es posible gracias a la computadora.

En el caso de la estación terrena algunos de los parámetros son considerados como:



Sistema de Comunicación

- a) La visibilidad
- b) Angulo de azimuth
- c) Angulo de elevación
- d) Distancia
- e) Recepción de la señal
- h) Polarización
- i) Efecto Doppler

Por parte del satélite, los siguientes parámetros son:

- a) Angulo que se tiene entre la posición del satélite y del Sol.
- b) Duración del eclipse solar
- c) Mediciones del sensor Tierra
- d) Posible interferencia del Sol con el sensor Tierra
- e) Posición sobre la superficie de la Tierra
- f) Recepción de una señal
- g) Angulo que se forma entre uno de los ejes de referencia del satélite y el centro de la Tierra.

Las principales mediciones que se realizan cuando el satélite se encuentra en órbita están hechas por me--

dio de un sistema de computadoras y que coleccionan todos los datos de funcionamiento del satélite. La misma computadora evalúa las fórmulas geométricas y analíticas que tienen relación con la trayectoria y predicción futura de la órbita de acuerdo a la región en que opere el satélite y tome decisiones la misma computadora para proteger a la nave en el espacio de acuerdo a los datos que se tengan.

Se tiene un programa de computadora muy amplio con el fin de que el mismo sistema de computadoras sea capaz de realizar operaciones simultáneas con relación al teleproceso y mantener al sistema enlazado con el satélite.

La siguiente ilustración muestra la organización que se tiene en el proceso de la información por medio de computadora.

Los datos que se llegan a considerar de mayor importancia son: La órbita y la posición. Ya que son analizadas con el fin de analizar y realizar ajustes en al órbita o una debida orientación.

Este tipo de operación se realiza continuamente para tener una posición y órbita operacional.

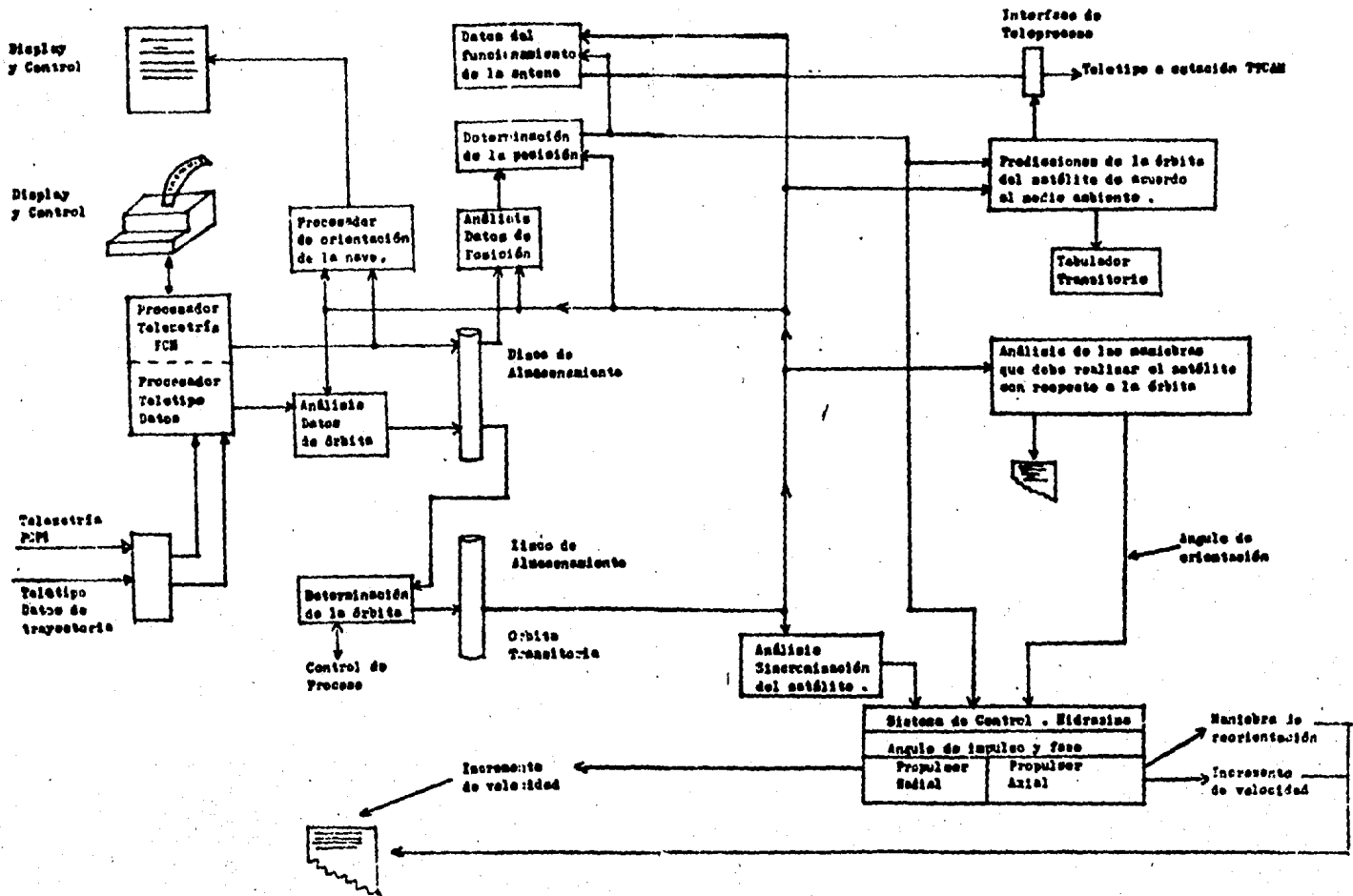
Cuando la nave se encuentra en su órbita la -- orientación se establece por medio de ejes de referencia ya asignadas al satélite.

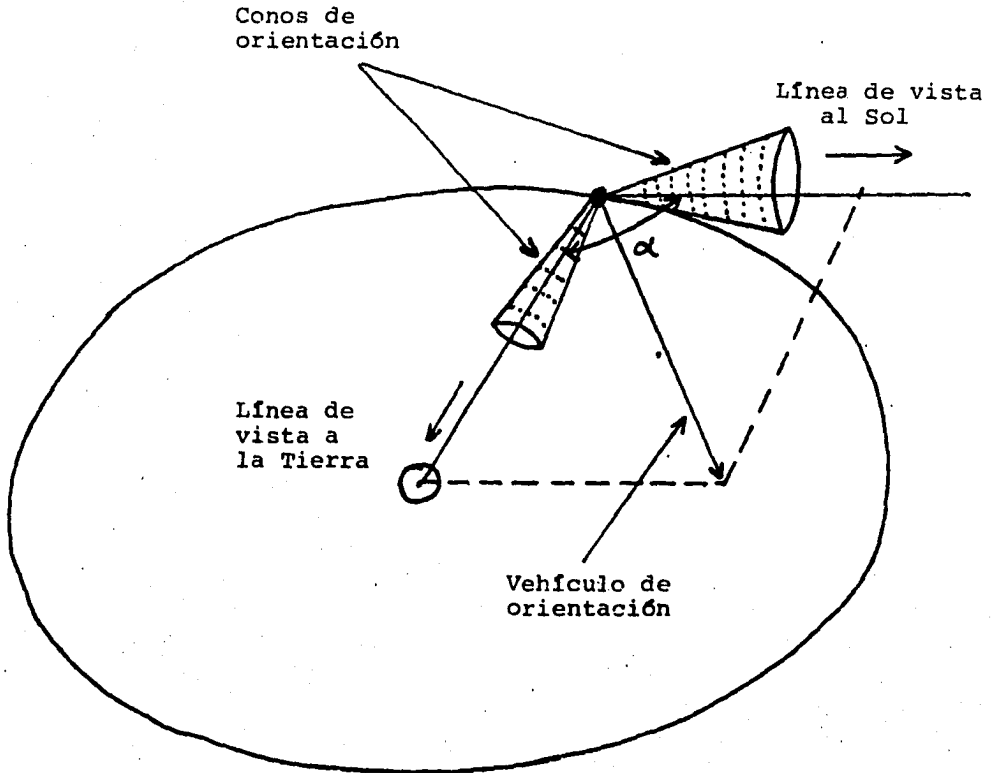
La manera de poder mantener un alineamiento de acuerdo a la posición del satélite, se ha tenido en este -- caso que considerar a la Tierra y al Sol donde entran en -- funcionamiento los sensores que posee el satélite. Se ha -- considerado que los sensores mantienen su dirección hacia -- el planeta detectando las variaciones en la radiación infra roja como si el satélite rastreará la radiación.

La detección del Sol se puede realizar con la -- ayuda del panel solar y de los sensores.

Para poder realizar estas operaciones de orien tación se deben hacer en intervalos de tiempo para te-- ner en funcionamiento normal y poder transmitir los datos de telemetría en PCM.

Consideremos la siguiente figura:





Lo importante en la orientación es que se debe de mantener al satélite en su respectiva órbita y considerando al ángulo " α " y se puede mantener dependiendo de la posición del satélite y de los ejes de orientación ya asignados en el satélite.

Para llegar a evaluar la orientación del vehículo es posible por un monitor que se encuentra en el sistema de computadora donde se llega a tener los datos del horizonte tanto de la Tierra como del Sol de acuerdo al tiempo que se llevó en realizar la operación.

5.5) LOCALIZACION DEL SATELITE DESDE TIERRA.

Consideremos que en un momento determinado es necesario conocer la posición del satélite para realizar un enlace con otro país para enviar cierta información.

Se han determinado ciertos parámetros que debemos considerar para realizar la comunicación.

Necesitamos conocer un nivel de referencia y la posición de la antena de acuerdo al ángulo de elevación que tendrá ésta.

El nivel de referencia para poder localizar el satélite desde un lugar del planeta es el Ecuador.

Pero no es esto solamente sino también se debe de considerar el azimuth, donde éste es el ángulo que con el meridiano de un lugar forma el círculo vertical que pasa

por un punto de la esfera celeste o del globo terráqueo.

Las ecuaciones para poder determinar la posición del satélite son las siguientes:

$$\delta = \tan^{-1} \left[\frac{\cos \theta \cos \phi - \frac{R}{R+h}}{\sqrt{1 - \cos^2 \theta \cos^2 \phi}} \right]$$

$$\gamma = \tan^{-1} (\tan \phi / \tan \theta)$$

donde:

θ : latitud de la estación terrena

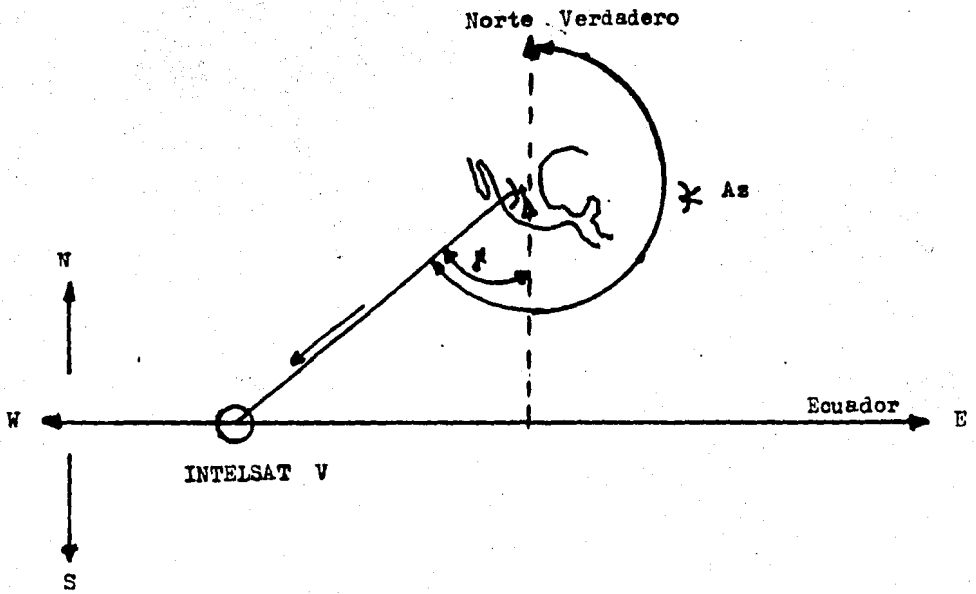
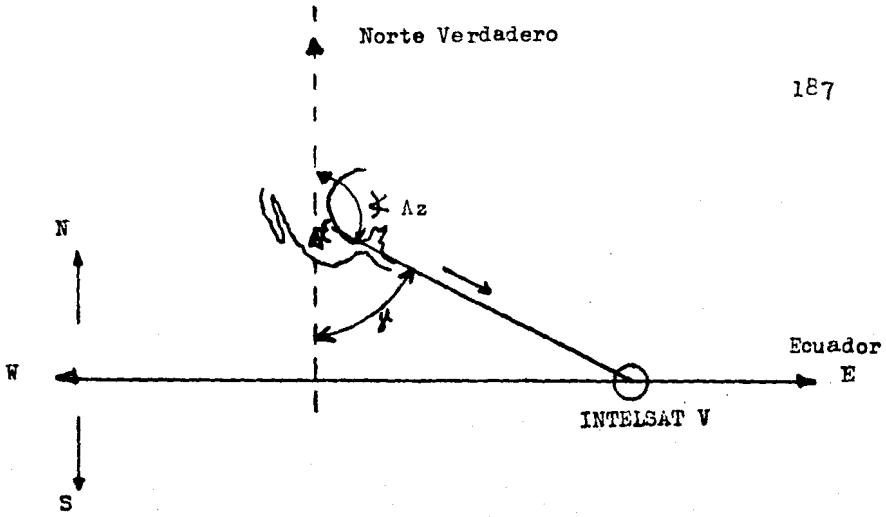
ϕ : diferencia de longitud entre la estación terrena y el satélite

R: Radio de la Tierra (6376 km)

h: Altura del satélite (35872 km) considerada al nivel del mar y sobre el Ecuador.

δ : ángulo de elevación de la antena

γ : ángulo de azimuth de la antena previa a la corrección debido a la posición geográfica donde este ubicada la antena.



La corrección de γ para encontrar el ángulo -- azimutal de la antena se realiza de la siguiente manera:

- 1) Para un satélite ubicado al Sur de la estación terrena y hacia el Este, la corrección será: γ Az = $180^\circ - \gamma$
- 2) Para un satélite ubicado al Sur de la estación terrena y hacia el Oeste, la corrección será: γ Az = $180^\circ + \gamma$

Para las posiciones del satélite y la estación terrena, podemos considerar como datos la latitud de la antena en la estación terrena y la longitud de la misma.

Datos de la posición.

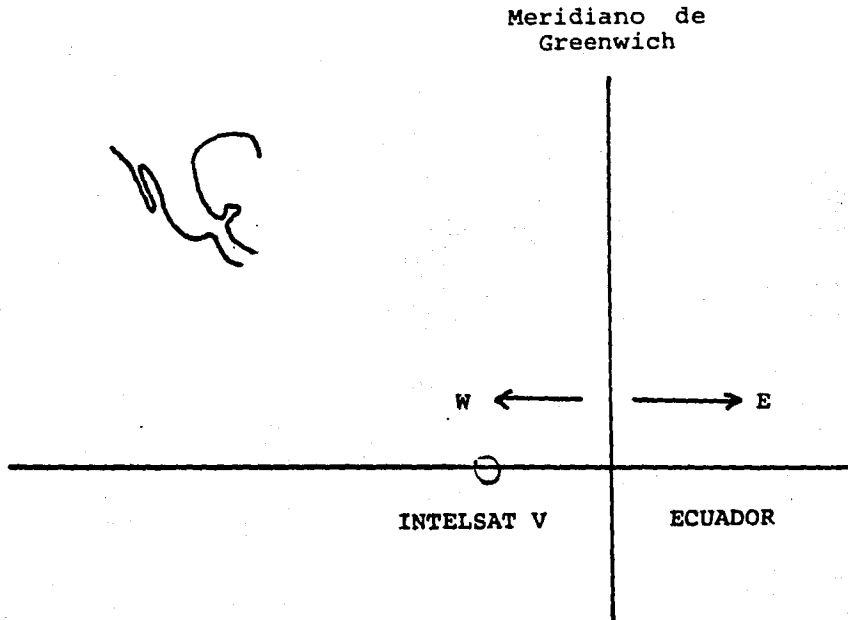
Estación Terrena. TULANCINGO I

Latitud $20^\circ 03' 52''$ N ; Longitud $261^\circ 33' 53''$ E.

El satélite INTELSAT V tiene la siguiente posición.

Región Atlántico 335.5° .

Tomando como referencia al meridiano de Greenwich



Longitud satélite = 335.5° (INTELSAT V)

Longitud de la antena 261° E

Siendo ϕ la diferencia de longitud entre la es
tación terrena y el satélite:

$$\phi = 335.5^\circ - 261^\circ = 74.5^\circ$$

Angulo de elevación de la antena.

$$\delta = \tan^{-1} \left[\frac{\cos \theta \cos \phi - \frac{R}{R+h}}{\sqrt{1 - \cos^2 \theta \cos^2 \phi}} \right]$$

$$\cos \theta = \cos 20^\circ = 0.939, \cos^2 \theta = 0.881$$

$$\cos \phi = \cos 74.5 = 0.267, \cos^2 \phi = 0.0712$$

$$R = 6376 \text{ Km.}$$

$$R + h = 6376 + 35872 = 42248 \text{ km.}$$

$$\delta = \tan^{-1} \left[\frac{(0.939)(0.267) - \frac{6376}{42248}}{\sqrt{1 - (0.881)(0.0712)}} \right]$$

$$\delta = \tan^{-1} \left[\frac{0.2507 - 0.1509}{0.968} \right] = \tan^{-1} (0.103)$$

$$\delta = 5.88^\circ \sim 6^\circ$$

Angulo de elevación de la antena de Tulancingo

$$I : \delta = 6^\circ$$

Angulo de azimuth de la antena previa a la corrección debido a la posición geográfica.

$$\gamma_1 = \tan^{-1} (\tan \phi / \tan \theta)$$

$$\gamma_1 = \tan^{-1} (\tan 74.5^\circ / \tan 20^\circ) = \tan^{-1} (3.605/0.363)$$

$$\gamma_1 = 84.25^\circ$$

Para el satélite INTELSAT V $\delta_1 = 6^\circ$, $\gamma_1 = 84.25^\circ$

Para un satélite al Sur de la estación terrena y hacia el Este la corrección será: γ Az = $180^\circ - \gamma$

$$\gamma \text{ Az INTELSAT V: } \gamma \text{ Az} = 180^\circ - 84.25^\circ = 95.75^\circ$$

- 6) ORBITA Y REGIONES DONDE OPERA EL SATELITE.
- 6.1) BANDAS DE FRECUENCIA Y REGIONES DONDE OPERA EL SATELITE.

El sistema de comunicaciones del satélite - - - INTELSAT V opera en dos bandas de frecuencias: la banda de 6/4 GHz y de 14/11 GHz.

Cabe señalar la introducción de unos términos - utilizados en este tema: Uplink: nos indica que se realiza el enlace desde la estación terrena al satélite.

Downlink: se realiza el enlace desde el satélite a la estación terrena. La banda de 6/4 GHz (5925 MHz - 6425 MHz / 3700 MHz - 4200 MHz)

Uplink / Downlink

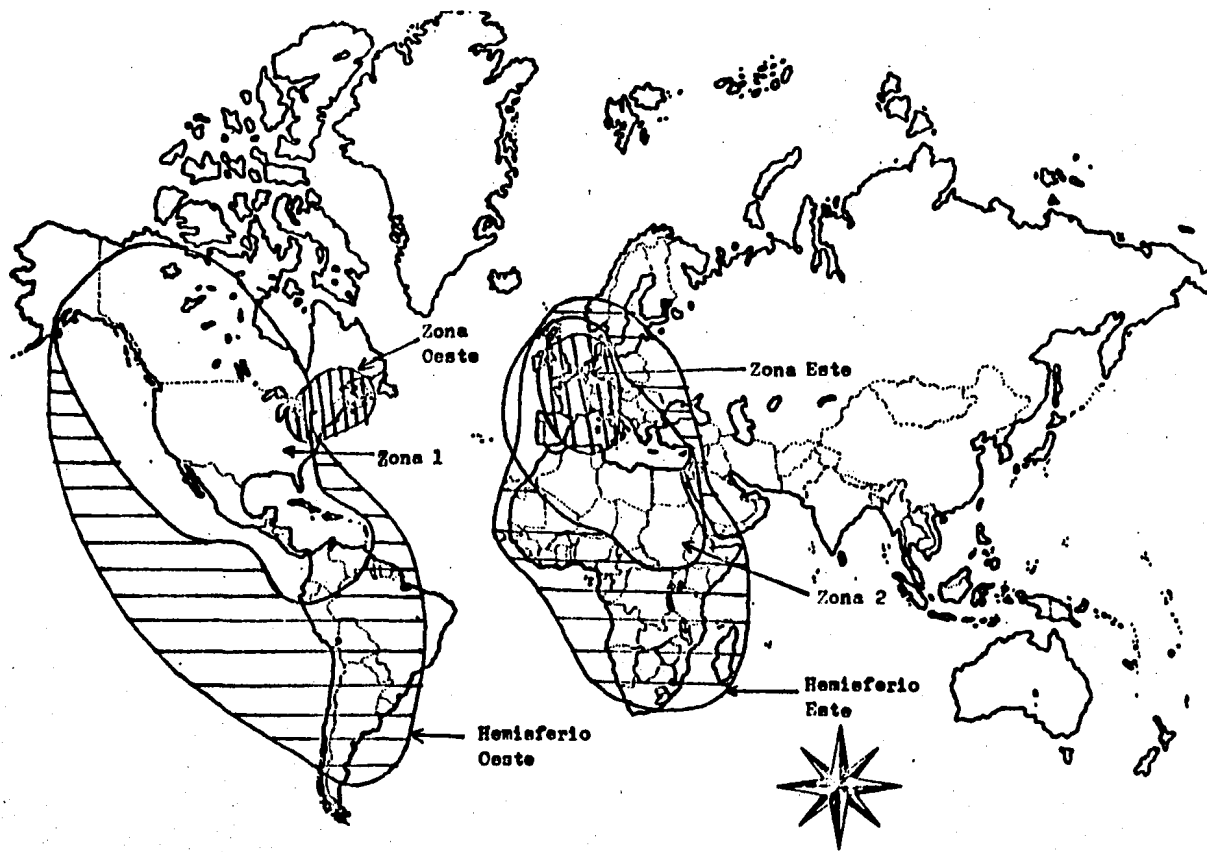
La banda de 14/11GHz (14000 MHz - 14500 MHz / - 10950 MHz - 11200 MHz y 11450 MHz - 11700 MHz)

El satélite utiliza esas bandas para cubrir diferentes áreas donde establecerá la comunicación.

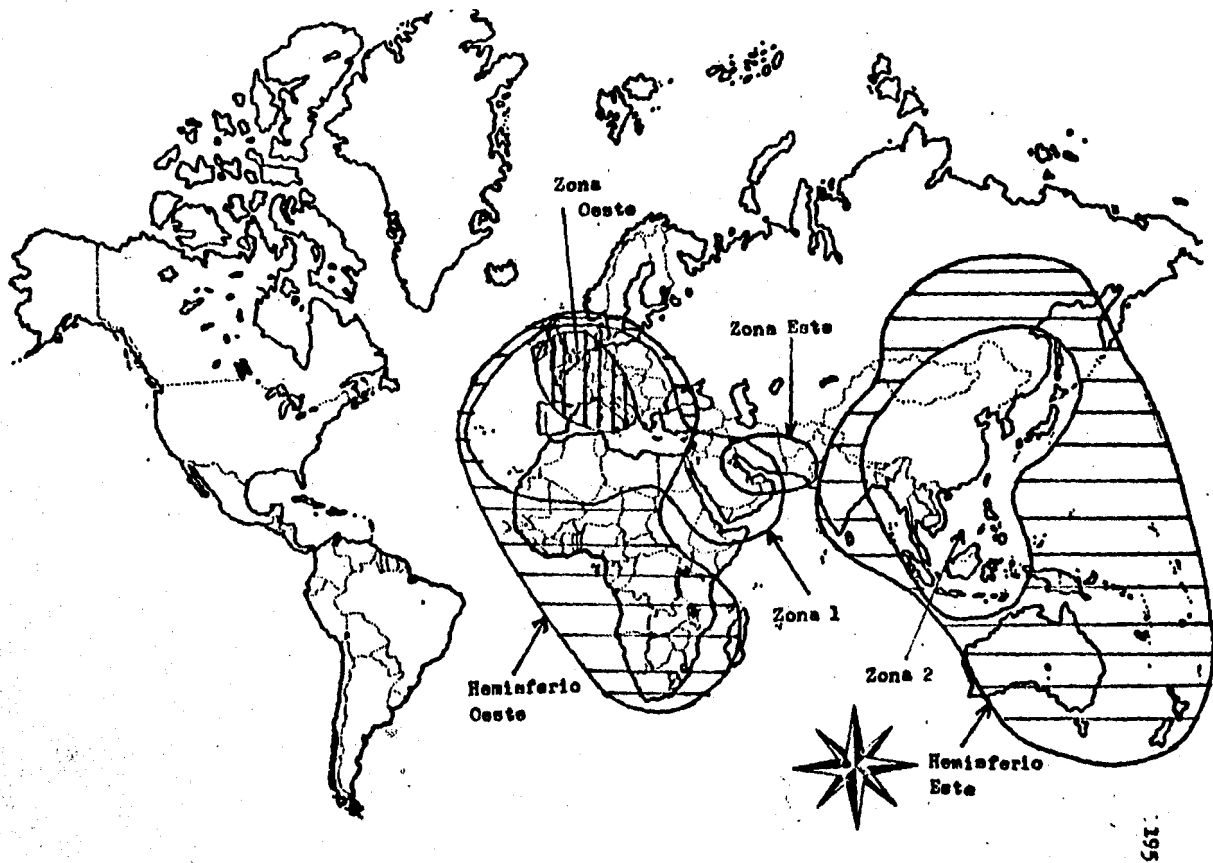
En la frecuencia 6/4 GHz tiene 5 áreas a cubrir y en 14/11 GHz tiene 2 áreas. Las bandas de frecuencia deben cubrir ciertas áreas y lo hacen de acuerdo a un cierto tipo de polarización.

El siguiente cuadro muestra de acuerdo a la región donde opera el satélite su respectiva polarización.

Banda	Cobertura	Uplink	Downlink
6/4 GHz	Global	Circular Izq.	Circular Der.
	Hemisferio Oeste	Circular Der.	Circular Izq.
	Hemisferio Este	Circular Izq.	Circular Der.
	Zona 1	Circular Der.	Circular Izq.
	Zona 2	Circular Der.	Circular Izq.
14/11 GHz	Zona Este	Lineal	Lineal
	Zona Oeste	Lineal	Lineal



Región Océano Atlántico



Region Oceano Indico

7) TIPOS DE MODULACION Y ACCESO MULTIPLE UTILIZADOS EN LA COMUNI - CACION VIA SATELITE

7.1) MODULACION EN FRECUENCIA

La modulación en frecuencia tiene como característica en que la amplitud de la señal portadora modulada se mantiene constante y la frecuencia varia de acuerdo a las variaciones que se presenta en la señal de información que es la señal modulante.

En la modulación en frecuencia se llega a presentar la desviación en frecuencia (Δf) que es proporcional a la amplitud de la señal modulante, teniendo en cuenta que las oscilaciones que se presentan son $f_c - \Delta f, f_c + \Delta f$.

Teniendo en consideración que el ancho de banda que se maneja en FM es de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$B = 2 (f_m + \Delta f)$$

f_m : frecuencia de la señal modulante o señal de información.

Δf : desviación de frecuencia

De acuerdo al uso de FM se tienen ventajas -

y desventajas como se mencionan a continuación:

VENTAJAS

- 1) Los amplificadores manejan potencia constante.
- 2) Hay un incremento en la relación señal ruido en FM.

Para esto hay dos razones:

La primera es que hay menor presencia de ruido en FM.

La segunda es que los receptores FM pueden -- ser ajustados teniendo en consideración el uso de limitadores de amplitud para así eliminar las variaciones de la amplitud causadas por el ruido.

- 3) Es posible reducir el ruido teniendo en consideración el incremento de la desviación.

DESVENTAJAS

- 1) Los canales en FM requieren un mayor ancho de banda
- 2) El equipo transmisor y receptor en FM tienden a ser más complejos. Para el proceso de modulación y demodulación son más caros.
- 3) Se debe tener una buena calidad en el demodulador de FM para poder captar una buena C/N y tener a la salida del demodulador - una S/N que sea proporcional a C/N para - así reducir posibles interferencias.

Para esto se requiere de un margen de funcionamiento conocido como margen de umbral donde éste es la diferencia entre el C/N del punto de operación nominal y el nivel operación conocido como nivel de entrada.

7.2) MODULACION EN BANDA LATERAL UNICA (BLU) O (SSB).

La transmisión de banda lateral única es sencilla y tiene la ventaja de una gran economía en el ancho de banda.

Se requiere aprovechar al máximo el ancho de banda de un canal de transmisión, la banda lateral única (BLU) utilizará un ancho de banda igual al de la información lo que significa el espacio ocupado es mínimo con esto es posible que otras señales compartan el canal usando frecuencias diferentes y teniendo una economía en la potencia de transmisión.

Se pueden producir interferencias cuando las señales están distribuidas en un ancho de banda determinado. Puede presentarse el caso de que se tenga la necesidad de la sincronización en la comunicación, cuando se llega a presentar este caso lo que se necesita es emplear una frecuencia de referencia tanto en el sistema de transmisión y recepción conocida también como frecuencia piloto.

Por medio de esta frecuencia piloto se puede

llegar a usar para la traslación de un espectro de frecuencias o cambio en la fase que se presentan en la transmisión de varios canales de información.

La frecuencia piloto nos es útil como señal de control ya que cuando la señal de transmisión llega al receptor, la señal piloto activa al oscilador del receptor - para generar la frecuencia portadora que se usa en la transmisión y pueda realizarse la demodulación correspondiente ya que la señal piloto actúa como referencia de frecuencia y fase en la portadora.

El error que se llega a presentar es la distorsión provocada por un desplazamiento en la fase pero que - generalmente no es muy grave en la comunicación de voz debido a que el oído humano es relativamente poco sensible a - las distorsiones de fase, ésta distorsión cambia la calidad de la voz pero aún así ésta sigue siendo aún inteligible.

7.3) MODULACION DE PULSOS CODIFICADOS (PCM)

La manera de realizar una transmisión de una señal analógica en forma digital se puede realizar por PCM y se debe de considerar el siguiente teorema de muestreo - que dice lo siguiente:

Una señal analógica de ancho de banda "B" puede representarse mediante muestras instantaneas si la frecuencia de muestreo cumple con la siguiente condición:

$$f_s \geq 2B$$

Cuando se tiene el muestreo lo que se representa es que la señal sólo está presente a intervalos regulares de tiempo, el muestreo se efectúa por medio de pulsos muy angostos de duración finita " δ " y repetidos cada "T" segundos considerando que el muestreo se realiza a un intervalo $T \leq \frac{1}{2B}$

Para realizar el muestreo se requiere limitar el ancho de banda para esto se utiliza un filtro paso bajas.

Al ser muestreada la señal se transforma en una serie de pulsos que contienen la información de amplitud en el momento en que se tomo la muestra.

Los valores muestreados son aproximados a valores discretos de manera determinada a esto se le conoce como cuantificación.

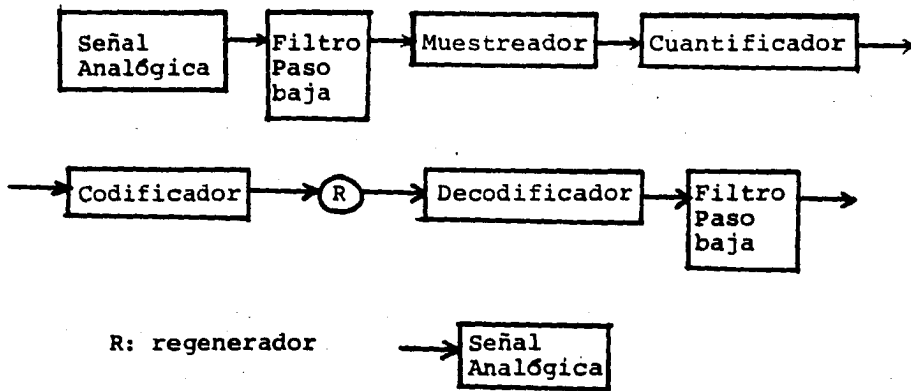
Cada valor discreto puede ser representado - de acuerdo al uso de un código digital que en este caso el código usado por PCM es el código BCD (Binary Code Digital).

Para tener la conversión de las muestras cuantificadas a una muestra que se represente a manera de pulso digital se requiere el uso de un codificador.

Cuando la señal PCM se envia por un medio de transmisión se puede presentar una alteración de la señal PCM debido a las características del medio y del ruido. Para esto se necesitan repetidores regenerativos que reciben la señal PCM distorsionada y la regeneran nuevamente sin distorsión y la vuelven a transmitir. El receptor PCM actua de manera inversa al transmisor, la señal PCM es de codificada en el decodificador para tener así la amplitud

de los pulsos teniendo con esto la manera de reconstruir la señal analógica.

Se puede ilustrar a continuación un diagrama de bloques del sistema PCM.



Se muestran a continuación las ventajas y -- desventajas que se presentan en PCM.

Ventajas:

- 1) Tiene la ventaja de eliminar ruido
- 2) Un pulso se puede regenerar más facilmente que una onda analógica.

- 3) Si se tiene un pulso cuya potencia sea - de 10^{-9} watts este puede ser detectado.
- 4) Se pueden regenerar los pulsos y eliminar los ruidos.
- 5) Se presenta un menor costo en un sistema PCM en comparación con otros sistemas -- que no son PCM.
- 6) Se requiere un menor tamaño en el equipo PCM.
- 7) El consumo de energía es menor que otros sistemas como PAM y PPM.
- 8) Se requiere solamente equipo terminal.
- 9) Se usan dispositivos de estado sólido
- 10) Se requiere el uso de un repetidor regenerativo de pulsos como amplificadores - ya que permite una alta calidad en la -- transmisión. Con la ayuda del código re generativo se elimina el ruido y distorsión que se presenta en la señal PCM.

DESVENTAJAS:

- 1) Existe ruido de cuantificación y se debe al proceso de cuantificación que hay en la señal.

2) Hay interferencia entre símbolos.

Esto se debe a la generación de pulsos - exactamente rectangulares y su distorsión causada por los circuitos del receptor.

7.4) MODULACION DE MANIPULACION POR CORRIMIENTO -
DE FASE (PSK) Y SUS VARIANTES.

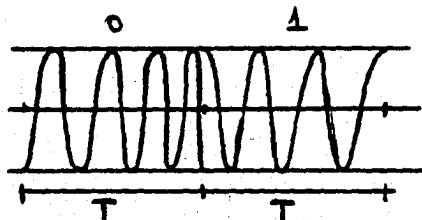
Este tipo de modulación se realiza modulando la portadora con información digital, se pueden transmitir señales digitales mediante manipulación por desplazamiento de fase de 2, 4, 8 o más niveles.

En un sistema de dos fases, se usa una fase de la portadora para representar un estado binario y otra fase a 180° de la primera para el otro estado binario.

Se considera que la señal de manipulación -- por corrimiento de fase está dada por:

$$f_c(t) = \pm \cos \omega_c t$$

Considerando que se realiza la modulación -- PSK de acuerdo a una serie de pulsos (1,0) como señales binarias, donde la señal binaria (0) corresponde a la polaridad negativa, la señal binaria (1) corresponde a la polaridad positiva.



Las señales binarias pueden definirse de acuerdo a la ley de: $M = 2^n$ siendo "M" el número de símbolos y "n" el número de dígitos binarios.

Esta relación nos trata de indicar que si se tienen "n" números de dígitos binarios combinados de alguna manera nos formaran un símbolo apropiado que es el que deseamos transmitir considerando a éste como "M".

Si tomamos como ejemplo a $n=2$, $M=4$ teniendo este arreglo tenemos 4 símbolos representando 2 bits como un símbolo.

0	0	
0	1	$M = 4$
1	0	
1	1	
		$n=2$

De acuerdo a la modulación PSK, existen 2 fases y 1bit/símbolo donde el ancho de banda se define como:

$$B_T = 2B$$

siendo este el ancho de banda de transmisión.

La característica de PSK es que se requiere detección sincrona ya que la señal envolvente es constante.

VARIANTES EN LA SEÑAL PSK

Las variantes que se pueden presentar son debido a los sistemas que tienen combinaciones sucesivas de señales binarias para formar señales binarias más largas.

a) Modulación 4 PSK ó QPSK.

Se requieren $n=2$ bits/símbolo teniendo $M = 4$ niveles lógicos.

Donde se define que el ancho de banda es

$$B_T^b = \frac{1}{2} B_T^b$$

siendo B_T^b el ancho de banda base para la transmisión, de acuerdo al espectro que se maneja este ancho de banda base se define como:

$$B_T^b = 2 B$$

B: banda base de la señal muestreada

En 4 PSK se requiere de la misma potencia -- pero la mitad del ancho de banda que en PSK para la calidad de funcionamiento del enlace determinado.

b) Modulación 16 PSK ó QAM.

La señal QAM se puede llegar a representar por medio de $n = 4$ bits/símbolo y teniendo $M = 16$ niveles lógicos o símbolos. La representación de la señal QAM es por medio de:

$$S_i(t) = r_i \cos(\omega_c t + \theta_i)$$

siendo " r_i " la amplitud y " θ_i " el ángulo de fase de acuerdo al arreglo de los símbolos.

El ancho de banda para una señal QAM viene expresada como:

$$B_T^{QAM} = \frac{1}{2} B_T^b$$

Los sistemas de manipulación por desplazamiento de fase de orden más elevado (más de cuatro fases) son más sensibles al ruido y por lo tanto requieren una potencia mayor que los sistemas de dos o cuatro fases si se quiere alcanzar el mismo nivel de calidad de funcionamiento.

7.5) MULTICANALIZACION POR DIVISION DE FRECUENCIA
(FDM)

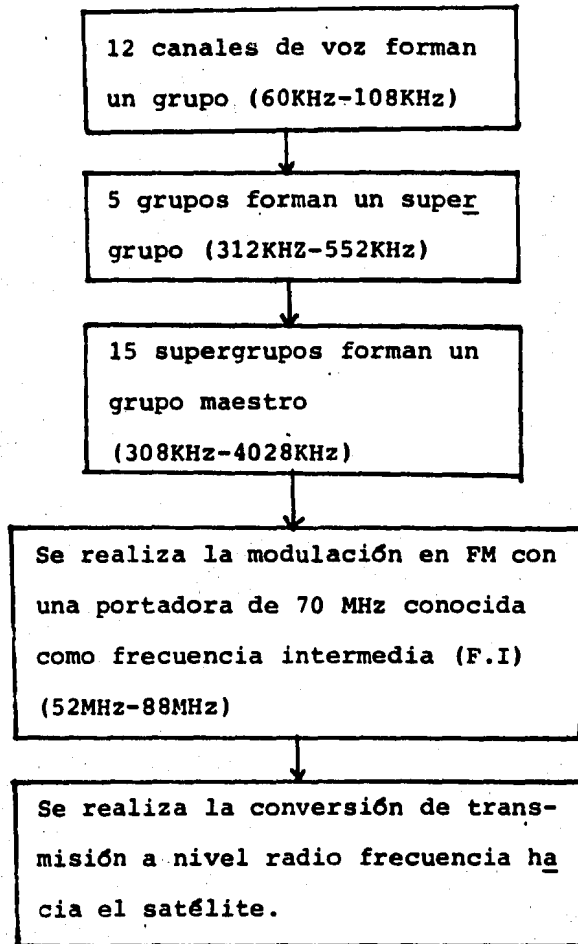
Si se realiza la transmisión de una sola señal cuyo ancho de banda es finito y pequeño comparado con el ancho de banda del canal que se desea transmitir no se tiene una óptima capacidad de transmisión.

Para aprovechar la gran capacidad del canal de transmisión lo podemos hacer mediante la traslación del espectro de frecuencia de las diferentes señales para que ocupen diferentes anchos de banda sin traslaparse mediante el empleo de la modulación ya que así podemos transmitir simultáneamente por un canal un gran número de señales.

Cuando el canal de comunicación llega al receptor se separan las diferentes señales mediante filtros apropiados sin embargo el espectro de cada señal así separados no representan la señal original ya que ha sufrido una traslación de frecuencia.

En FDM el ancho de banda de transmisión se incrementa en proporción al número de señales multicanalizadas.

La manera de agrupar las señales de información están de acuerdo a la siguiente organización considerando la norma CCITT.



7.6) MULTICANALIZACION POR DISTRIBUCION EN EL TIEMP
PO (TDM)

Podemos transmitir la información de manera completa partiendo de una señal continua $f(t)$ limitando su ancho de banda y transmitiendo solamente las muestras de la señal $f(t)$ a intervalos regulares.

Cuando deseamos transmitir un determinado numero de muestras estas ocupan un canal de transmisión durante un intervalo de tiempo determinado a esto se le conoce como multicanalización por distribución en el tiempo.

Las muestras de la señal de información tiene una banda limitada y la rapidez del muestreo no debe -- ser menor a " $2f_m$ " (muestras/segundo) siendo " f_m " la frecuencia de la señal de información, este muestreo es mínimo.

Considerando el muestreo realizado se debe - de considerar una separación entre una muestra y otra para evitar un traslape, en la multicanalización por distribución en el tiempo las muestras de las diferentes señales - se encuentran separadas por diferentes intervalos de tiempo llamados tiempos de guarda.

Para la multicanalización por distribución - en el tiempo se transmiten "n" señales continuas.

De acuerdo al teorema de muestreo se realiza a " $2n f_m$ " (muestras/segundo) definiendo el ancho de banda " $n f_m$ " (Hz) para transmitir el muestreo.

Para nuestro interés se usa la modulación - PCM pero también se tiene conocimiento de la modulación -- por amplitud de pulso (PAM), la modulación por duración de pulso (PDM) y la modulación por posición de pulso (PPM).

7.7) ACCESO MULTIPLE

Por acceso múltiple se entiende la posibilidad ofrecida a un gran número de estaciones terrenas de interconectar simultáneamente sus respectivos enlaces de transmisión a través de un mismo satélite. Esta posibilidad es importante en los sistemas de satélites a causa de la gran zona que pueden cubrir las antenas del satélite, la transmisión de una estación terrena se puede recibir en muchos y diferentes lugares.

El satélite de un sistema del servicio fijo por satélite actúa de estación relevadora y es un punto nodal en los circuitos con las estaciones terrenas. Contendrá una o más cadenas de repetidores (transponders), cada uno con capacidad para la traslación de frecuencias, la amplificación y la retransmisión de las señales recibidas de las estaciones terrenas del sistema.

El número de cadenas de repetidores en un satélite depende del sistema de que se trate.

La importancia del acceso múltiple es que el ancho de banda del transponder es mayor del que requieren

las estaciones terrenas para su uso particular. Por lo tanto para aprovechar plenamente la capacidad del transponder se permite el acceso a más de una estación terrena realizando las transmisiones a uno o más destinos.

Hay que hacer notar que el acceso múltiple y la modulación son dos conceptos diferentes.

El acceso múltiple es fundamentalmente una peculiaridad del tráfico mientras que la modulación es esencialmente una característica de transmisión.

No hay ningún sistema de acceso múltiple que por sí sólo responda a todas las necesidades que pueden aparecer en la explotación de un sistema. Se observará que la configuración óptima de la red, en la mayoría de los casos, comprende varias técnicas distintas de acceso múltiple.

En general, habrá que tratar la optimización de los parámetros que seguidamente se relacionan para sistemas representativos:

- a) Capacidad
- b) Uso eficaz del espectro de radiofrecuencias

- c) Utilización eficiente de la potencia radiada por los satélites.
- d) Capacidad de interconexión requerida
- e) Facilidad de adaptación a los cambios de tráfico y de red.
- f) Facilidad de despacho de diversos tipos de tráfico
- g) Problemas del interfaz con conexiones terrenales
- h) Viabilidad económica

Según sea el sistema de acceso múltiple, el equipo terminal puede ser más o menos sofisticados. En su forma más simple, consistiría únicamente en una conexión - por cable para el paso de la señal de la banda base a una cadena particular de transmisión.

Un equipo terminal más complicado tiene que realizar las siguientes funciones:

- a) Interfaz con la red terrenal
- b) Inserción y extracción de la información
- c) En los sistemas digitales, actuar como - memoria intermedia para efectuar las variaciones de temporización y las conver-

siones de velocidad de transmisión de - bits.

- e) Asociar las ráfagas de información a determinadas cadenas de transmisión (por ejemplo sistema TDMA).

Por el mismo transponder de un satélite pasan muchas y diferentes señales transmitidas. Teóricamente cada señal transmitida tendría que tener una estructura:

- a) Que permitiera al receptor separarla de la señal compleja transmitida a través del transponder.
- b) Que la hiciera interferir lo menos posible en la recepción de las otras señales.

Se pueden identificar dos categorías técnicas de acceso múltiple. La primera comprende las técnicas en que las señales no se interfieren las unas con las otras.

Las señales transmitidas al satélite son ortogonales de tal manera que en un canal ideal la detección de una señal excluiría automáticamente a las demás.

Son técnicas que utilizan señales no interferentes entre sí, la técnica de acceso múltiple por distribución de frecuencia (FDMA) y la de acceso múltiple por distribución en el tiempo (TDMA). Para las telecomunicaciones en general se prefieren los sistemas de acceso múltiple con señales no interferentes son por naturaleza más eficaces en el aprovechamiento del ancho de banda disponible. Un elemento restrictivo de diseño importante es la limitada potencia disponible a bordo del satélite. Es conveniente que el amplificador de potencia del satélite trabaje lo más cerca posible del punto de saturación.

Analogamente es a menudo deseable que el amplificador de potencia de la estación terrena transmisora - funcione también cerca de su punto de saturación de potencia de salida.

Es un sistema de múltiples portadoras se necesita del punto de trabajo respecto al de saturación para - mantener la distorsión de intermodulación a un nivel bajo.

7.8) ACCESO MULTIPLE POR DISTRIBUCION DE FRECUENCIA (FDMA)

Este tipo de acceso consiste en el ancho de banda que dispone el transponder se divide en un determinado número de bandas de frecuencias sin ningún traslape y - el tráfico que capta el satélite lo acomoda en sus respectivas bandas de frecuencia de acuerdo al ancho de banda -- que tenga asignado una estación terrena para su transmisión.

Un satélite contiene un número de transponders que cubren un ancho de banda de 500 MHz, siendo este dividido de tal manera que utilizando 12 transponders, a cada uno de estos le corresponden 36 MHz de ancho de banda para así poder acomodar la información que envía cada estación terrena. Si se tiene un transponder de 36 MHz, 14 estaciones terrenas tienen acceso de acuerdo a FDMA donde se consideran 24 canales de voz de acuerdo al plan de distribución de canales del CCITT realizando de esta forma la transmisión al satélite.

La técnica FDMA se ha empleado en los sistemas de satélites de comunicación comercial donde los satélites han sido limitados en potencia.

En FDMA, el satélite actúa como un repetidor teniendo dispositivos no lineales para la etapa de amplificación y transmisión como es el caso del ATOP.

La utilización del ATOP o de otros amplificadores de potencia en el punto de saturación causa diferentes clases de distorsiones de transmisión que hay que tomar en consideración al diseñar un sistema de acceso múltiple por distribución en frecuencia.

Según el tipo de modulación habrá que optimizar los parámetros de explotación del repetidor del satélite para reducir al mínimo los productos de intermodulación, la diafonía inteligible y cualquier otro efecto interferente causado por las faltas de linealidad de amplitud y de fase del repetidor.

Esas distorsiones hay que mantenerlas dentro de los límites deseados, haciendo trabajar al ATOP con la mínima reducción de potencia de entrada respecto al punto de saturación necesaria para obtener los objetivos de calidad deseados.

La potencia del satélite debe ser distribuida entre todas las portadoras y esto requiere un estricto

control de la potencia del transmisor en la estación terre
na.

La potencia transmitida por una estación te-
rrena depende del número de canales telefónicos que modu-
lan la portadora.

Para conseguir que todas las portadoras lle-
guen al repetidor con potencias relativas apropiadas, es -
preciso controlar, en la explotación con múltiples portado-
ras, la potencia de cada una de las portadoras transmiti--
das por cada estación terrena.

En las bandas de frecuencias por encima de -
10 GHz pueden ser grande el desvanecimiento debido a las -
precipitaciones y por lo tanto hay que usar técnicas de --
control de potencia para lograr la estabilidad de la poten-
cia de entrada que se necesita en el satélite.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN FDMA

La característica que se tiene en FDMA es la
siguiente:

Las señales tienen una protección constante

y tienen un espectro de frecuencia con el fin de evitar a que se traslapen las señales en la entrada del satélite -- constituyendo los canales de acceso.

La demodulación de acceso múltiple está adaptada por un filtro sintonizado para la selección de la banda de frecuencia.

VENTAJAS

FDMA hace que se use la tecnología existente y el hardware para que se tenga una más grande extensión - que otras técnicas.

La sincronización en el sistema no es necesario y el satélite puede proceder en forma simple.

DESVENTAJAS

A más de que se presente una señal en el satélite en un tiempo determinado, se produce un ruido de intermodulación en el cual se reduce la potencia de salida - disponible en el satélite.

El problema que se presenta es que existen - diferentes densidades de potencia en el espectro en diferentes regiones de la banda del satélite que puede ser diff cil de operar con la sensibilidad en varias estaciones terrenas cuando reciben la señal del satélite.

Se debe de coordinar la potencia ascendente para hacer un uso completo de la capacidad del satélite.

ACCESO MULTIPLE POR DISTRIBUCION EN EL TIEMP
PO (TDMA).

El TDMA es una técnica de acceso múltiple -- donde las estaciones se comunican entre sí sin que se traslapen las ráfagas transmitidas a través de un repetidor de satélite.

Las señales de banda base pueden ser de mu-- chos tipos, pero hay que convertirlas en señales digitales antes de la modulación.

En TDMA es singularmente adecuado para la -- transmisión de señales digitales como telefonía (TDM-PCM) (modulación por distribución en el tiempo, modulación por - pulsos codificados) o las señales de datos.

El TDMA se ha usado en diversos sistemas por ejemplo en el sistema SPADE y MARISAT para los canales de señalización y de información de acceso.

La técnica a usar es que diversas estaciones terrenas hacen uso de un transponder común del satélite y las señales que se transmiten son ráfagas de las señales

portadoras en los cuales llegan al transponder del satélite de modo que no se traslapen.

Actualmente se prevee emplear el TDMA en muchos sistemas de satélite y se considera que la introducción de la conmutación en el satélite (TDMA-CS) junto con el empleo de haces múltiples de cobertura restringida constituye un paso más hacia la realización de satélites de mayor capacidad.

En la figura 1 se muestra una posible organización de las ráfagas para un sistema (TDMA-CS).

Se han contemplado también otras soluciones por ejemplo, sustituir la matriz de conmutación por la exploración de ciertos números de haces estrechos del satélite que iluminen la estación terrena únicamente mientras duren las ráfagas transmitidas y recibidas.

La conveniencia de la transmisión digital es aún mayor cuando se utiliza junto con técnicas de acceso múltiple y de interpolación digital de conversaciones.

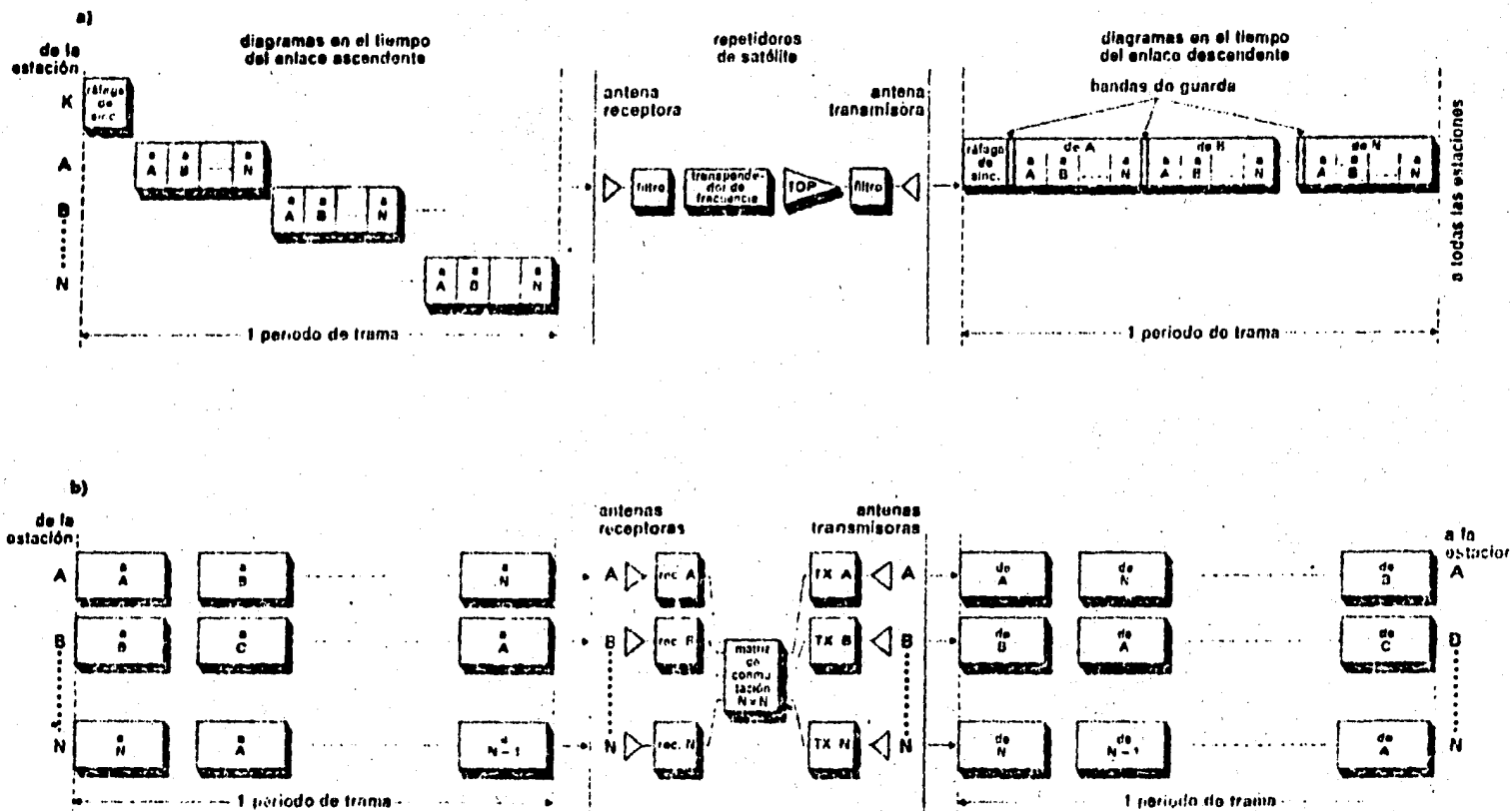


FIGURA 1. a) TDMA . b) TDMA - CS

En el acceso múltiple por división en el -- tiempo (TDMA) o (AMDT) cada estación utiliza parte del - tiempo disponible en un canal de transmisión y el formato de la señal completa contiene ráfagas de transmisión no su perpuestas.

Cada estación genera su ráfaga a una veloci-
dad binaria.

Se caracteriza TDMA por las duraciones de la trama y del intervalo elemental (ver figura 2). El intervalo elemental atribuido a una estación terrena consiste - en un tiempo de guarda, un preámbulo y la información que se ha de transmitir.

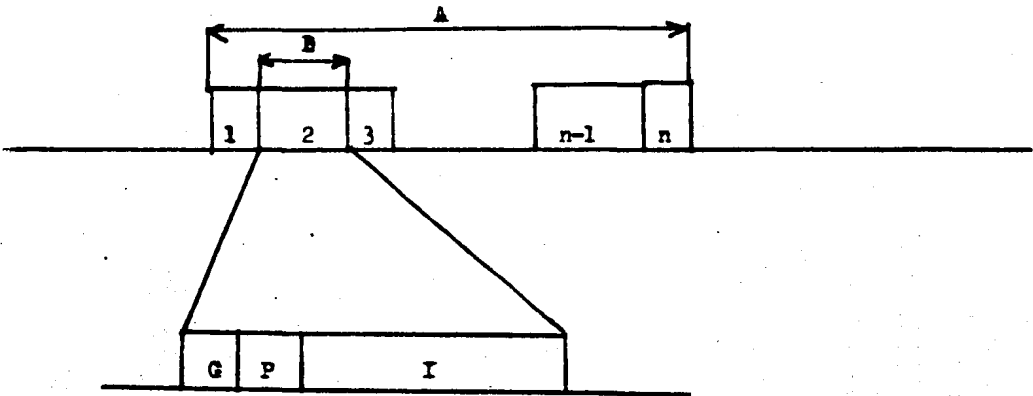


Figura 2.- Formato de un sistema de acceso múltiple por distribución en el tiempo .

- A:** Duración de la trama .
- B:** Intervalo de tiempo elemental asignado a una estación terrena : dentro del intervalo elemental la estación terrena transmite información en forma de ráfagas de impulsos .
- G:** Tiempo de guarda entre las emisiones sucesivas de las estaciones terrenas .
- P:** Preámbulo que contiene la información complementaria necesaria para la organización del sistema .
- I:** Información .

El preámbulo contiene información auxiliar - para la organización del sistema como la información de -- sincronización y el encaminamiento.

La duración del tiempo de guarda y del preámbulo depende en gran medida del principio que rige la organización del sistema.

El mensaje está constituido por cierto número de unidades básicas de canal. Una unidad básica de canal es una muestra codificada de un canal telefónico o una señal digital de banda base.

En un sistema de servicio fijo por satélite con TDMA, a cada estación terrena participante se le puede asignar un intervalo de tiempo. Una secuencia completa de transmisiones de una estación terrena constituye la duración de la trama.

Los intervalos elementales de las diferentes estaciones terrenas pueden diferir por su duración, según el volumen de tráfico que se ha de transmitir.

La duración de la trama está limitada por el

retardo máximo de transmisión admisible.

El receptor de la estación terrena identifica la transmisión deseada observando la información en los intervalos elementales que se presentan periódicamente pertenecientes a la estación terrena correspondiente.

Los requisitos del preámbulo originan en los sistemas TDMA una disminución de la capacidad telefónica - disponible, de manera que la eficacia de trama definida - como la fracción utilizable de la capacidad de la trama, de crece al aumentar el número de las estaciones del sistema.

Un método conveniente para limitar esta pérdida de eficacia, consiste en alargar la duración de la tra ma usando circuito de memoria intermedia. Este método de operación, denominado "multitrama" es tanto más ventajoso cuanto mayores son el número de estaciones por trama y la longitud del preámbulo por estación.

Otra posibilidad es un sistema que emplee una sincronización entre los intervalos elementales atribuidos a una estación terrena determinada lo que permite preámbulos más cortos y esto a su vez una mayor eficacia de la tra

ma. La eficacia de la trama aumenta, por lo general, cuando crece la longitud de la trama de TDMA, según se ve en la figura 3. El punto en que este crecimiento se hace insignificante depende la longitud del preámbulo y del número de estaciones del sistema.

En la práctica, la longitud óptima de la trama TDMA para un sistema dado, estará determinado por las condiciones de explotación y por las exigencias del equipo del segmento terreno, tanto como por la necesidad de tener una gran eficacia de trama.

Se debe de alguna forma poder controlar la comunicación en el sistema TDMA para esto se considera una señal que tenga como base un tiempo de referencia.

Esta señal de referencia de trama suele tener su origen en una estación terrena seleccionada y es retransmitida por el satélite a las otras estaciones terrenas.

La forma de poder transmitir la información al satélite es la siguiente: Una estación terrena actúa como referencia y transmite ráfagas en forma periódica sin perder el contacto con el control que se tiene para reali-

zar en enlace. Las otras estaciones terrenas que forman parte de todo el sistema de comunicaciones usan también el control para mantener una sincronización a través del satélite para poder colocar la ráfaga que se ha de transmitir con el tiempo que se ha de asignar.

En el sistema TDMA de INTELSAT, una ráfaga de sincronización actúa como referencia sin tener información y ésta es radiada por una estación terrena en el cuál en forma subsecuente envía después la ráfaga de datos en forma normal.

Si por alguna razón, esta estación de referencia falla en el momento de transmitir la ráfaga de sincronización, una estación asume automáticamente la responsabilidad de ser la referencia en el sistema y coloca una ráfaga de sincronización en el mismo lugar de tiempo de acuerdo al TDMA.

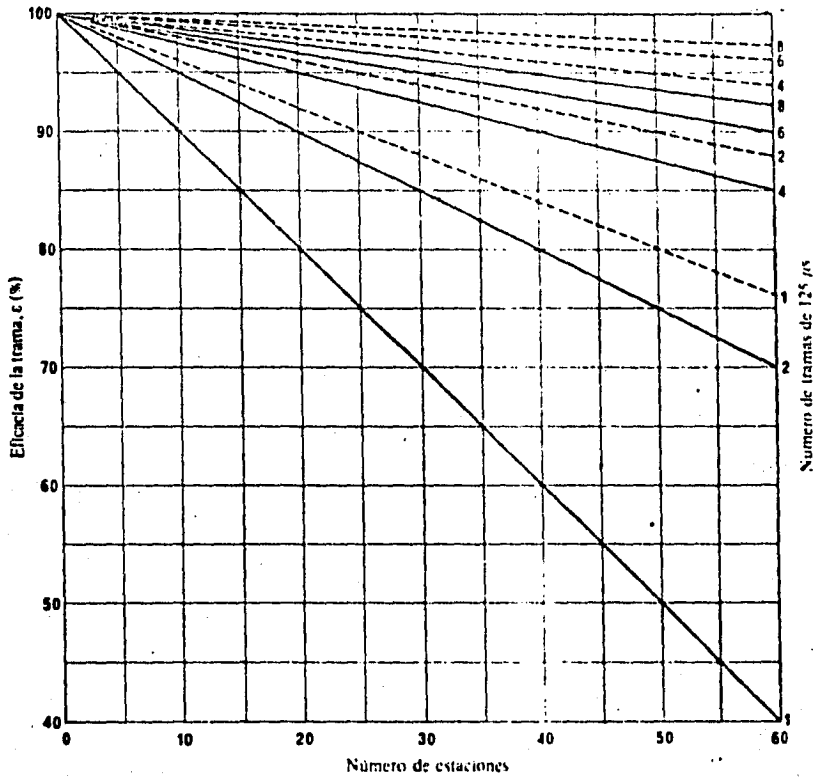


FIGURA 3 - Eficacia de la trama en los sistemas TDMA

- Longitud del preámbulo 40 símbolos (80 bits)
(funcionamiento asincrónico de los relojes)
- - - Longitud del preámbulo 16 símbolos (32 bits)
(funcionamiento coherente de los relojes)

CAPACIDAD DE CANAL TDMA

La capacidad nominal de un transponder de sa
télite usando TDMA se puede aproximar bajo la siguiente ex-
presión:

$$R_b = W + B - C_w$$

R_b : la proporción de bits cuando se realiza
 el enlace de transmisión al satélite --
 (caso de banda limitada) (dB).

W : Ancho de banda del transponder en el sa
télite.

B : Proporción de la razón bit a razón sím-
 bolo.

(1 para 2 fases PSK, 2 para 4 fases PSK,
 3 para 8 fases PSK).

C_w : Proporción del ancho de banda del trans
ponder en relación a los posibles símbo-
los en banda limitada a través del trans
ponder (valor típico 1.2).

Si el canal del satélite esta limitado en po
tencia en el enlace descendente la ecuación es:

$$R_p = e.i.r.p - P_L + G/T - K - E_b/N_o - M$$

R_p : Proporción de bits en el enlace de transmisión al satélite (dB) (caso de potencia limitada).

e.i.r.p : Potencia radiada isotropicamente - equivalente del satélite por transponder.

P_L : Pérdidas en el enlace descendente.

G/T: Proporción ganancia/temperatura de la estación terrena receptora.

K : Constante de Boltzman (-228.6 dBW/Hz °K)

E_b/N_o : Relación de la energía por bit transmitido a la densidad de potencia de ruido, en la probabilidad de error de bit de 1×10^{-4} (8.4 dB para 4 fases PSK).

M : Margen del sistema total.

La capacidad del canal de voz, de un sistema TDMA usando codificación digital de voz puede ser expresado como:

$$C = \frac{1}{V} \left(R - \frac{NP}{T} \right)$$

- R : Proporción de bits en el enlace de transmisión al satélite.
- V : Proporción de bits para un canal de voz
- N : Número de ráfagas en un formato (trama)
- P : Número de bits en el preámbulo
- T : Periodo del formato (trama)

VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN TDMA

En los sistemas de telecomunicación por satélite se orienta también el empleo de técnicas digitales -- como también el sistema FDMA.

VENTAJAS

- a) Mayor eficacia de utilización del espectro
- b) Economía, merced a un empleo más adecuado del ancho de banda y la potencia del satélite.
- c) Mayor flexibilidad

Las comunicaciones digitales por satélite proporcionarán más del doble de la capacidad de comunicaciones en comparación

con los sistemas FDM-FM-FDMA que utilizan el mismo ancho de banda.

- d) No hay distribución de la potencia y no ocurre el efecto de intermodulación ya que se presenta el acceso de una sola portadora.
- e) Una estación que necesita un cambio del número de canales transmitidos lo único que tienen que hacer es modificar la longitud de las ráfagas.
- f) Algunos de los sistemas TDMA que estamos considerando están provistos de dispositivos para efectuar el sincronismo con un reloj, lo que aminora la necesidad de bits complementarios para la reconstitución de las señales de base de tiempo. Naturalmente esto acrecienta también la eficacia de la trama.
- g) En lo que a tráfico se refiere, los sistemas TDMA tiene mayor flexibilidad que los sistemas FDMA. La transmisión de una ráfaga se hace a la velocidad de bits del sistema TDMA de que se trate.

DESVENTAJAS

- a) En los sistemas de TDMA, el aumento del número de accesos sólo da lugar a una pequeña reducción del número de canales vocales debido al aumento de los tiempos de guarda y del número de preámbulos en la estructura de la trama.
- b) La duración de la trama está limitada por el retardo de transmisión máximo admisible, la duración del intervalo elemental por el número de estaciones y por el tiempo de guarda.
- c) Razones de sincronización y de temporización imponen un límite mínimo a la duración del tiempo asignado a cada estación terrena.

8) PROCESOS DE ACCESO MULTIPLE POR DISTRIBUCION EN FRECUENCIA
(FDMA) Y DISTRIBUCION EN EL TIEMPO (TDMA) .

INTRODUCCION

En el presente tema se hace una descripción - de los procesos de acceso múltiple por división en frecuencia (FDMA) y de acceso múltiple por división de tiempo - -- (TDMA). FDMA ha sido el proceso de acceso más utilizado - hasta el momento pero con la existente tendencia de establecer sistemas de comunicaciones digitales TDMA van teniendo cada vez más importancia.

8.1) UTILIZACION DEL ESPECTRO DE FRECUENCIAS

8.1.1) JERARQUIA DE LA MULTICANALIZACION POR DI VISION DE FRECUENCIA

La señal de telefonía multicanal por distribución de frecuencia, mejor conocida como señal multiplex telefónica, esta formada por la agrupación de un cierto número de comunicaciones telefónicas de voz dentro de una banda de frecuencia limitada.

El agrupamiento se logra mediante la utilización de la técnica de transposición en frecuencia con la -- cual es posible transmitir a través de un mismo enlace un -- gran número de canales telefónicos, los que en un proceso -- inverso son separados individualmente en la terminal de llegada.

Un canal telefónico ha sido normalizado por -- el CCITT en cuanto al espectro de frecuencia que ocupa y que va desde 300 Hz hasta 3400 Hz banda que se considera sufi-- ciente para transmitir una conversación telefónica sin deterioro apreciable puesto que esta banda es un compromiso entre la necesaria para transmitir todo el contenido armónico

de la voz y por lo tanto una buena inteligibilidad , por -- otra parte existe la necesidad de ocupar el espectro con el mayor número posible de canales.

La banda de 3100 Hz necesaria para una conver sación telefónica puede ser transmitida en cualquier parte del espectro de frecuencias condicionado a que en el extremo receptor una vez realizado el proceso inverso la información de un canal de voz debe estar contenido precisamente en la banda de 300 a 3400 Hz.

La transposición de frecuencia de cada uno de los canales telefónicos se efectúa empleando la técnica de banda lateral única por portadora suprimida, consiguiendo - con ésto la utilización más eficiente de la banda de transmisión puesto que se acomodan en ella una banda lateral por cada canal telefónico además de suprimir la transmisión de la portadora.

2.2 Las transposiciones están normalizadas - por el CCITT de tal manera que cualquier configuración es - integrada por agrupamientos básicos descritos a continuación;

- 1) Grupo básico
- 2) Supergrupo básico

1) Grupo Básico

Este grupo también llamado grupo primario, es un grupo conjunto de 12 canales telefónicos transpuestos en donde cada canal ocupa un ancho de banda de 4 KHZ, pero solo se utilizan 3100 Hz en el intervalo de 300 a 3400 Hz.

Estos canales de 4 KHz, se agrupan uno al lado de otro, con lo que la banda ocupada por los 12 canales será de 48 KHz.

Los canales de un grupo son todos arreglados en el mismo sentido, el que puede ser "directo" ó "inverso". En el caso del sentido directo, la frecuencia menor del espectro transpuesto corresponde a la frecuencia cero (teóricamente) y la frecuencia alta a la frecuencia de 4 KHz.

Para el sentido inverso, la frecuencia menor del espectro transpuesto corresponde a los 4KHz y la frecuencia alta corresponde a la frecuencia cero. En la figura 1 se muestran respectivamente los canales inversos y directos.

El incremento en frecuencia de voz es mostrado en forma triangular.

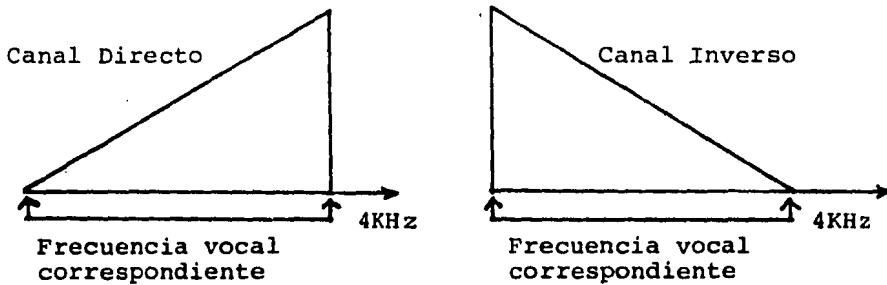


Figura 1

CANALES TELEFONICOS DIRECTO E INDIRECTO

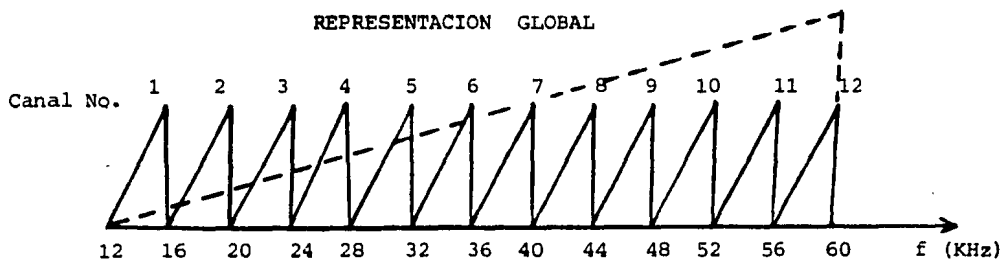
La configuración de los grupos básicos van de acuerdo a dos tipos que existen:

El grupo A que ocupa la banda de 12 a 60KHz - coloca 12 canales en sentido directo ya que solo se transmite la banda lateral superior.

El grupo B ocupa la banda de 60 a 108KHz coloca 12 canales en sentido inverso ya que solo se selecciona la banda lateral inferior.

Por medio de la figura 2 se muestra la composición de los grupos tipo A y tipo B.

REPRESENTACION GLOBAL

GRUPO BASICO TIPO A

Representación Global

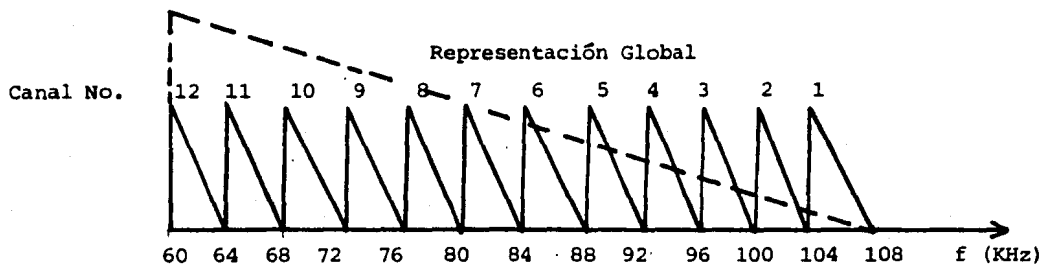
GRUPO BASICO TIPO B

Figura 2

CONFIGURACION Y POSICION DE CANALES EN LOS GRUPOS BASICOS.

2) Super grupo básico

Un super grupo básico también llamado grupo secundario consiste de un agrupamiento de cinco grupos básicos en el mismo sentido, puestos uno al lado de otro sin espacio entre los propios grupos que lo forman.

Los grupos básicos que forman un supergrupo pueden ser tipo A o tipo B. Para que se tenga un debido agrupamiento para la organización del super grupo se realiza una modulación con portadora adecuada quedando el grupo básico en sentido directo como se indica en la figura 3, for

mando un super grupo básico que ocupa una banda de 312 a 552 KHz.

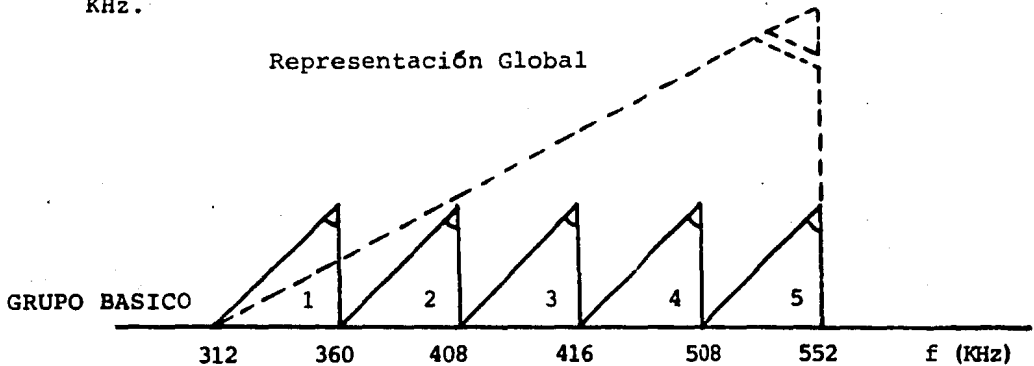


Figura 3

SUPER GRUPO BASICO

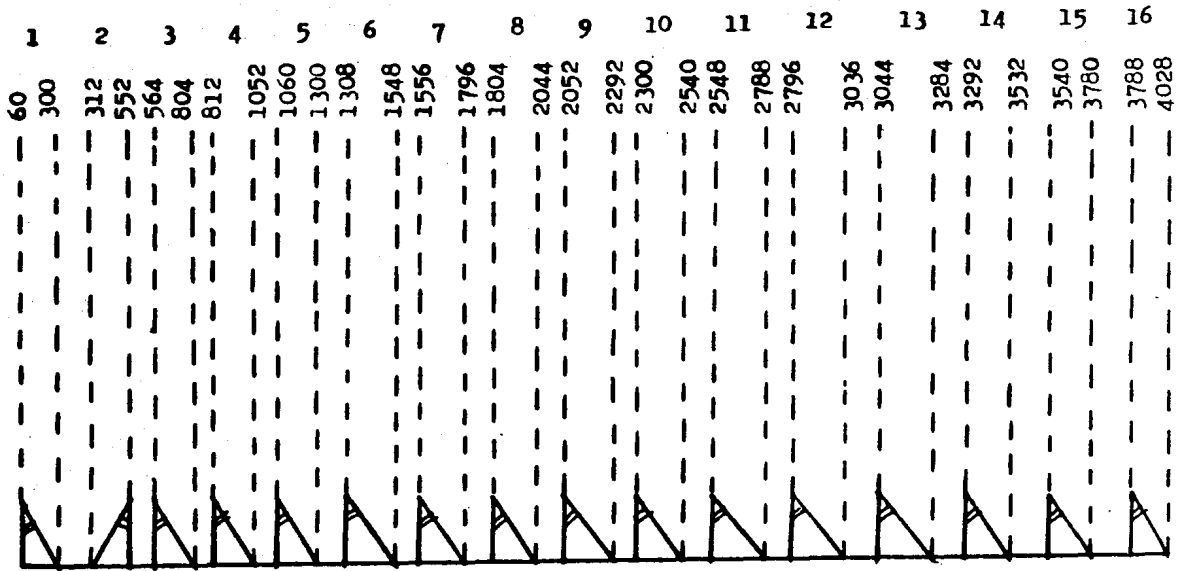
El super grupo básico es siempre directo, pero, en un agrupamiento de varios super grupos para constituir - una banda básica, todos son colocados en sentido inverso uno al lado de otro.

Una vez realizada la transposición a excepción precisamente del que ocupa la banda de 312 a 552KHz la cual es simplemente colocada en el arreglo de la banda base sin sufrir ninguna transposición, esto siempre y cuando la capacidad de la banda base sea mayor a los 120 canales.

Ciertos intervalos, son dejados libres entre los super grupos, dos son de 12 KHz y se localizan entre el primero y segundo y entre el segundo y el tercer super grupo y los otros son de 8 KHz entre todos los demás super grupos.

En los sistemas de transmisión desde 120 hasta 960 canales, los super grupos, mediante la modulación -- con una portadora adecuada se acomodan en la banda de transmisión que se muestran en la figura 4.

FIGURA 4



DISTRIBUCION DE SUPERGRUPOS EN UN SISTEMA HASTA DE 960 CANALES

En los sistemas terrestres con capacidades superiores a 960 canales generalmente se hace uso de los llamados grupos maestros, pero, serán descritos aquí por considerar que el enlace terrestre dedicado a comunicación por satélite no requiere de más capacidad en este caso particular.

En los sistemas de telefonía multicanal se -- pueden transmitir señales piloto que son señales que se mantienen a una frecuencia fija y que su función es de monitorear y controlar al sistema.

8.1.2) SEÑAL DE BANDA BASE EN LOS ENLACES POR SATELITE.

Se puede comprender que la banda base es la - que tiene la posibilidad de que varias señales moduladas -- comparten un canal de transmisión siempre que estas señales tengan un ancho de banda limitado.

Lo importante es que el canal de transmisión puede considerarse como si fuera una sola señal y modularse en consecuencia con una portadora de frecuencia más elevada.

La manera de poder establecer la capacidad de los sistemas por satélite están de acuerdo a las recomendaciones del CCITT y del CCIR.

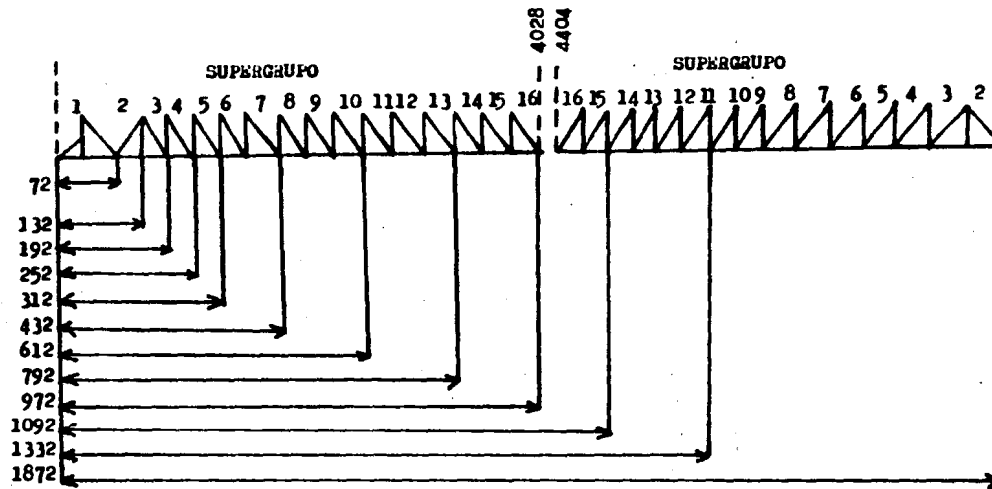
Se debe de considerar que en un sistema de modulación de frecuencia la relación de la señal a ruido es - inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia más alta de la banda base.

La condición de que todas las bandas bases deberían empezar en 12 KHz se respetó para las capacidades de 24 y 60 canales, pero no en las bandas bases correspondien-

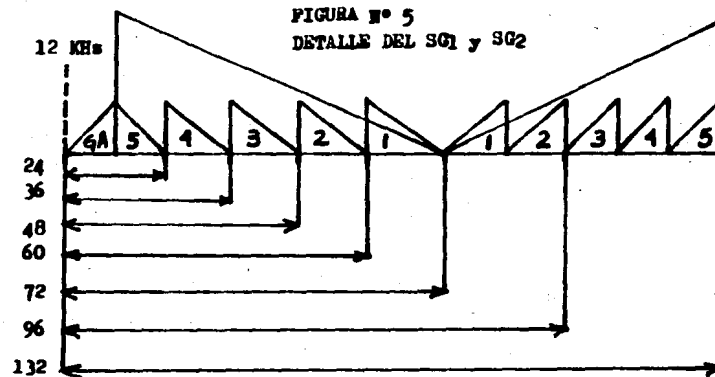
tes de 120 a 240 canales, cuyo comienzo se había previsto - en el límite inferior convencional de 60 KHz. Por consi--- guiente se decidió aumentar los conjuntos de 120 a 240 canales a 132 y 252 canales respectivamente agregando un grupo básico tipo A de CCITT en la gama de frecuencias de 12 a 60 KHz.

En la figura 5 pueden verse las disposiciones convenidas para la banda base utilizada para las diferentes capacidades de canales por INTELSAT en los satélites de las series IV, IVA, V.

En estas configuraciones se ha seguido conservando la formación inicial es decir cualquier banda base - sea la capacidad que sea, está constituida inicialmente por un grupo básico tipo A, seguido de un super grupo 1 invertido, un super grupo 2 directo y después partiendo del super-grupo 3 todos son formados de manera invertida hasta el super grupo 16, con lo cual se logra obtener una capacidad total de 972 canales.



DISPOSICION PARA LA BANDA BASE DE DIFERENTES CAPACIDADES DE CANALES



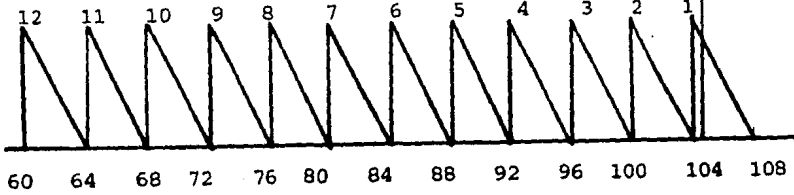
Para obtener la capacidad máxima empleada por INTELSAT en los enlaces por satélite se hace una configuración similar de la forma anteriormente explicada hasta el super grupo 16, agregando después de éste 15 super grupos más, de los cuales los primeros 14 son directos y el último es invertido totalizando 1872 canales.

Las señales piloto recomendadas por el CCITT - para grupo es de 104,08KHz y super grupo de 547,92KHz respectivamente.

Las señales piloto se usan con el propósito de monitorear el enlace por satélite para tener un control en el modulador del satélite y en la salida del demodulador - en la estación terrena receptora.

Piloto (104.08KHz)

Canal

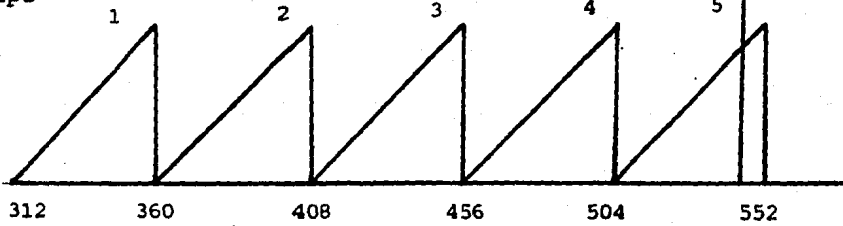


frecuencia
(KHz)

Grupo Básico

Piloto (547.92KHz)

Grupo



frecuencia
(KHz)

Supergrupo

8.1.3) CANALES DE SERVICIO EN LA BANDA BASE.

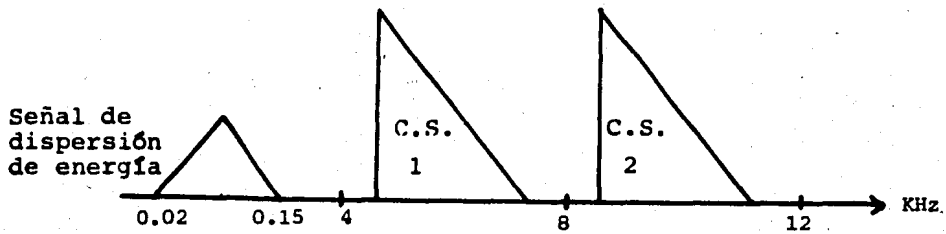
Los canales de servicio nos sirven para tener una distribución más completa en la banda base, la introducción de estos canales de servicio nos ayudará a tener una - facilidad de señalización cuando se realiza la comunicación entre las estaciones terrenas, esto se puede realizar introduciendo canales de voz o señales telegráficas.

Existen dos canales de servicio y cada uno -- consiste de un canal de voz y 5 canales telegráficos, las - bandas inferiores a 12 KHz en la banda base de transmisión hacia el satélite servirán para acomodar 2 canales de servi- cio con una separación nominal de 4 KHz.

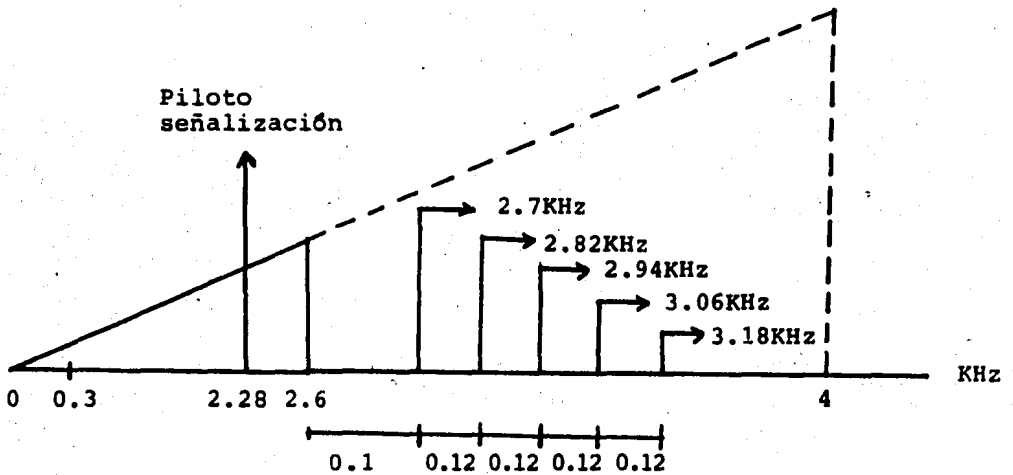
La banda de 20 Hz a 150 Hz se tiene reservada para la señal de dispersión de energía. Sirve para activar el sistema receptor de la estación terrena y realizar una - selección adecuada de las señales de comunicación.

Estos canales de servicio se incorporan en la banda base en la forma de bandas laterales invertidas en -- rangos de frecuencia de 4 a 8 KHz y de 8 a 12 KHz, pudiendo contener cada canal de servicio un canal telefónico y cinco canales telegráficos como máximo.

Cada uno de los dos canales de servicio comprende de un canal de voz ocupando una banda de 300 Hz a 2600 Hz, 5 canales telegráficos FM, cada canal telegráfico tiene un espacio de 120 Hz y son colocados a partir de 2700 Hz.



a) Canales de Servicio



b) Disposición del canal de servicio para telegrafía, señalización y telefonía.

Figura 6

CANALES DE SERVICIO EN LA BANDA BASE

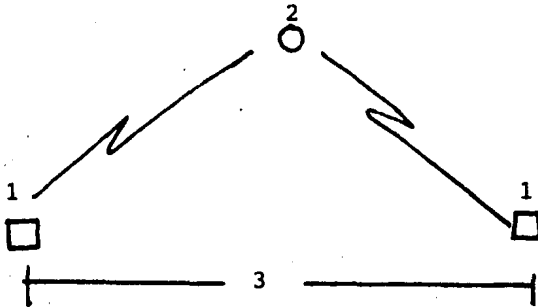
CARACTERISTICAS DE LA SEÑAL T.V.

Calidad de transmisión de los circuitos de --
T.V. diseñados para ser utilizados en conexiones internacionales.

Se considera que el servicio fijo por satélite cuando desea formar parte de un circuito internacional de -
televisión de gran longitud debe de establecer algunas con-
diciones para realizar la transmisión:

- a) Consiste de un sistema estación terrena-satélite-estación terrena.
- b) Comprende de un par de moduladores y de-
moduladores para la transferencia de la -
banda base a la portadora radio eléctrica.
- c) No comprende convertidor de normas, ni re
generador de señales de sincronismo, ni -
equipo para la inserción de señales en el
intervalo de supresión de línea o de tra-
ma.

Se muestra a continuación el circuito ficticio
de referencia para transmisiones de televisión por un sistema
del servicio fijo por satélite.



- 1) Estación terrena
- 2) Estación espacial
- 3) Circuito ficticio de referencia

En el servicio fijo por satélite para televisión se deben de considerar algunos puntos:

- 1) La necesidad de no preveer por razones económicas un ancho de banda de video más amplio de lo necesario.
- 2) Se tiene la necesidad de que el ancho de la banda base para la televisión sea compatible con la de telefonía con multiplexaje por distribución de frecuencia de gran capacidad.

Considerando esto se recomienda que en el circuito ficticio de referencia para la transmisión de televisión de banda de frecuencia de video sea compatible con la

necesaria para el sistema o sistemas de televisión considerados.

La transmisión simultánea de un canal de sonido y de una señal de imagen de televisión se realiza a fin de evitar diferencias entre el tiempo de transmisión de una señal de imagen de televisión y la correspondiente señal de sonido es conveniente transmitir ambas señales por el mismo enlace de satélite. En este caso puede necesitarse un mayor ancho de banda base para incluir en ella la señal de sonido.

En los sistemas de telecomunicaciones por satélite donde las señales de sonido e imagen pueden transmitirse por medios diferentes la falta de sincronismo entre el sonido y la imagen puede originar dificultades en la recepción ya que lo que puede pasar es que el observador es más sensible a un adelanto de sonido con relación a la acción visible correspondiente. La tolerancia del observador a la falta de simultaneidad entre el sonido y la imagen varía según la naturaleza de la acción.

Un retraso de sonido de 140 milisegundos con respecto a la imagen producirá un defecto que apenas se per

cibe para aproximadamente el 50% de los observadores.

Un adelanto de sonido de 70 milisegundos con respecto a la imagen producirá un defecto que apenas se percibe para aproximadamente el 50% de los observadores.

Para la transmisión de televisión por satélite los tipos de modulación que se adaptan mejor son la modulación de amplitud con banda lateral residual y la modulación de frecuencia.

Para una calidad de servicio y un factor de calidad determinados en las instalaciones de recepción la modulación de frecuencia permite una potencia menor del transmisor del satélite que la modulación en amplitud.

Es conveniente el uso de la señal de dispersión de energía cuando se realiza la transmisión de T.V. con modulación en frecuencia vía satélite con el fin de reducir la interferencia a otros sistemas que comportan las mismas bandas de frecuencia. En el caso de las transmisiones de radio difusión por satélite puede requerirse la dispersión de energía en el enlace descendente a fin de proteger los radio enlaces terrenales mientras que en un enlace por satélite se debe de proteger la transmisión a los satélites del

servicio fijo situados en órbitas vecinas y que comportan - la misma banda de frecuencias (14 a 14.5 GHz).

Las bandas de 11GHz, 14.5 GHz a 14.8GHz y de 17GHz (Tierra-espacio) están reservados a los enlaces del servicio de radio difusión por satélite.

La calidad de la recepción de la imagen de televisión en la pantalla del receptor depende de la relación señal/ruido y de la naturaleza de una posible interferencia y de las distintas distorsiones que tienen lugar en la cadena de transmisión (estudio, enlace terrenal, enlace de conexión, transmisor de satélite, trayecto descendente y receptor).

La relación señal/ruido es uno de los parámetros más importantes en el cálculo de sistemas de T.V. y en la planificación de redes de transmisión por ello se concentra la atención en este parámetro particular.

Al elegir el valor necesario de la relación - señal/ruido deben también tenerse en cuenta en muchos casos otras distorsiones de la señal de T.V.

En televisión la relación señal/ruido en video frecuencia se define como la relación expresada en dB - entre la amplitud nominal cresta a cresta de la señal de luminancia y el valor cuadrático medio del ruido en video frecuencia. La relación entre la señal de luminancia y el valor cuadrático medio del ruido ponderado es de 43dB.

Si se realiza la preacentuación esto nos ayudará a la mejora de la relación señal/ruido y reducción en la distorsión. Se ha llegado a un acuerdo general para tener un valor objetivo en la relación señal/ruido para la -- aplicación al circuito ficticio de referencia de todos los sistemas de televisión.

La explotación del sistema de satélites - - - INTELSAT tiene los siguientes valores para la relación señal ruido:

Sistema 525 líneas transponder completo, - -

$$\frac{S}{N} = 53.3\text{dB}$$

Sistema 525 líneas medio transponder,

$$\frac{S}{N} = 48.7\text{dB}$$

Como la presencia del ruido es aleatoria y de manera continua se debe de considerar que la banda de ruido debe estar limitada para realizar la medición del ruido en una banda de 0.01MHz a 5MHz para tener una relación señal/ruido ponderado; la relación señal/ruido ponderado no deberá ser inferior a 53dB durante más de 1% de cualquier mes y via 45dB durante más del 0.1% de cualquier mes. Puede haber administraciones que empleen para fines nacionales valores de relación señal/ruido que difieran a 53dB.

Existe una reducción de la calidad en un enlace vía satélite a causa de la presencia del ruido térmico - y esta reducción equivale a una degradación de la relación portadora/ruido no superior a 0.5dB durante el 99% del tiempo del mes más desfavorable.

9) ANALISIS DE TRANSMISION FDM - FM

La relación fundamental entre la relación portadora/ruido (C/N) y la relación señal/ruido (S/N) en un sistema clásico de modulación de frecuencia, se puede expresar así:

$$S/N = (C/N) (3 (F_{ch})^2 / f_2^3 - f_1^3) (B_{RF}) (P) (W)$$

o bien:

$$S/N = (C/N) \left[\frac{(F_{ch})^2}{(f_m)^2 + \frac{b^2}{12}} \right] (B_{RF}/b) (P) (W)$$

Cuando el valor de "f_m" es más de cuatro veces el valor de "b", se puede reemplazar la anterior expresión con un error de precisión despreciable, por la siguiente relación aproximada:

$$(S/N) = (C/N) (F_{ch}/f_m)^2 (B_{RF}/b) (P) (W)$$

donde:

S/N: relación entre la señal de prueba de --
lmW y la potencia de ruido en el canal
telefónico más elevado.

C/N: relación portadora/ruido en el ancho de
banda B_{RF} .

B_{RF} : ancho de banda en radio frecuencia (Hz)

f_2 : límite superior del canal más elevado -
de la banda base (Hz)

f_1 : límite inferior del canal más elevado -
de la banda base (Hz)

$f_m = \frac{f_2 + f_1}{2}$ Que es la frecuencia central
(media aritmética) del canal
más elevado de la banda base
(Hz)

$b = (f_2 - f_1)$ Ancho de banda del canal tele
fónico (3100 Hz)

F_{ch} : Desviación de frecuencia rms de la se-
ñal de tono de prueba (Hz).

P: factor de mejoramiento por el énfasis - 2.5 (4dB del canal superior de banda -- base).

W: factor de ponderación 1.8 (2.5dB)
Este factor representa el efecto de ruido sobre el oído humano generalmente se emplea un valor de 2.5 dB.

En la expresión anterior sólo son desconocidos B_{RF} y F_{ch} .

Para resolver estas dos incógnitas es preciso encontrar otra relación entre dichas dos variables. Se supone que el ancho de banda B_{RF} viene dada por:

$$B_{RF} = 2(\Delta F + f_m)$$

(es decir, el ancho de banda de la regla de Carlson) siendo ΔF la excursión multicanal de cresta.

Para reducir a un nivel tolerable el ruido de intermodulación causado por la limitación de la anchura de banda, hay que definir una relación adecuada entre ΔF y F_{ch} .

La siguiente fórmula es de uso corriente para las bandas de base FDM:

$$\Delta F = F_{ch} \times g \times L$$

donde:

ΔF : excursión de creta (Hz)

g : factor "valor creta/valor rms" expresado como relación numérica. De ahí que - para un "valor de creta/valor rms" de:

$$13\text{dB}, g = 10^{13/20} = 4.47$$

$$10\text{dB}, g = 10^{10/20} = 3.16$$

$$L = 10 \left(\frac{-15+10 \log n}{20} \right) \quad \text{para } n \geq 240 \text{ canales}$$

$$L = 10 \left(\frac{1+4 \log n}{20} \right) \quad \text{para } n < 240 \text{ canales}$$

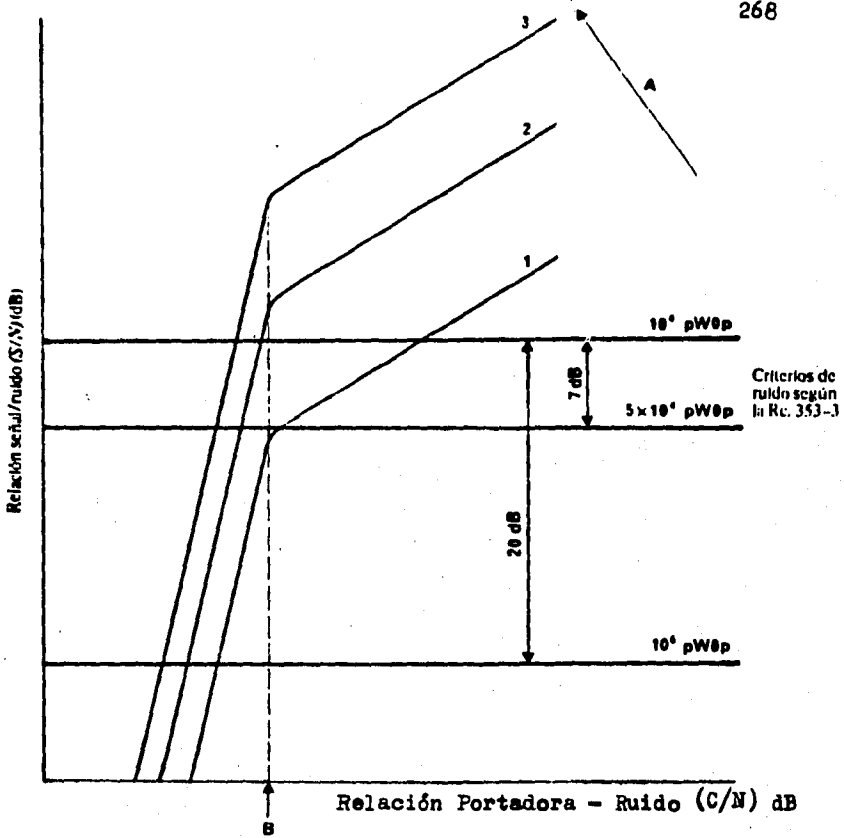
Se ha considerado que el valor de "g" corresponde de acuerdo al número de canales.

$g = 13 \text{ dB}$ para capacidades de portadoras inferiores para 120 canales.

$g = 10 \text{ dB}$ para capacidades de portadoras superiores para 120 canales.

9.1) Demodulación en FM.

Se considera que la señal de recepción y el ruido son de intensidad comparable, se debe tener en cuenta que en un receptor FM se tiene la presencia de ruido aleatorio teniendo la presencia de la variación de la señal a ruido a la salida del receptor como $(S/N)_o$ como función de la relación portadora a ruido a la entrada del receptor como $(C/N)_i$, esta relación se puede representar de manera gráfica como se muestra a continuación.



Relación señal / ruido y portadora / ruido en un sistema FM .

CURVAS A : Excursión creciente (es decir ancho de banda).

B : Punto de ruptura

La operación de un receptor FM convencional es caracterizado por la existencia de umbral.

La primera zona de umbral de 0 a B se llama ruido de umbral, como se puede ver en esta región la señal deseada y el ruido son comparados en intensidad que nos indica que aquí en esta primera zona de umbral se manifiesta que la amplitud de la señal portadora es esencialmente igual al valor de la señal ruido y la manera de poder interpretar lo es que la relación señal/ruido a la salida (S/N) varía linealmente con la relación portadora/ruido a la entrada -- (C/N).

La segunda zona de umbral de B a C aquí se tiene el caso de que la señal deseada tiene un incremento en su valor comparado al que tenía en la primera zona de umbral y que ahora la intensidad de la señal deseada es mayor que la intensidad de la señal de ruido.

El problema en el diseño de un sistema FM es el de elegir durante tiempo despejado una C/N que permita tener una S/N por encima de las tres líneas correspondientes a los diferentes porcentajes de tiempo.

Ya que se debe de considerar que la potencia total de ruido en una comunicación no debe perturbar la conversación en la mayoría de las comunicaciones telefónicas.

De acuerdo a los criterios establecidos en la Recomendación 353 del CCIR se recomienda que:

Que la potencia de ruido en un punto del nivel relativo cero, en cualquier canal telefónico del circuito ficticio de referencia definido en la Recomendación 352 no exceda de los siguientes valores provisionales:

- 1) 1×10^4 pWop potencia sofométrica media durante un minuto durante más del 20% de cualquier mes.
- 2) 5×10^4 pWop potencia sofométrica media durante un minuto, durante más del 0.3% de cualquier mes.
- 3) 1×10^6 pWp potencia no ponderada (con un tiempo de 5ms), durante más del 0.01% de cualquier año.

Las condiciones de operación en el demodula--dor FM serán mejores para cuando se opere arriba de la lí--nea correspondiente a 1×10^4 pWop, teniendo presente tres ca

Los posibles modos de operación como se mencionan a continuación:

- 1) Si el sistema es de ancho de banda limitada.
- 2) Si el sistema de potencia y ancho de banda limitada.
- 3) Si el sistema es de potencia limitada.

9.2) PORTADORAS QUE SE USAN EN FDM/FM

Las portadoras FDM/FM de telefonía del sistema INTELSAT V se dividen en "normales" y "alta densidad".

Las portadoras normales se definen como aquellas cuyos valores representativos de PIRE de la estación terrena y forman parte de las características obligatorias de estas especificaciones.

La asignación de cada portadora de alta densidad se efectúa previo acuerdo con el propietario de la estación transmisora depende del transponder del satélite y de la PIRE.

Portadora FDM/FM INTELSAT V

Ancho de banda	Número de canales	
1.25 MHz	12	
2.5 "	24,36,48,60, <u>72</u>	— Portadora de alta densidad
5.0 "	60,72,96,132, <u>192</u>	
7.5 "	96,132,192, <u>252</u>	
10 "	132,192,252, <u>312</u>	
15 "	252,312, <u>432</u>	
20 "	432,612, <u>792</u>	
25 "	432,792, <u>972</u>	
36 "	972	

Debe considerarse que en ciertos anchos de --
banda existen determinados números de canales con portado-
res normales y otros con portadora de alta densidad.

9.3) PIRE REQUERIDA PARA LA ESTACION TERRENA

Frecuencia (6a 4GHz)

Sistema FDM/FM

Ancho de - banda (MHz)	<u>Portadora normal</u>		<u>Portadora alta densidad</u>	
	Capacidad de canales	PIRE (dbW)	Capacidad de canales	PIRE (dbW)
1.25	12	73.8	-	-
2.5	24	76.1	72	86.8
	36	78.5		
	48	81.8		
	60	84.5		
5.0	60	79.1	192	92.2
	72	79.4		
	96	83.0		
	132	84.7		
7.5	96	80.8	252	91.6
	132	82.5		
	192	85.4		
10	132	82.1	312	91.4
	192	84.1		
	252	88.8		
15	252	84.8	-	-
	312	86.8		
	432	88.0		
20	432	86.6	792	94.4
	612	90.1		
25	432	86.6	972	94.9
	792	91.5		
36	972	88.6	-	-

Enlace cruzada 6 a 11 GHz

Sistema FDM/FM

Ancho de - banda (MHz)	<u>Portadora normal</u>		<u>Portadora alta densidad</u>	
	Capacidad canales	PIRE (dbW)	Capacidad canales	PIRE (dbW)
1.25	12	72	-	-
2.5	24	74.3	72	85
	36	76.7		
	48	80.0		
	60	81.7		
5.0	66	77.3	192	90.4
	72	77.6		
	96	81.2		
	132	82.9		
7.5	96	79.0	252	89.5
	132	80.7		
	192	83.6		
10.0	132	80.2	312	89.6
	192	82.0		
	252	87.0		
15.0	252	83.0	-	-
	312	85.0		
	432	86.2		
20.0	432	86.6	792	94.4
	612	90.1		
25.0	432	86.6	972	94.9
	792	91.5		
36.0	972	88.6	-	-

9.4) UTILIZACION DE LOS TRANSPONDERS DEL SATELITE.

Frecuencias centrales de los transponders del satélite INTELSAT V.

La anchura de banda RF del satélite INTELSAT V se divide en segmentos de 34, 36, 41, 72, 77 y 241 MHz.

Según la banda de frecuencias y las conexiones de haces que se emplean para satisfacer la demanda de tráfico.

El satélite INTELSAT V puede trabajar tanto en la banda de frecuencias de 6/4 GHz como en la 14/11 GHz y se puede interconectar estas bandas de manera que las estaciones terrenas normalizadas tipo A (6/4 GHz) y de tipo C (14/11 GHz) pueden comunicarse entre sí.

De acuerdo al siguiente cuadro se utiliza la misma frecuencia central para cada transponder de cada conjunto de cuatro.

La reutilización de frecuencias (cuádruple) se

obtiene mediante el aislamiento espacial y la polarización de los haces de la antena del satélite que conectan a los transponders de cada conjunto de frecuencias iguales.

FRECUENCIAS CENTRALES DE LOS TRANSPONDERS DEL SATELITE
INTELSAT V

Transponders de la banda de frecuencia de 6/4 GHz

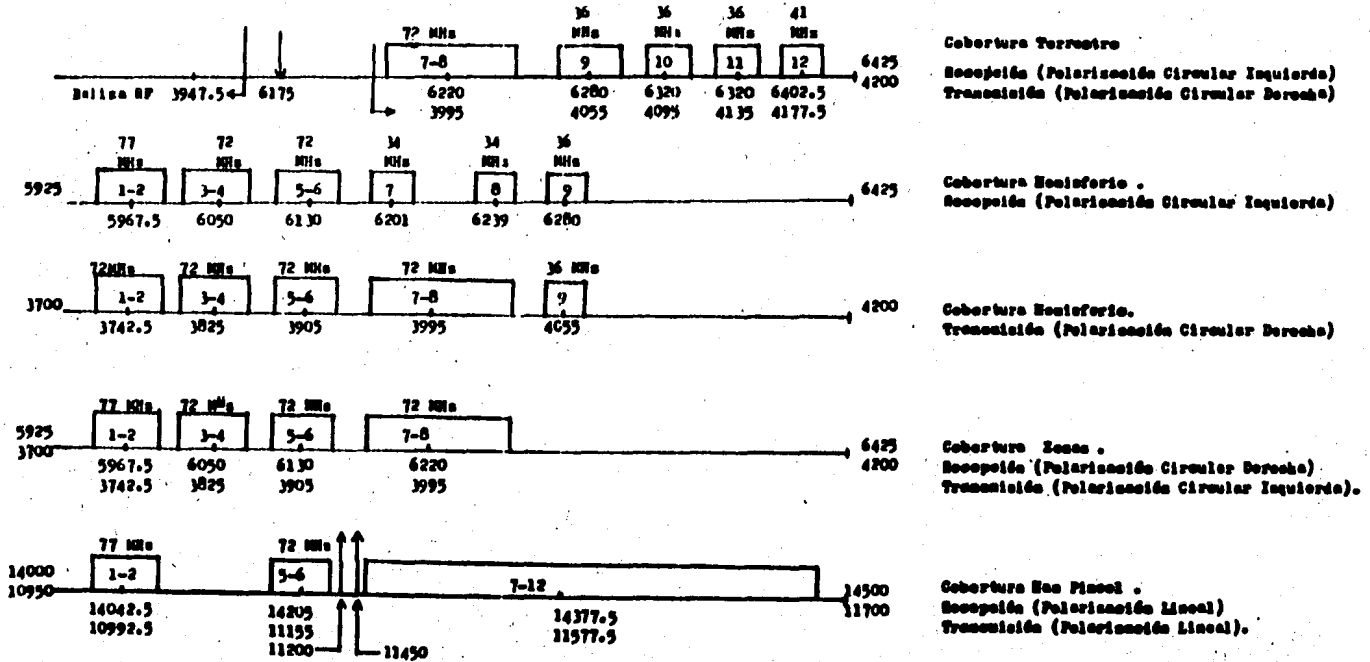
Global	Hemis Oeste	Zona Oeste	Hemisf. Este	Zona Este	MHz	Frecuencia Central (MHz)
-	1-2	1-2	1-2	1-2	77	3742.5
-	3-4	3-4	3-4	3-4	72	3825.0
-	5-6	5-6	5-6	5-6	72	3905.0
(7-8) 6	(7-8+	7-8	7-8	7-8)	72	3995.0
9	(9	-	9	-)	36	4055.0
10	-	-	-	-	36	4095.0
11	-	-	-	-	36	4135.0
12	-	-	-	-	41	4177.5

+) En el enlace ascendente los transponders 7 y 8 se dividen en segmentos de 34 MHz cada uno.

Transponders de la banda de frecuencia 14/11 GHz

Pincel Oeste	Pincel Este	MHz	Frecuencia Central (MHz)
1-2	1-2	77	10992.5
5-6	5-6	72	11155.0
7-12	7-12	241	11577.5

PLAN DE FRECUENCIAS DE TRANSFORMERE IMPULSAT V



9.5) CARACTERISTICAS DE UNA COMUNICACION VIA -
SATELITE MEDIANTE FDMA.

Cada estación terrena transmite señales de radio frecuencia al satélite. La modulación en acceso múltiple es diseñado para acoplar dos principales propósitos:

- 1) Cuando el satélite transmite hacia una estación terrena, ésta debe de captar el mensaje considerando el demodulador requerido.
- 2) Cuando el satélite es considerado como un repetidor se debe de considerar que debe haber poca interferencia con las otras transmisiones de otras estaciones terrenas que transmiten en un mismo instante.

La manera de poder realizar un enlace vía satélite es considerando que el mensaje que deseamos transmitir tiene un canal asignado ya que de acuerdo a la distribución de la capacidad del satélite que se tiene en el acceso múltiple, el satélite lo transmite a su destino. Cuando una señal de radio frecuencia se transmite por acceso múltiple se requiere el uso de una portadora conocida como portadora de acceso múltiple.

El satélite al recibir la señal de información lo que realiza es una selección de la frecuencia central de la portadora para después enviarlo a un destino asignado.

Cuando una o más señales están presentes a la entrada del satélite el ruido térmico que se presenta a la entrada del satélite no llega a tener efecto alguno en la señal que se presenta a la salida del satélite ya que se llega a hacer uso de amplificadores de baja figura de ruido para no afectar la información y esto se debe a que la potencia de transmisión que realiza el satélite es mayor que la potencia de ruido.

Existen posibles alteraciones que se presentan en una comunicación vía satélite:

Cuando se presentan algunas señales en forma simultánea en la entrada del satélite llega a producirse la intermodulación, para evitar la intermodulación lo recomendable es tener una potencia disponible para las señales deseadas o las señales contenidas en la banda que se ha de transmitir.

Se considera que la potencia del satélite y el ancho de banda se ha distribuido en un número determinado

de transponders. Se debe de tener un control en la potencia de la estación terrena cuando realiza un enlace ascendente ya que el satélite tiene una limitación en la recepción.

La potencia de salida que tiene el satélite - no se divide de manera igual en los transponders y algunas estaciones recibirán más potencia que la requerida y otras menos potencia.

Si una señal a la entrada del satélite es 4 - veces más grande que el total de las otras señales, la señal más intensa controla una cantidad desproporcional en la potencia de salida en el satélite, de esta forma se esta robando potencia a la salida de las otras señales en relación excesiva con la potencia de entrada.

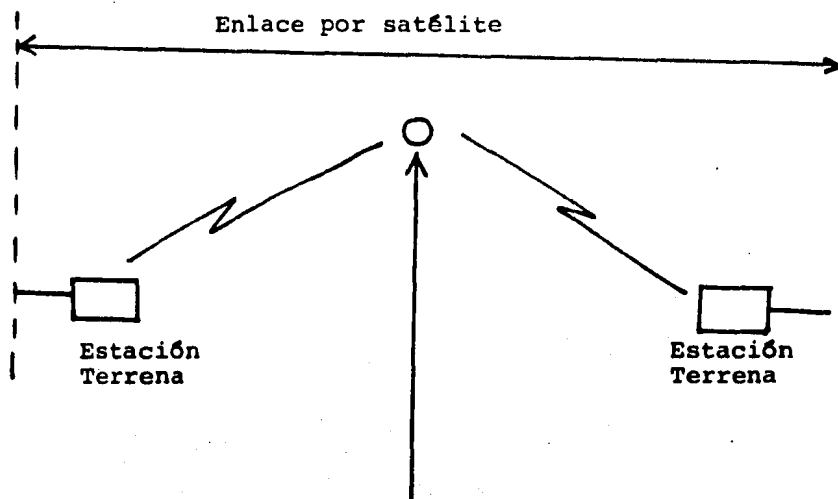
9.6) RECOMENDACION 352.3 CCIR

CIRCUITO HIPOTETICO DE REFERENCIA PARA LOS --
SISTEMAS QUE UTILIZAN LA TRANSMISION ANALOGICA
EN EL SERVICIO FIJO POR SATELITE.

- a) El CCIR considera en esta recomendación - que se requiere establecer un circuito ficticio de referencia para sistemas del servicio fijo por satélite activo que pueda servir de guía a los proyectistas y constructores de equipos y de sistemas destinados a las redes telefónicas y de televisión.
- b) Este circuito se establece para satélites que se encuentran a una gran altitud.
- c) Solo se realiza un enlace por satélite
- d) Que el funcionamiento global de cada enlace por satélite depende muy poco de la distancia a lo largo del arco de círculo máximo entre las estaciones terrenas.
- e) Que se realizan enlaces en el servicio fijo por satélite.

El CCIR recomienda:

- 1) Que el circuito ficticio de referencia de los sistemas del servicio fijo por satélite que utilizan la transmisión analógica conste solamente del enlace tierra-espacio-tierra.
- 2) Para las estaciones terrenas deben de disponer para un circuito de referencia una entrada al modulador que realiza la transferencia de la banda base a la portadora radio eléctrica y que la salida del circuito corresponda a la salida del demodulador que realiza la operación inversa.
- 3) Lo que no se puede incluir en el circuito ficticio de referencia son los enlaces que mantiene una estación terrena y el centro de conmutación.



Estación espacial del servicio fijo por satélite o estaciones espaciales de dicho servicio interconectadas por enlaces entre satélites.

Figura 1

CIRCUITO FICTICIO DE REFERENCIA POR TRANSMISION ANALOGICA

9.7) RECOMENDACION 353 CCIR

POTENCIA DE RUIDO ADMISIBLE EN EL CIRCUITO --
FICTICIO DE REFERENCIA PARA LA TELEFONIA CON
MULTIPLEXAJE POR DISTRIBUCION DE FRECUENCIA -
EN EL SERVICIO FIJO POR SATELITE.

- a) El CCIR considera que el circuito ficti--
cio de referencia ha de servir de guía a
los proyectistas para el diseño y construcu
ción de los sistemas utilizados en la prácu
tica.
- b) Los costos de establecimiento y de manteniu
miento de los sistemas del servicio fijo
por satélite están ligados a la calidad de
funcionamiento de acuerdo a la relación seu
ñal/ruido global.
- c) Que la potencia total del ruido en el ciru
cuito ficticio de referencia no debe de -
perturbar de modo apreciable la conversau
ción en la mayoría de las comunicaciones
telefónicas, ni la señalización telefóniu
ca.
- d) Que puede haber otras fuentes de ruido de
corta duración.

El CCIR recomienda:

- 1) Que la potencia del ruido en un punto del nivel relativo cero, en cualquier canal telefónico del circuito de referencia no exceda de los siguientes valores provisionales:
 - 1.1) 10000 pWop, potencia sofométrica media durante un minuto, durante más del 20% de cualquier mes.
 - 1.2) 50000 pWop, potencia sofométrica media durante un minuto, durante más del 0.3% de cualquier mes.
 - 1.3) 1000000 Pwop, potencia no ponderada con un tiempo de 5 milisegundos, durante más del 0.01% de cualquier año.

Información integrante de la Recomendación.

- 1) Se supone que los picos de ruido y los chasquidos debidos a los dispositivos de alimentación ya los aparatos de conmutación (incluida la conmutación de un saté-

lite a otro) son de proporciones despreciables y no se tendrán en cuenta en los cálculos de ruido.

- 2) Cuando se aplican las nociones de circuito ficticio de referencia y de ruido de circuito admisible al diseño de equipos de satélites y de estaciones terrenas para cierto valor de la relación señal/ruido global deben usarse en su caso las características preferidas por el CCIR.
- 3) En el caso de la telefonía con multiplexaje por distribución de frecuencia, se supondrá que la señal en la banda base durante la hora cargada puede representarse por una señal de espectro uniforme considerando el nivel medio absoluto de potencia en un punto de nivel relativo cero se describe como:

Potencia medio absoluto para 240 canales o más
 $(-15 + 10 \log N.) \text{dBm.}$, "N" número de canales

Potencia medio absoluto para $12 < N < 240$
 $(-1+4 \log N) \text{ dBm}$

Se estima que estas fórmulas proporcionan una buena aproximación para el cálculo del ruido de intermodulación cuando $N \geq 60$. En el caso de sistemas de pocos canales los resultados de medidas hechas están alejados de la realidad ya que hay gran diferencia entre la señal real y la señal medida.

Estas fórmulas se aplican únicamente a las señales en la banda base sin preacentuación con utilización de amplificadores o de repetidores independientes para los dos sentidos de transmisión.

- 4) La potencia de ruido indicada en el punto 1, debería incluir los ruidos debidos a interferencias y los resultantes de la absorción atmosférica y del aumento de la temperatura de ruido a causa de la lluvia. No obstante en ciertos casos ciertos ruidos suplementarios podrán sobrepasarse.
- 5) El valor indicado en el punto 1.3 puede excederse en alguna ocasión, debido a interferencias causadas por el Sol sobre el haz de la antena.
- 6) Las interrupciones breves (menos de 10 se

gundos) deben considerarse equivalente a una potencia de ruido no ponderado superior a 10^6 PW0.

- 7) Para la planificación de los sistemas, es conveniente tomar datos de propagación -- que cubran un periodo de por lo menos cuatro años. La calidad del funcionamiento recomendada que ha de cumplirse en "cualquier año" debe basarse en las estadísticas de propagación correspondientes a todos los años completos considerando datos confiables.

La calidad de funcionamiento recomendada que ha de cumplirse en "cualquier mes" debe basarse en los datos de propagación correspondientes al valor mediano durante el "mes más desfavorable del año" tomando las estadísticas mensuales de todos los años considerando datos confiables.

10) SISTEMA SPADE

10.1) ACCESO MULTIPLE EN SPADE

El sistema SPADE representa una introducción a la comunicación vía satélite de acuerdo a la capacidad - que se tiene en el acceso múltiple con demanda asignada. La necesidad que se debe satisfacer es que se tiene que -- utilizar la capacidad del satélite de manera eficiente y - mantener rutas de tráfico en forma flexible. La palabra SPADE se deriva de las siguientes iniciales:

SPADE (Single channel per carrier PCM multiple Access
Demand assignament Equipment)

lo cual indica que:

El equipo PCM es empleado para el acceso múltiple, la asignación es por demanda y se emplea un solo canal por portadora.

Las más importantes necesidades a satisfacer son las siguientes:

- a) La eficiencia significa que se debe manejar el mayor número de canales en el satélite de acuerdo al más bajo costo por canal.

- b) Se debe de considerar que esta eficiencia solo podrá mantener enlaces entre - unos cuantos satélites y unas cuantas es taciones terrenas en una área geográfica.

Hay dos maneras de mejorar la eficiencia cuando deseamos transmitir la información al satélite. Una ma nera es emplear una modulación eficiente y técnicas de acce so múltiple para obtener un gran número de canales por - - transponder, la segunda manera es asignar el tráfico a los canales de manera que cada canal se aproveche a una gran - capacidad.

El sistema SPADE aprovecha ambas formas. La manera de operar en el sistema INTELSAT ha sido de transmi tir el tráfico a multidestinos (muchos destinos) usando -- portadoras de frecuencia modulada preasignadas.

Las portadoras de FM han sido de valor estandarizado para ciertos tamaños tales como 24,60 y 132 canales. Estos valores son para limitar la variedad de los re ceptores que existen en las estaciones terrenas y que es- tas usan un tipo de receptor de acuerdo a las necesidades.

El sistema de acceso múltiple conocido como FDM/FM/FDMA siendo FDM un multiplexaje de división en frecuencia ya que aquí se organiza la información en banda base, FM es la modulación en frecuencia y que aquí se asignan las portadoras, FDMA el acceso múltiple por división en frecuencia es la banda de radio frecuencia conocida como banda RF.

Este sistema de acceso múltiple brinda una excelente calidad y servicio pero se convierte en forma -- ineficiente cuando dos o más portadoras deben pasar a través de un transponder.

La confiabilidad que se tiene para el sistema SPADE utilizando FDMA es:

- a) Se establece el enlace de comunicación - desde una estación terrena hacia cualquier otra contenida en la misma zona de acuerdo a una demanda de información que se tenga para transmitir.
- b) Se utiliza la capacidad del satélite en forma eficiente bajo la asignación que se tiene en los circuitos en forma indi-

vidual.

- c) Se brinda un servicio eficiente para los enlaces ligeros de tráfico.
- d) Un sólo canal en cada portadora de RF -- permite establecer los enlaces por medio de una serie de canales pequeños.
- e) El acceso múltiple por división en frecuencia para establecer los enlaces en forma eficiente.
- f) Se mantiene una independencia de operación para que opere con libertad el control central y la estación terrena.

ASIGNACION POR DEMANDA EN SPADE

Se ha considerado que el sistema SPADE tiene la función de trabajar de acuerdo a una capacidad determinada considerando de antemano la demanda. Existe una serie de satélites que realizan las comunicaciones de acuerdo al ACCESO MULTIPLE DE ASIGNACION POR DEMANDA.

El acceso múltiple de asignación por demanda se conoce como sistema DAMA. El sistema DAMA es una red multinodal cuyos circuitos pueden ser conectados entre dos nodos cualesquiera cuando alguien lo solicite y luego ser de

vueltos a un conjunto de circuitos disponibles al ya no haber demanda. Cada nodo de la red constituye una terminal SPADE cuyas actividades se supervisan mediante una combinación de equipos y de lógica de computadora.

En el acceso múltiple de asignación por demanda (DAMA) una determinada banda de radio frecuencia del satélite se divide asignando un sólo canal telefónico a cada portadora RF y luego agrupando portadoras por pares para suministrar un circuito telefónico. El sistema permite a cualquier terminal obtener bajo previa solicitud todos los circuitos requeridos por la demanda.

Los circuitos se extraen de un conjunto de circuitos destinados para este sistema, los cuales se asignan a las terminales según sea necesario y luego se regresan al conjunto cuando ya no son utilizados, de esta forma ninguno de los circuitos está permanentemente conectado a una terminal.

El sistema DAMA tiene la capacidad suficiente de atender 48 terminales SPADE y cada una de ellas con una capacidad máxima de 60 circuitos telefónicos.

Para tener un control de asignación de circuitos de acuerdo a la demanda, no se requiere de una estación central lo que se necesita es un sistema de señalización y conmutación de asignación por demanda (Unidad DASS) supervisada por cada terminal SPADE, mediante una computadora que autoasigna los circuitos necesarios basándose en la información que constantemente se analiza para que se pueda establecer la asignación de circuitos.

Es necesario tener un control en un sistema DAMA ya que como asigna los circuitos requeridos se debe de tomar en cuenta la banda de frecuencia en que se trabaja. Pues cabe hacer notar que DAMA y sus planes de frecuencia permiten utilizar la misma banda de radio frecuencia - destinada para los servicios que tiene el equipo de portadora monocal asignada por demanda (SCPC). Como DAMA y SCPC difieren en operación, es necesario una coordinación cuando los circuitos preasignados de portadora monocal y DAMA comparten la misma banda de radiofrecuencia.

TERMINAL SPADE

La terminal SPADE esta compuesta de dos unidades:

- a) La unidad de señalización y conmutación de asignación por demanda (DASS)
- b) La unidad de canal

UNIDAD DASS

Cada unidad DASS contiene un procesador de señalización y conmutación (PSC) que podrá tener uno ó más subsistemas procesadores en interfaz con el equipo terminal del canal común de señalización (CCS) que está compuesto de un sincronizador del canal común de señalización (SCCS) y de un módem del canal común de señalización (MCCS).

Las funciones principales que desempeñará el sistema DASS son las siguientes:

- a) Monitorear, procesar y controlar la señalización de unidades entre las terminales SPADE en la red DAMA.
- b) Monitorear, procesar y controlar la señalización terrestre entre la terminal SPADE y sus respectivas centrales telefónicas internacionales.
- c) Activar las alarmas de supervisión

Todas las unidades DASS de la red DAMA explotados conjuntamente equivaldrán a un centro de tránsito -- (CT) o sea que monitorearán las señales telefónicas terrestres recibidas del CT, procesarán la información y conmutarán el circuito que sea necesario para transmitir la llamada al siguiente CT.

No obstante existen diferencias a saber:

- 1) La función de señalización del sistema DASS esta distribuido entre los países integrantes de la red.
- 2) Las terminales individuales dentro de cada país son controladas en forma autónoma en lugar de estar bajo un control central.

Para lograr un funcionamiento coordinado y minimizar las demoras al establecer las llamadas por este sistema internacional de unidades múltiples, es menester que las funciones de la unidad DASS se realicen de la misma manera aun cuando las unidades hayan sido fabricadas -- por empresas diferentes.

UNIDAD DE CANAL

La característica es que cada unidad convierte un circuito terrestre de acceso en un circuito de satélite.

El canal de satélite es codificado y modulado según la frecuencia de portadora seleccionada por el procesador de señalización y conmutación (PSC).

El canal de entrada es demodulado y decodificado. Cada unidad de canal se compone de las subunidades siguientes:

- 1) Codificador-Decodificador(CODEC) de modulación por pulsos codificados (codificación PCM).
- 2) Detector de voz
- 3) Sincronizador de canal
Teniendo la modalidad para la transmisión y recepción.
- 4) Módem de modulación por fase (Módem - - 4PSK)
- 5) Sintetizador de frecuencia

Se muestra a continuación la organización de una terminal SPADE.

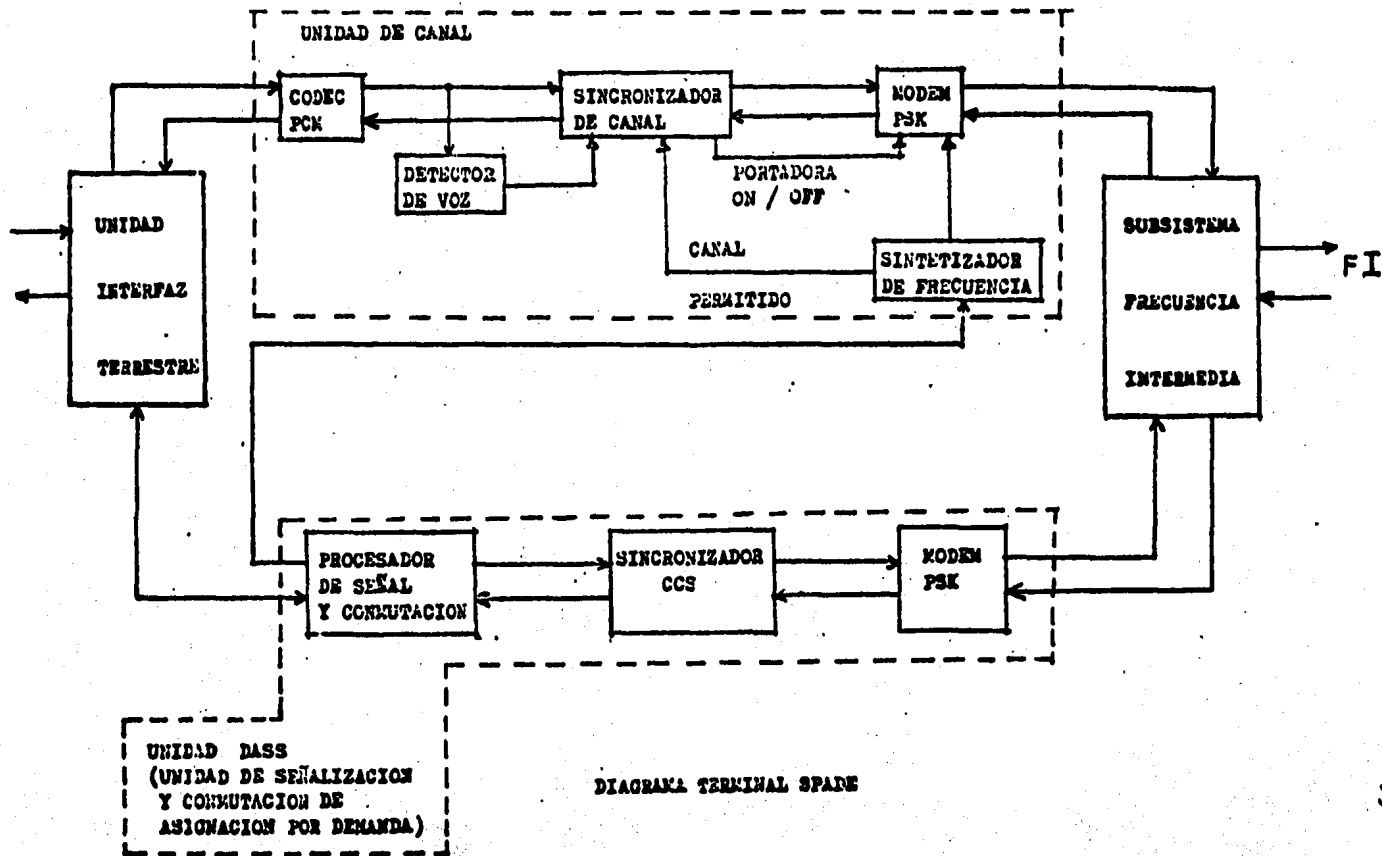


DIAGRAMA TERMINAL SPACE

10.2) PLAN DE FRECUENCIAS EN LA TERMINAL SPADE.

La asignación de frecuencias que se tiene en la terminal SPADE esta de acuerdo al uso que se tenga en las unidades que la componen ya sea la Unidad de Canal y la Unidad DASS.

En la unidad de Canal la modulación de los circuitos telefónicos del sistema DAMA se hace por PCM/PSK/FDMA.

Cada canal de circuito telefónico ocupa 45 KHz en la banda de radio frecuencia y entre las portadoras de RF agrupadas en pares de un circuitos telefónico hay una separación de 18.045 MHz.

En la unidad DASS la vía de acceso que se tiene es en el canal común de señalización (CCS), la modulación de CCS del sistema DAMA se hace por PSK/TDMA.

(Modulación bifásica y acceso múltiple por distribución en el tiempo).

Este canal ocupa 160 KHz (+80KHz) del ancho de banda de radio frecuencia y su portadora está a 18.045

MHz del centro de la banda RF del sistema DAMA hacia el extremo inferior de la misma.

La banda del sistema DAMA ocupa un ancho de banda de 36 MHz y tiene un piloto de referencia en su centro.

La portadora del CCS está a 18.045 MHz por debajo del piloto de referencia. Cuando esta separado por 45 KHz el ancho de banda RF de la red DAMA puede transmitir 800 portadoras de canal RF.

Este ancho de banda RF en la red DAMA se encuentra numerada del 1 al 800, las portadoras 1 y 400 estarán a 17.9775 MHz y 22.5 KHz respectivamente por debajo del piloto de referencia, el número 401 y el número 800 - estarán a 22.5 KHz y 17.9775 MHz respectivamente por encima del mismo.

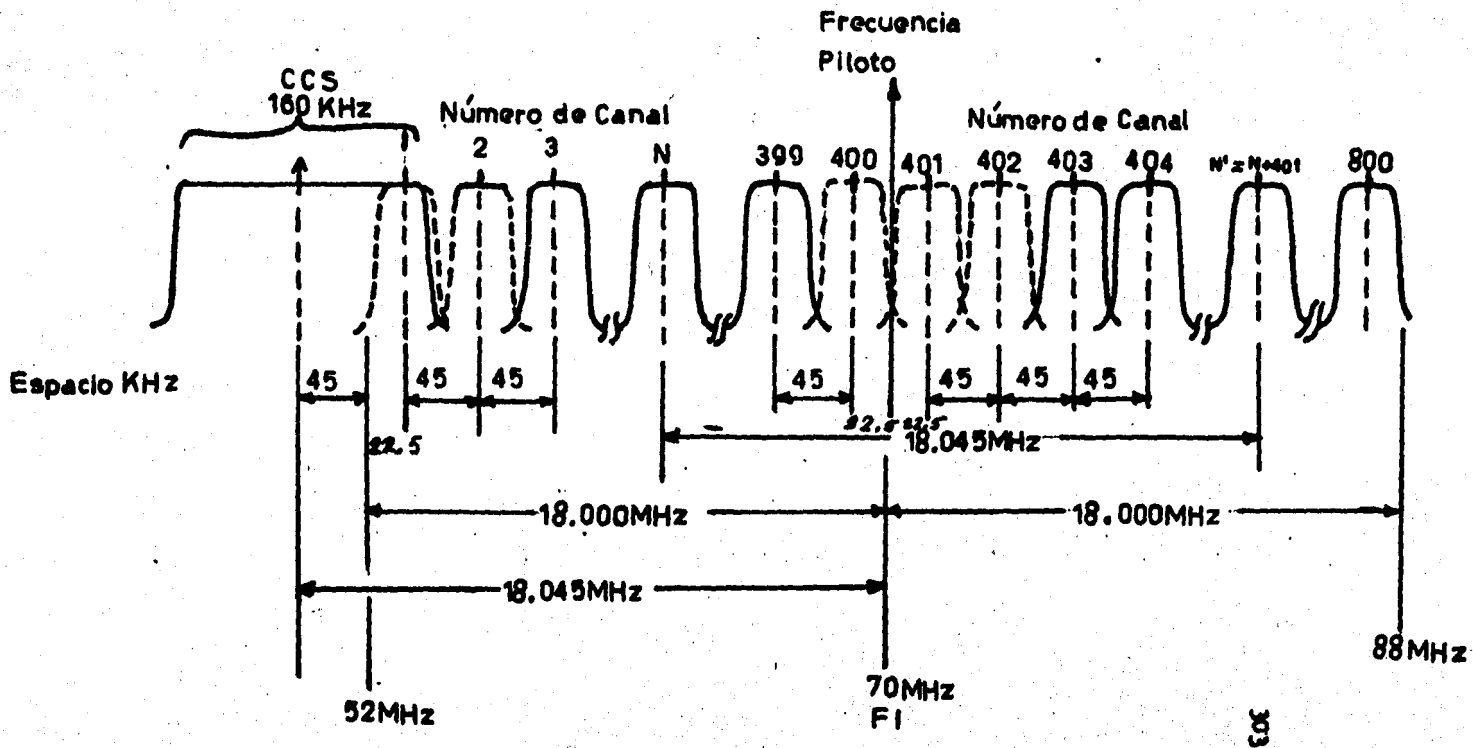
De los 400 pares de frecuencias se pueden sólo utilizar 397, las portadoras 1 y 2 y sus pares de -- frecuencias afines números 402 y 403 no se pueden utilizar por estar muy cerca de las portadoras del CCS.

Las portadoras números 400 y 401 tampoco se pueden utilizar por estar muy próxima al piloto de referencia.

Existen dos pares de frecuencias disponibles el primer par va desde el número 3 (a una frecuencia de - 17,8875 MHz por debajo del piloto de referencia) hasta el número 399 (a una frecuencia de 67.5 KHz por debajo del piloto de referencia). El segundo par va desde el número 404 (a una frecuencia de 157.6 KHz por encima del piloto de referencia) hasta el número 800 (a una frecuencia de -- 17,9775 MHz por encima del piloto de referencia) lo que - hace un total de 397 pares de frecuencia para realizar la comunicación entre 2 terminales SPADE.

Se muestra a continuación el plan de frecuencias, la forma de mantener un control de DAMA es por medio de un piloto de referencia y el canal de señalización.

La coordinación de la operación entre las - terminales SPADE de la red se logra mediante un canal de ordenes que utiliza la portadora número 403 y dos circuitos de servicio que emplean pares de frecuencias asignadas por demanda.



OPERACION FUNCIONAL DE LA TERMINAL SPADE.

La terminal SPADE ofrece servicio de circuitos telefónicos y señalización de llamadas según sea necesario para iniciar, supervisar y terminar todas las llamadas de modo sistemático.

Para iniciar la operación es necesario tener una forma de control en la terminal SPADE para establecer la comunicación telefónica, existen dos unidades de operación que son:

- a) La unidad DASS también conocida como unidad de señalización y conmutación de --
asignación por demanda.

Esta unidad mantiene comunicación con -
otra unidad igual por medio del satéli-
te para llegar a establecer las condicio
nes de operación que debe tener la termi
nal SPADE y así lograr la comunicación
de voz.

- b) La unidad de canal, mantiene una interac
ción con la unidad DASS ya que de esta
unidad envía una orden para que la uni-

dad de canal opere y se entable la comu
nicación entre dos usuarios.

OPERACION DEL SISTEMA SPADE.

Debemos considerar que se desea establecer la comunicación telefónica entre dos abonados a través de las terminales SPADE correspondientes.

Consideramos la transmisión del abonado "A" al abonado "B", para esto se tiene la existencia de la -- terminal SPADE "A" y terminal SPADE "B".

Primeramente el abonado "A" desea establecer comunicación con el abonado "B" vía telefónica, se establece el contacto con el centro de tránsito (CT) conocido también como central telefónica que corresponde al abonado - "A".

La CT de "A" establece comunicación con la unidad de interface terrestre de la terminal SPADE "A", - la unidad de interface terrestre nos servirá para saber - identificar el trayecto de transmisión ya sea hacia la -- UNIDAD DASS como también a la UNIDAD DE CANAL.

La unidad de interface terrestre nos ayudará a proteger a la terminal SPADE de un falso funcionamiento producido por corriente de voz, ruidos en los circuitos de la misma terminal a otras corrientes que circulen por la línea.

La unidad de interface terrestre identifica que ruta debe tener la comunicación y realiza la transmisión a la UNIDAD DASS para entablar una ruta de información vía canal común de señalización (CCS), operando en el modo de transmisión TDMA para la participación de las estaciones terrenas.

Cuando se desea establecer una llamada telefónica es necesario que las dos estaciones terminales - - SPADE hagan uso cada una de su UNIDAD DASS correspondiente para que ésta haga la asignación de un canal de frecuencia.

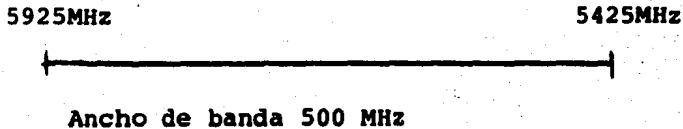
En el sistema DAMA las funciones de cada terminal SPADE se coordinan mediante la información transmitida entre ellas por el canal común de señalización - - (CCS) al cual todas las terminales tienen acceso. Para llegar a intercambiar información dos terminales SPADE y así poder establecer la comunicación telefónica se requie

re de la modulación del canal común de señalización (CCS) del sistema DAMA en PSK/TDMA. Este canal ocupa 160 KHz - del ancho de banda de radio frecuencia y su portadora está a 18.045 MHz del centro de la banda RF del sistema DAMA - hacia el extremo inferior de la misma.

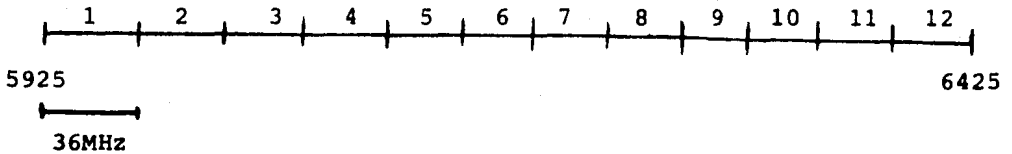
La banda RF del sistema DAMA ocupa un ancho de banda de 36 MHz y tiene un piloto de referencia en su centro que corresponde a una FI=70MHz.

La modulación de los circuitos telefónicos del sistema DAMA se hace por PCM/PSK/FDMA, cada canal de circuito telefónico ocupa 45 KHz en la banda de radio frecuencia y entre las portadoras RF agrupadas en pares de - un circuito telefónico hay una separación de 18.045 MHz.

Se muestra a continuación la organización - de la banda del satélite.



Si se dividen en 12 transponders tendremos:



La UNIDAD DASS para realizar la comunicación entre 2 terminales SPADE requiere de un control para el buen funcionamiento del sistema, la manera de poder realizarlo es por medio del procesador de señalización y comunicación (PSC) y el canal común de señalización (CCS).

Para el PSC deberá por lo menos realizar las funciones siguientes:

- a) Procesar hasta 60 llamadas, de entrada y salida en conjunto, originadas aleatoriamente.
- b) Establecer el interfaz para los circuitos terrestres de control
- c) Establecer la interfaz con el canal común de señalización para transferir los datos entre las terminales SPADE.
- d) Establecer la interfaz hombre-máquina -

para la representación visual de telemandos, alarmas y del estado de los equipos.

La unidad de interfaz terrestre mantiene relación con:

- a) La UNIDAD DE CANAL ya que esta es activada y desactivada de acuerdo a la selección de frecuencia que se haya hecho en la UNIDAD DASS. El PSC y la interfaz terrestre pueden controlar entre 1 y 60 unidades de canal.
- b) La UNIDAD DASS ya que ayuda a mantener un registro en forma de memoria para tener un control en las señales de entrada y de salida.
- c) Mantendrá interfaz de señalización terrestre dependiendo del número de circuitos telefónicos que esten funcionando.

CANAL COMUN DE SEÑALIZACION

El canal común de señalización (CCS) en el que las terminales SPADE de la red DAMA comparten una dis

tribución en el tiempo para intercambiar información de -
señalización entre unidades.

La manera de poder transmitir la información es por medio de TDMA (Acceso Múltiple por distribución en el Tiempo). Cada terminal SPADE puede realizar la transmisión en un tiempo de 1 m seg, si se consideran 50 terminales SPADE la trama de transmisión es de 50 milisegundos.

Como se debe de tener una sincronización en la transmisión, se tiene una terminal SPADE como referencia. A la ráfaga de referencia se le asigna un intervalo de tiempo para sincronizar la red DAMA.

Se debe tener especial atención para las -- terminales SPADE para que cumplan con la función de referencia, ya que en caso de que la estación de referencia - asignada no cumpla con su transmisión en el momento señalado, se tenga otra terminal SPADE de referencia de manera auxiliar, cabe aclarar que cualquier terminal SPADE de la red DAMA podrá desempeñar la función de referencia.

La terminal de referencia transmite la ráfaga de datos de referencia, mientras que las otras termina

les SPADE transmiten sus ráfagas de datos locales.

Toda la señalización entre las unidades de las terminales de asignación por demanda se efectuará por el canal común de señalización que es encaminado a través del satélite.

Todas las terminales de asignación por demanda de una determinada comunidad de países compartirán el CCS sobre la base de distribución en el tiempo o sea - que cada terminal operativa transmitirá por lo menos una ráfaga corta de datos locales de información de señalización dentro de cada tiempo del sistema, de tal manera que el satélite las reciba consecutivamente (sin que se superpongan) y luego las "retransmita" a todas las terminales SPADE.

De esta forma, cada terminal, transmite una sola ráfaga de datos locales en un momento prescrito dentro de cada trama de tiempo del sistema y recibirá de todas las terminales operativas, una ráfaga de datos locales en cada una de las tramas en que no se transmite.

Quando se instala un sistema en cada esta--

ción de la red se le asignará una posición de ráfaga en el canal común de señalización.

Se programará este número de estación para introducirlo en el equipo que descodificará exclusivamente el contenido del contador de ráfagas a fin de detectar el número asignado.

Cada trama constará de 50 intervalos de ráfagas iguales (uno de referencia, uno de prueba y 48 para terminales) de 1 milisegundo de duración cada uno.

Cabe señalar que deberá ser factible asignar todas las terminales de asignación por demanda a cualquiera de las 48 intervalos de ráfagas disponibles, pero que una vez efectuada la asignación durante cualquier periodo operativo específico, sólo podrá transmitir dentro de ese intervalo.

Además, si una terminal (o terminales) no transmitiese en una o más de las tramas de tiempo del sistema, esa omisión no afectará la operación de las otras terminales activas, si las demás terminales SPADE tendrán que cambiar el intervalo que les fué asignado para trans-

mitir sus ráfagas.

Por medio del canal común de señalización - se podrá intercambiar información para la asignación de - canales telefónicos cuando estos son solicitados.

La UNIDAD DASS marca la ruta de la información vía CCS operando en el modo de transmisión TDMA para la participación de las estaciones terrenas.

Al iniciarse esta ruta, la estación A requiere de la localización de una frecuencia en particular para una llamada utilizando una tabulación de frecuencias continuamente revisadas vía CCS.

La estación B, ya que éste es el destino de la llamada, los monitores del canal común de señalización anotan el registro de la estación A y la frecuencia que - se usa.

Si ninguna otra estación ha requerido esa - frecuencia antes de la estación A la estación B solicita la transmisión de llamada, asigna la frecuencia al equipo del canal y procede a verificar en forma continua y establece el contacto por medio de la vía de CT.

La estación A monitorea el CCS entre el tiempo que es solicitada una frecuencia y el tiempo que se requiere para recibir su propia solicitud para poder transmitir (el tiempo es de 240 milisegundos).

Si durante ese tiempo, otra estación terrena ha solicitado la misma frecuencia, tanto las estaciones A y B, tendrían que registrar como un punto de localización ocupado en sus registros y por lo tanto la estación A tendría que iniciar una nueva solicitud de frecuencia.

Para minimizar los errores en la solicitud de frecuencias para asignar la frecuencia, cada estación revisa en forma periódica la lista de frecuencias disponibles que se encuentra almacenadas en la unidad DASS. Se debe mencionar que la escala de tiempo para el acceso al CCS ocurre cada 50 milisegundos y que la duración de acceso al satélite es de 1 milisegundo. La estación A puede por lo tanto iniciar otras llamadas considerando que en un caso determinado es una estación de referencia. Puede considerarse que cuando la estación A está dejando a que otras estaciones terrenas transmitan, ahora ésta espera a que la estación terrena B responda con la señal y frecuencia adecuada en el tiempo que ya se tiene establecido.

Cuando se selecciona el canal de frecuencia se puede decir que se empieza a entablar la comunicación telefónica entre la terminal "A" y "B".

La frecuencia seleccionada se envia desde el Procesador de señalización y conmutación (PSC) hacia la UNIDAD DE CANAL haciendo uso de un sintetizador de frecuencias. Este sintetizador de frecuencias deberá poder generar una de 800 portadoras a intervalos de $45 \text{ KHz} + 50 \text{ Hz}$ dentro de un ancho de banda total de 36 MHz, el ancho de banda por canal es de 38 KHz.

La selección de la frecuencia de canal se hara por el número de canal, los canales estarán numerados desde el 1 al 800 comenzando con la frecuencia de portadora más baja.

Esta frecuencia es usada para la portadora que se emplea para transmitir y la del oscilador local en el receptor.

Cada vez que se asigne un canal para entrar en servicio, el procesador de señalización y conmutación emitirá una señal de activación de canal con la que se ac-

tivará o desactivará el sintetizador. De no producirse - esta señal, el sintetizador permanecerá desactivado.

Cuando se tiene la frecuencia seleccionada se activa el MODEM DE CANAL, la UNIDAD DASS efectúa una - prueba hacia la CT del abonado A con la ayuda del PSC y de la UNIDAD DE INTERFACE TERRESTRE, aquí prácticamente se da aviso para que se realice la comunicación telefónica entre ambos abonados.

Una vez que la llamada ha sido establecida, la señal analógica recibida por la UNIDAD DE CANAL es enviada a un CODEC PCM (codificador-decodificador PCM), que transforma la voz analógica en señales digitales para - - transmitir las y las señales numéricas en señales analógicas al recibirlas.

Se considera una subunidad de codificación y decodificación PCM (modulación por pulsos codificados) de un solo canal de voz que forma parte de la unidad de canal. Este codificador-decodificador está basado en una codificación de 7 bits y una velocidad de muestreo de 8000 muestras/seg.

La señal PCM estará cuantizada a 128 niveles, teniendo 7 bits/símbolo. El siguiente cuadro se muestra el formato del código tal como aparece a la salida del codificador. La razón de transmisión del codificador es de --
56 000 $\frac{\text{bit}}{\text{seg}}$.

FORMATO DE CODIGO PCM

Nivel	Código
127	1111111
119	1110111
111	1101111
103	1100111
95	1011111
87	1010111
79	1001111
72	1001000
71	1000111
65	1000001
64	1000000
63	0000000
62	0000001
56	0000111
55	0001000
48	0001111
40	0010111
32	0011111
24	0100111
16	0101111
8	0110111
0	0111111

En cuanto a las condiciones del DECODIFICADOR PCM:

La señal de entrada al decodificador provenirá de la unidad sincronizadora del receptor a una tasa de bits idéntica a la de la señal que sale del codificador.

El decodificador operará con un reloj de 56 KHz y una señal de regulación de tramas de 8 KHz suministrada por la unidad sincronizadora de recepción.

El contenido del canal de voz que proviene desde el CT es detectado por el DETECTOR DE VOZ el cual es usado para activar y desactivar la portadora de canales al hacer esto se puede ahorrar potencia en el satélite en función de la actividad del orador.

La señal de entrada al detector de voz estará formada por la corriente de bits numéricos procedentes del codificador PCM. Además el detector de voz recibirá las señales utilizadas para regular los bits y las tramas.

La importancia que se tiene en el detector

de voz es que se realiza la activación de este en (ON) -- cuando se capta la señal de voz a un cierto nivel de potencia, cuando no hay señal de voz su posición ahora es en (OFF).

Cualquier canal que se utilice para cursar - telefonía deberá poder activar la portadora solamente cuando esté presente la voz captada por el detector de voz.

El detector de voz permanecerá activado en la posición (ON) por un periodo de 150 a 200 milisegundos y actuará en una banda limitada de 300 Hz a 4200 Hz.

La corriente de bits numéricos que entra y sale del codificador-descodificador de voz es sincronizada por el sincronizador de transmisión y recepción, que realiza funciones de regulación, memorización y alineación de trama.

El sincronizador de la UNIDAD DE CANAL tiene la función de remover ciertas ambigüedades y ayudar a un buen funcionamiento entre el equipo transmisor y receptor de dos terminales SPADE.

La sincronización ayudará a tener un control en las señales binarias en los datos PCM, la señal de control a usar es el preámbulo y este debe ser insertado para la transmisión y para la recepción se necesita descomponer la señal PCM y así obtener la señal de información deseada. La razón de transmisión del sincronizador se ve incrementada a 64 K bit/seg.

Cabe hacer notar que la sincronización se emplea tanto para la transmisión y recepción se muestra a continuación las características del sincronizador para ambos casos.

El sincronizador de transmisión de voz:

- 1) Utilizará la señal de detector de voz -- para comenzar el preámbulo al principio de cada ráfaga de señales de voz, a fin de suministrar una señal apropiada para recuperar la portadora y el reloj en el receptor distante.
- 2) Combinará una secuencia de bits únicas, llamada iniciación de mensaje, con los datos de voz codificados en PCM para sin

cronizar las tramas. Para esto se ha considerado el formato de los datos de salida consistirá en un preámbulo al principio de cada ráfaga.

El sincronizador de transmisión aceptará datos PCM a 56 Kbits/seg e insertará palabras para la iniciación del mensaje cada 224 bits para obtener el formato definido, cuyas características serán las siguientes:

Preámbulo

Secuencia de recuperación de portadora	20 bits de "1" en el canal A 20 bits de "1" en el canal B Ambas corrientes a 32 Kbit/seg, 625 μ seg.
Recuperación de la regulación de bits.	40 bits de "0" y "1" alternados en cada canal a 32 Kbit/seg, 1250 μ seg, seguidos de la primera iniciación de mensaje.

Trama de datos en la salida:

Iniciación del mensaje.

Palabra única de 16 bits -
en cada canal para la sin-
cronización

(total: 32 bits)

Palabra # A 0010000001110101

(canal A)

Palabra # B 0001010011011100

(canal B)

Datos de voz PCM

112 bits de datos de voz en
cada canal a 32 Kbit/seg.

(total: 224)

(bits impares en el canal A,
pares en el canal B.

El primer bit de la palabra
PCM transmitido es el más -
significativo).

La importancia que se debe considerar en la
transmisión de datos es que si el detector de voz se encuen-
tra en la condición (ON) es decir condición de activación
se procesan el formato de datos.

Si no hay presencia de voz no hay formato de datos y por lo tanto el detector de voz se encuentra en la condición de desactivación (OFF).

El sincronizador de portadora activado hará un muestreo del detector de voz a la velocidad de palabras PCM y luego sincronizará las palabras. También enviará -- una señal al generador de preámbulos con la cual comenzará el preámbulo de sincronía con la portadora activada, también utilizará la señal de activación de canal procedente del PSC ya sea para activar o para evitar la activación de la portadora de canal.

El generador de preámbulo funcionará a razón de 64 Kbit/seg, el preámbulo pasará directamente al excitador del módem (modulador-demodulador) de la UNIDAD DE CANAL.

El excitador del módem actuará como interfaz entre el sincronizador de transmisión y el módem de 4 fases. Convertirá la corriente de datos combinada de 64 Kbit/seg, en dos corrientes de bits de 32 Kbit/seg cada una.

Al ocurrir la transición a la condición de activación de la portadora este excitador será fijado inicialmente en estado "1" en cada salida. De ahí en adelante, el primer bit y todos los demás bits impares del preámbulo más los datos que sigan pasarán por la compuerta hacia la entrada del canal A del módem, mientras que los bits pares pasarán por la compuerta hacia el canal B.

Entre los bits del canal A y los del canal B no habrá error en saber clasificar las señales de ambos canales.

El sincronizador de transmisión suministrará una señal de ACTIVACION/DESACTIVACION de portadora en sincronía con la señal de ACTIVACION del detector de voz y la regulación de palabras PCM.

El modulador recibirá dos corrientes de datos de 32 Kbit/seg designadas como datos del canal A y datos del canal B.

Esta información digital pasa a un módem PSK de 4 fases que modula la frecuencia portadora que se genera en el sintetizador de frecuencias en la UNIDAD DE CANAL.

La demodulación se realiza en forma coherente para recobrar la portadora y el espaciamiento de los bits asociados con las señales recibidas.

El modulador PSK recibirá las dos corrientes de datos procedentes del sincronizador de transmisión de voz "datos del canal A" y "datos del canal B" a razón de 32 Kbit/seg cada una, envía al subsistema FI una portadora modulada o controlada continuamente por ráfaga, los datos del canal A y del canal B generarán las fases de la portadora IF como aparece en el siguiente cuadro:

	Canal A	Canal B	Fase resultante
Fase de referencia	1	1	0°
	0	1	+ 90°
	0	0	+180°
	1	0	+270° (-90°)

La fase de la portadora que está en proceso de modulación se mantendrá dentro de un margen de $\pm 1.5^\circ$ respecto de la fase nominal resultante en toda la gama de las frecuencias de entrada de la fuente.

Una señal de activación/desactivación (ON/OFF)

proviene del sincronizador de transmisión.

La transmisión de la condición de activación a la desactivación se hará en sincronía con la señal de activación que el detector de voz envía al sincronizador de transmisión.

Con lo que respecta al DEMODULADOR DE LA UNIDAD DE CANAL se tiene lo siguiente:

- 1) Recibe el subsistema FI un espectro FDM de portadoras moduladas y recupera del canal deseado un reloj coherente en sincronía con los datos demodulados.
- 2) Recibe del sintetizador de frecuencias la frecuencia asignada para la unidad de canal.
- 3) La señal de entrada al demodulador estará compuesta de ráfagas moduladas de información. Así pues será necesario recuperar, ráfaga por ráfaga, la portadora y la regulación de los bits.

El intervalo entre ráfagas será aleatorio, pero mientras una portadora este activada, la palabra de iniciación del mensaje aparecerá cada 4 milisegundos --

aunque no ocurran transiciones de bits entre cada intervalo. Una vez recuperada la regulación de los bits se mantendrá mientras se estén recibiendo la portadora y la palabra de iniciación del mensaje.

Después de recibir el preámbulo se sincronizará el demodulador y se prestará para recuperar la información.

La portadora modulada tanto de entrada como de salida pasan a través de un sistema de frecuencia intermedia en modulación PSK, la portadora usada por el módem del CCS se pasa a través también del subsistema de frecuencia intermedia.

Cuando se llegué a concluir la comunicación, una señal de control proveniente de la CT permite a la UNIDAD DASS devolver ese circuito que se uso al conjunto de canales del sistema SPADE para volver a asignarlos, esta información se comunica a todas las estaciones por medio del CCS.

La disponibilidad de la terminal SPADE es de 99.99% en el tiempo. Esto se aplica desde una unidad de canal hasta la interfaz con los sistemas de amplificadores de bajo ruido y alta potencia.

11) SISTEMA TDMA**11.1) DESCRIPCION DEL SISTEMA TDMA .**

Se considera que una terminal de tráfico que transmita a razón de 120 Mbit/seg. En modalidad de Acceso Múltiple por División en el Tiempo (TDMA), el sistema TDMA será usado con los satélites INTELSAT V y posteriores. La utilización del equipo TDMA con los satélites INTELSAT V - exige que el equipo funcione con transponders hemisféricos y de zona de 80 MHz en 6/4 GHz y con transponders de haz - de pincel en 14/11 GHz.

Cuando se use en los satélites posteriores - al INTELSAT V se espera que el equipo funcione con los -- transponders conmutables a bordo del satélite.

Por lo que respecta a las coberturas ~~de los~~ haces de las antenas del satélite se debe de considerar -- que estos cubren diferentes estaciones terrenas. Cada haz esta conectado a uno o más transponders para las transmisiones de los enlaces ascendentes y descendentes considerando la reutilización de frecuencia, en este caso si tenemos dos haces correspondientes o un mayor número de ellos son considerados como haces distintos.

En TDMA la información no debe de interferir se una a la otra para que pueda ser transmitida a través del satélite, ya que se manejan muchas señales en un repetidor común. La técnica TDMA ofrece un número de ventajas sobre la técnica FDMA; específicamente brinda un incremento en la capacidad y flexibilidad en la operación, se requiere una potencia menor en el enlace ascendente. El prototipo del sistema TDMA esta diseñado para brindar un servicio seguro y en forma superior en comparación con el equipo existente FDM/FDMA.

Este sistema TDMA tiene la ventaja de trabajar con circuitos de estado sólido, haciendo con esto un servicio lo más económicamente posible.

CONFIGURACION TERMINAL TDMA

El siguiente diagrama muestra el equipo terminal. La terminal TDMA, consiste de tres subsistemas:

Módulo de interface terrestre, Módulo de terminal común y el módulo de control.

El módulo interfaz TDMA tiene como función -

recibir las señales terrestres pero a la vez transforma - las señales a un formato básico para que puedan ser anali zadas y procesadas en el módulo de terminal común.

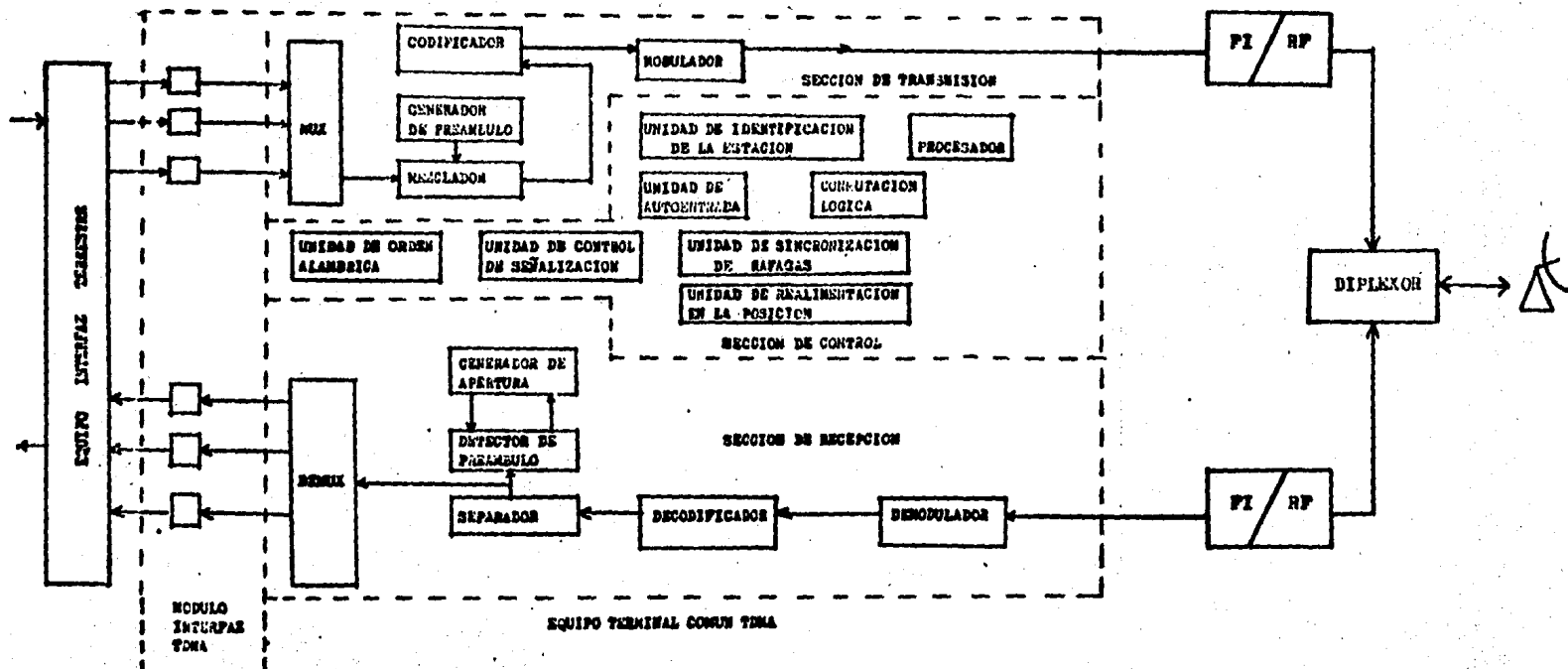
Es tan grande la variedad de señales terres tres que deben de llevar un orden. La terminal común TDMA consiste de tres partes principales:

- 1) El subsistema de transmisión
- 2) El subsistema de recepción
- 3) El subsistema de control

MODULO INTERFAZ TDMA

Las entradas pueden ser empleadas por siste mas PCM/TDMA y varian considerablemente en contenido como: voz, datos, teléfono o ensambles de FDM. Los modos de ope ración: preasignados, asignación por demanda la técnica -- DSI y la técnica PCM.

Se debe de considerar el procesamiento de las señales para que puedan ser facilmente multiplexadas y de multiplexadas.



Un conjunto de módulos, llamados módulos de interface TDMA (TIMs), su principal función es que las señales terrestres son procesadas a un formato para que se optimice la comunicación vfa satélite.

Estos módulos generalmente tienen dos partes:

- 1) La primera parte convierte las señales - analógicas a señales digitales via PCM, codificandolas en la sección de transmisión (de manera inversa es para la sección de recepción).
- 2) La segunda parte es que las señales digitales que provienen de las señales continuas pasan a ráfagas de señales.

En caso de que la transmisión terrestre ya sea digital, el equipo PCM no es necesario.

Hay generalmente dos clases de equipo PCM. El primero, llamado codec PCM (codificador-decodificador) que convierte una señal analógica a una señal binaria PCM y también funciona en operación inversa.

El segundo es el multiplexaje PCM. Esta uni

dad convierte las señales analógicas múltiples a una forma digital y entonces multiplexa esas señales digitales a una fila continua de bits. Cabe señalar que en la unidad TIM las opciones para los módulos interface de la frecuencia - de voz han sido divididas.

La primera opción que se tiene son en cuanto a las opciones de operación preasignada ya que la señal -- tiene que estar situada en una ráfaga TDMA ya que puede ir de un punto a otro punto o de un punto a multipuntos.

La segunda opción es por los módulos que pueden ser adoptados para la asignación por demanda (ya que - aquí se tienen destinos variables)

SUBSISTEMAS DE TRANSMISION/RECEPCION Y CON-- TROL.

La terminal común TDMA tiene tres elementos que operan y son los siguientes:

- a) El subsistema de transmisión generalmen
te funciona procesando la información y
manejandola en forma apropiada a las --

transmisiones que se realizarán.

Esto incluye el multiplexaje de división en el tiempo de acuerdo a las ráfagas de la terminal generación de preámbulo, - - aplicación de energía a una fila de datos y modulación.

- b) El subsistema de recepción funciona con las operaciones en forma inversa a la -- transmisión sobre las señales recibidas y también funciona la generación de apertura para incrementar la seguridad en la detección de las ráfagas.
- c) El subsistema de control es el responsable de la reestructuración completa del sistema tales como: el control, la adquisición inicial en la sincronización de - la ráfaga y el mantener la confiabilidad de la terminal y la operación.

Las operaciones en el subsistema de transmisión son controladas por el multiplexor, en el cual contiene una memoria capaz de dirigir y es activado por un contador de símbolos.

El multiplexor no solamente lee el contenido de las señales que envía el TIM, sino también activa el generador de preámbulo en el cual el preámbulo de la ráfaga de una trama es establecida e inicia una secuencia de dos filas de bit en forma paralela (canales P y Q).

Las dos filas de bits (P y Q) son codificadas ya que así se puede ayudar al demodular en resolver la ambigüedad de la portadora y en la identificación de datos.

En el subsistema de recepción se demodula, - decodifica y separa las ráfagas recibidas.

Entonces varia información de las ráfagas - son distribuidas a sus respectivas unidades de proceso. Se puede mostrar como ejemplo que el detector de preámbulo selecciona el preámbulo de la ráfaga y distribuye a la estación el código de identificación y la posición, el canal de control de señalización y las señales de orden del - - preámbulo recibido, lo cierto es que esta es parte de las señales detectadas en la sección de control.

Estas señales detectadas se conservan también en el subsistema de recepción ya que pasan al genera

ador de apertura y a un contador de símbolos en el demultiplexor.

El subsistema de control es el corazón de -- operaciones en la terminal. El mayor elemento de este sub sistema es una pequeña computadora digital programada para realizar muchas funciones y son las siguientes:

- a) Señalización de entrada/salida.
- b) Reestructuración de los formatos de multiplexor/demultiplexor.
- c) Control en el canal de señalización de acuerdo al formato y la detección de - - error en la codificación y decodificación.
- d) Respuestas debido a la interrupción.

La parte vital del subsistema de control es el mantener la transmisión y la posición relativa de las - ráfagas para evitar la interferencia con alguna otra.

11.2) ORGANIZACION DE INFORMACION TDMA

La manera de poder organizar la información es por medio de una adecuada organización para realizar - la transmisión conocida como trama, cuando se envía la trama de información al satélite esta forma de transmisión se conoce como ráfaga.

En un sistema TDMA se requiere una asigna--ción adecuada de las ráfagas para utilizar eficazmente los recursos de los segmentos espacial y terrestre.

Numerosas formas de asignar las ráfagas dentro de una trama son factibles y las técnicas de computadoras son especialmente útiles para encontrar y evaluar las soluciones.

La necesidad de asignar las ráfagas en los - sistemas TDMA es semejante al requisito de planificar las frecuencias en los sistemas FDMA.

La asignación de las ráfagas entraña la disposición del tráfico en un orden específico dentro de una trama TDMA.

El objetivo de la asignación óptima de las ráfagas es distribuir los elementos de tráfico de tal manera que los recursos de los segmentos espacial y terrestre se utilicen en la forma más eficaz posible.

Hay varios factores afectados por la asignación de ráfagas adoptada:

- 1) El factor de carga de la trama TDMA, es decir, la fracción de la trama que cursa el tráfico en comparación con aquella -- que está vacante ó bien que contiene -- bits suplementarios tal como preámbulos o tiempos de guarda.
- 2) El número de terminales TDMA requeridas, tanto de transmisión como de recepción.
- 3) El nivel de referencia
- 4) La flexibilidad de añadir, selectivamente, canales adicionales sin perturbar a aquellas estaciones cuyos requisitos han cambiado.

Dentro de una trama TDMA los intervalos sin utilizar y los datos suplementarios obviamente reducen la

eficacia de un sistema TDMA. En un sistema TDMA de un sólo transponder o cuando no se dispone de saltos de frecuencias sólo hay medios limitados para aumentar la eficacia mediante el reordenamiento o subdivisión de ráfagas.

Sin embargo, en una operación con múltiples transponders y saltos de frecuencias, una asignación de ráfagas adecuadas puede reducir el número de intervalos de trama no utilizados para un determinado número de terminales TDMA.

Si no existieran limitaciones en materia de equipos de segmento terrestre se podría lograr fácilmente una eficacia de trama del 95% o mayor. Sin embargo, la función de la asignación de ráfagas es alcanzar estas elevadas eficacias dentro de las limitaciones del número disponible de terminales TDMA.

Las limitaciones en materia de equipo entrañan restricciones del sistema ya que reducen el número de ráfagas simultáneas que se pueden procesar, transmitir y recibir en una determinada estación terrena.

Generalmente, por medio de una reordenación

o subdivisión de las ráfagas es posible mantener una eficacia elevada y a la vez minimizar el número de equipos requeridos.

Otro aspecto de la asignación de ráfagas es la posibilidad que ofrece para minimizar los efectos de la interferencia cocanal, es decir, en un sistema TDMA con transponders para la reutilización múltiple de las frecuencias, los aislamientos varían para los diferentes pares de estaciones terrenas.

Mediante el reordenamiento de las ráfagas se podría disponer de cierta flexibilidad que permitiría una interferencia recíproca entre combinaciones diferentes.

Se podrá exigir que las terminales transmitan hacia uno o más transponders y que reciban de uno o más de ellos (salto entre transponders). Esto significa que todos los transponders hacia los que una terminal puede transmitir tengan una regulación común.

A estos transponders se les denomina "comunidad de transponders sincronizados". De forma similar, todos los transponders de los cuales la terminal puede reci-

bir tráfico tendrán una regulación común. Estos también - constituyen una "comunidad de transponders sincronizados".

Las comunidades de los transponders no están necesariamente sincronizadas entre sí.

TRAMA TDMA

Una trama TDMA es un periodo común de 2 milisegundos dentro de una comunidad de transponders sincronizados. Todos los transponders de una comunidad tendrán -- dos ráfagas de referencia por trama RB1 y RB2 y cada una de ellas será transmitida por diferentes estaciones de referencia.

Para efectuar la regulación común en una comunidad, las ráfagas de referencia RB1 contenidas en uno de los transponders de ese tipo según sea designado por INTELSAT, determinan el "inicio de la trama TDMA" (SOF). A este transponder se le denomina Transponder de regulación de referencia (TRR).

La posición de cada ráfaga dentro de una comunidad es remitida al SOF. Un par de ráfagas de referencia (RB1, RB2) en un transponder designado por INTELSAT --

controlarán la terminal. La RB1 de este transponder en relación con la RB1 del TRR es compensada de manera nominal por una cantidad determinada previamente T_i . En la figura 1, se muestran las relaciones de regulación de la trama -- TDMA del TRR, SOF y T_i para una comunidad.

ESTRUCTURA DE LA TRAMA TDMA.

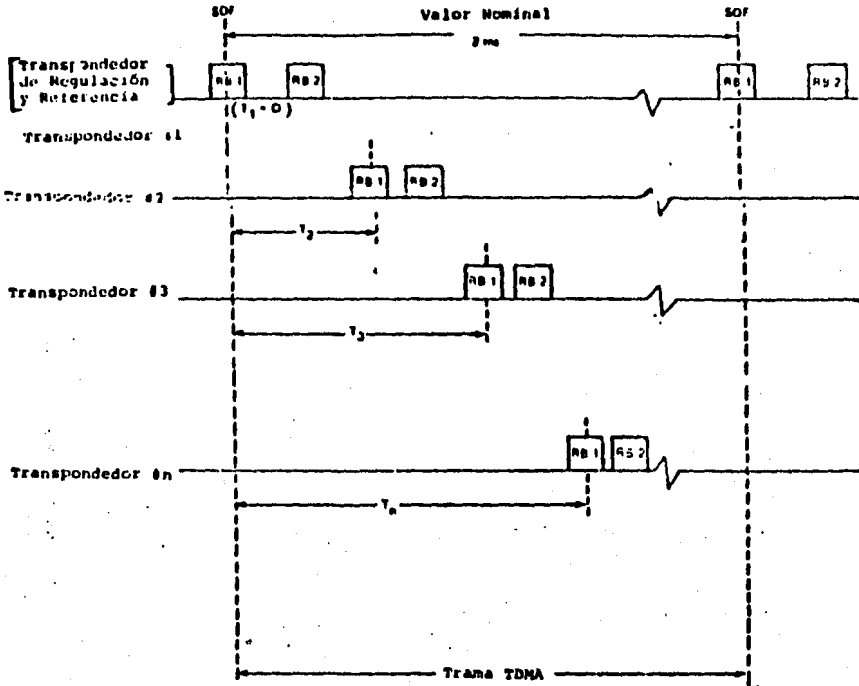
La trama TDMA contiene dos tipos de ráfagas conforme se muestra en la figura 2.

- Ráfagas de referencia (RB1 y RB2)
- Ráfagas de tráfico

En un transponder dado, la RB2 siempre seguirá a la RB1 en la trama INTELSAT fijará su posición nominal en la trama.

La posición nominal y la longitud de las ráfagas de tráfico se asignan a un plan operativo adoptado por INTELSAT.

El tiempo de guarda mínimo fijado entre ráfagas adyacentes es de 48 símbolos. El valor de la posición nominal de una ráfaga de tráfico es un múltiplo de 16 sím-



Nota: Las ráfagas de tráfico pueden aparecer entre RB1 y RB2

FIGURA 1

Relación de regulación, en el satélite, entre TRT, SOF y T_i para una comunidad de transpondedores sincronizados.

$$i = (1, 2, \dots, n)$$

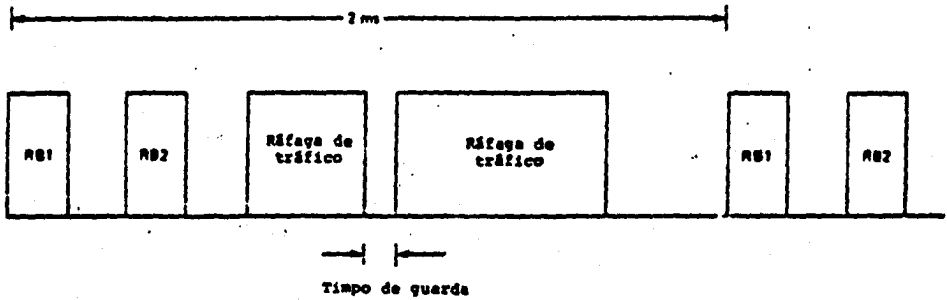


FIGURA 2

FORMATO DE LA RAFAGA

Nota : Las ráfagas de tráfico pueden aparecer entre RB1 y RB2 .

bolos. Cada terminal deberá poder transmitir hasta un máximo de 16 ráfagas no superpuestas y recibir a lo sumo 32 ráfagas no superpuestas.

Las ráfagas de referencia proporcionan información sobre regulación, control y gestión del sistema a las terminales designadas.

RAFAGA DE REFERENCIA

La ráfaga de referencia como se ha podido -- ver son dos, cada ráfaga de referencia es transmitida por una estación terrena que se considera como referencia.

La primera estación terrena de referencia -- transmite la ráfaga de referencia primaria (RB1).

La segunda estación terrena de referencia -- transmite la ráfaga de referencia secundaria (RB2),

Cada transponder será atendido por dos estaciones de referencia, cada estación de referencia generará una ráfaga de referencia por transponder con objeto de:

- a) Proporcionar información a las terminales de tráfico y demás estaciones de referencia.
- b) Proporciona una sincronización en la - - transmisión de las estaciones que sirven como referencia y las demás estaciones - de tráfico.
- c) Se permite controlar la transmisión de - la secuencia de ráfagas.
- d) Se proporciona una sincronización entre varios transponders del satélite a fin - de permitir efectuar saltos de un transponder a otro.

La ráfaga de la estación de referencia se compone de 6 partes contiguas:

- 1) Secuencia de recuperación de portadora y regulación de bits.
- 2) Palabra única. Esta sirve para identificar el número de trama transmitido.
- 3) Canal de servicio. Este actúa en las -- funciones de monitoreo y control interno de la misma estación.

Los canales de servicio que existen son:

- a) Ordenes de teletipo (TTY)
- b) Ordenes de telefonicos (VOW)

4) Canal de control y retardo

La utilidad que tiene es que se manifiesta el número de identificación de la terminal, de referencia, el control que se tiene que realizar para establecer una adquisición y sincronización al registrar una comunicación.

La organización de la ráfaga de referencia - se muestra en la siguiente figura 3.

RAFAGAS DE TRAFICO

Las ráfagas de tráfico cursan el tráfico - - tramitado por el sistema. El tiempo de transmisión de las ráfagas de tráfico es remitido al SOF de la multitrama de transmisión.

Se puede utilizar la codificación con correc

ción de errores hacia adelante en toda la sección de datos de tráfico de las ráfagas de tráfico seleccionadas. Cada ráfaga de tráfico contiene un canal de servicio que se emplea para transmitir mensajes de alarma y retransmitir el retardo usado.

La ráfaga de tráfico consistirá en una sección de preámbulo y tráfico tal como lo muestra la figura 3. El preámbulo contiene 5 partes contiguas: la secuen--cia de recuperación de portadora y de la regulación de - bits, la palabra única, los canales de servicio como de teletipo y telefónico y un canal extra de servicio.

Al preámbulo le siguen los datos de tráfico.

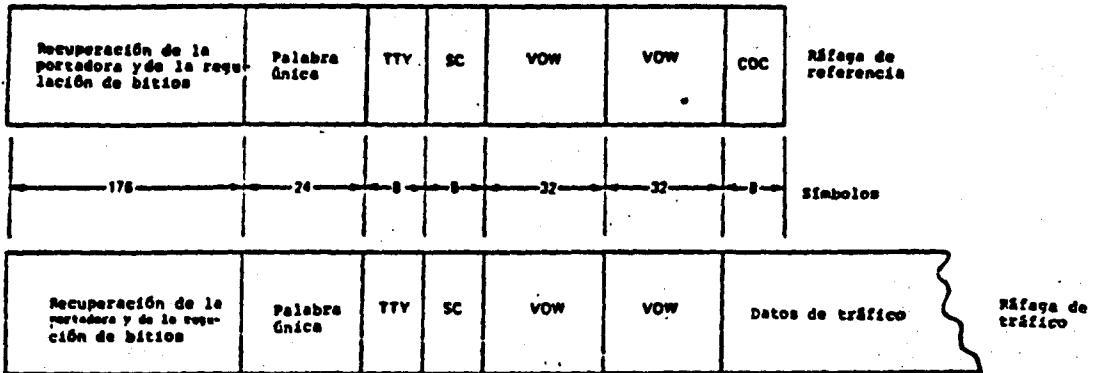


FIGURA 3

FORMATOS DE LAS RAFAGAS DE REFERENCIA Y DE TRAFICO

11.3) ACCESO TDM/PSK/TDMA.

La modalidad que se emplea en TDM es en nuestro caso el de PCM y es el que se usa para realizar la codificación de un canal de voz. En las terminales de este tipo se tienen 120 canales como máximo en cada estación.

Las características fundamentales del sistema son:

- 1) Que el número de estaciones terrenas con acceso sea de 60.
- 2) La capacidad del sistema: 120 canales en cada estación.
- 3) La frecuencia de muestreo en la voz: 8 KHz, código PCM de 8 bits.
- 4) La modulación: manipulación por desplazamiento de fase PSK 4 fases (QPSK)
- 5) La velocidad nominal de transmisión de 120 Mbit/seg.
- 6) Una corrección de errores hacia adelante (FEC) aplicada a ráfagas de tráfico seleccionadas
- 7) Una duración nominal de trama TDMA de 2 milisegundos.

De acuerdo al esquema de una terminal TDMA, las señales de conversión se codifican en forma convencional. Las señales codificadas están controladas por la sección de control para el extremo emisor, obedeciendo a la sección de control del sistema, dichas señales son procesadas pasando al modulador PSK y a las unidades de frecuencia intermedia (FI) y de radio frecuencia (RF).

En el extremo receptor, las señales atraviesan por las unidades de RF y FI, siendo seguidamente demoduladas en el demodulador PSK. Únicamente aquella información destinada a la estación terrena determinada queda registrada en el receptor con la ayuda de la sección de control.

PROCESO DE SEÑALES EN EL EXTREMO EMISOR.

El proceso de señal en el extremo emisor puede descomponerse en las siguientes etapas:

- a) El multiplexaje por división en el tiempo (TDM) puede aplicarse por medio de la técnica PCM para los canales de voz.

- b) Las señales PCM que son un grupo de bits se codifican y se combinan en pares - -- (di bits) y cada una de las cuatro combinaciones son identificadas para realizar la modulación PSK. .
- c) La modulación se realiza en una portadora de FI para después realizar la transmisión a nivel RF para que finalmente se transmita al satélite de acuerdo a TDMA.

PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL EN EL EXTREMO RECEPTOR.

Analogamente a lo que ocurre en el extremo emisor, la sección de procesado de la señal en el extremo receptor comprende de las secciones siguientes:

- a) Demodulador PSK
- b) Sección de control
- c) Decodificador y demultiplexador PCM.

La señal de RF entrante es amplificada, convertida en FI y después se aplica al demodulador PSK.

En la unidad del demodulador PSK comprende - de circuitos para restaurar la portadora y temporización - de los bits a partir de la señal recibida.

El flujo de bits que se tiene a la salida -- del demodulador de 4 fases se aplica a un convertidor para lelo-serie, cuando se tiene esta conversión de paralelo-se rie se tiene la presencia de la sección de control para -- coordinar los bits, solamente los bits destinados a la es- tación seleccionada tienen acceso a la sección de control.

Los bits que se coordinan son posteriormente entregadas en forma de un haz continuo de bits, pasando se guidamente al decodificador PCM. La distribución de los - canales de voz se realiza por medio de conmutadores.

PCM.

Considerando los datos de tráfico la longitud de la sección de datos de tráfico deberá variar en pasos - de 64 símbolos equivalentes a un canal de 64 Kbit/seg. La señal de tráfico codificada en la ráfaga de tráfico deberá tener un formato como se muestra en la figura 1.

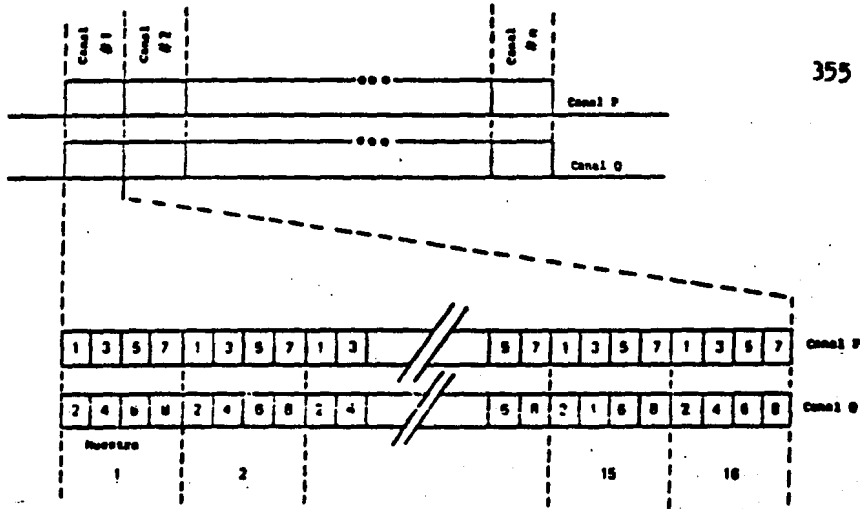


FIGURA 1

Nota : El bit 1 es el más significativo (MSB) de la muestra PCM .
 El bit 8 es el menos significativo (LSB) de la muestra PCM .

FORMATO DE LA CODIFICACION DEL CANAL

La codificación se hará agrupando un bit del canal P con otro bit del canal Q, se realizaran las agrupaciones (P(1), Q (2)), (P(3), Q(4))... etc .

MODULACION PSK

Cuando se tiene la transformación de una señal analógica o digital, se pasa a realizar la modulación.

Las características del Modem funcionarán de acuerdo al siguiente cuadro:

- a) Velocidad nominal de bits: 120 Mbit/seg.
- b) Velocidad nominal de símbolos: 60 Mbauds
- c) Modalidad de operación: ráfagas
- d) Modulación: PSK 4 fases
- e) Demodulación: coherente
- f) Codificación: de manera absoluta es decir se rige a como es en el funcionamiento establecido.
- g) Palabra de sincronización de portadora y de reloj: 176 símbolos ($0, \pi \dots 0, \pi$)
- h) Resolución de la fase: mediante la detección del preámbulo.

La modulación PSK se hará mediante la señal binaria (P,Q) como se muestra a continuación:

MODULADOR

Características de la salida.

Se indica la relación entre los bits que serán transmitidos y la fase de la portadora de la salida del modulador.

Canal P	Canal Q	Desfasaje de la señal transmitida con relación a cero.
0	0	0°
1	0	90°
1	1	180°
0	1	270° (-90°)

DEMODULADOR

Condiciones de funcionamiento.

El demodulador se regirá por los requisitos de desempeño indicados en una modalidad continua de transmisión, cuando está sujeto a las condiciones de funcionamiento señaladas a continuación.

Desviación máxima de frecuencia de la portadora recibida.	+ 50 KHz
Variación de frecuencias entre ráfagas	6 KHz
Número mínimo de ráfagas con una trama	Solamente una ráfaga de referencia en una trama
Margen del nivel de la señal de entrada	12 dB (+2 dB a - 10 dB relativo al valor nominal)
Variación máxima de nivel de una ráfaga a otra entre las portadoras recibidas.	5 dB
Separación mínima entre ráfagas consecutivas.	0 símbolos

En la variación de frecuencias entre ráfagas, si se emplea el salto entre transponders que utilizan osciladores locales separadas, la variación de frecuencias RF entre ráfagas puede alcanzar los 60 KHz.

Las estaciones terrenas podrán optar por otros medios de operación con grandes variaciones entre ráfagas.

El margen del nivel de la señal de entrada podrá reducirse si en la cadena de recepción se utiliza el control automático de ganancia.

PROBLEMAS EN LA PROPAGACION DE LAS ONDAS DE RA
DIO.

EFFECTOS DE LA ATMOSFERA

12.1) Atenuación por gases atmosféricos.

Las ondas de radio que se propagan en la tro
pósfera sufren la influencia de elementos ga
seosos que se encuentran en la misma tropós-
fera. Los elementos gaseosos de la atmósfera
que se consideran es el oxígeno y el vapor -
de agua ya que influyen en la propagación --
por su propiedad refractiva y también porque
pueden absorber energía radio eléctrica.

La absorción experimentada durante la propa-
gación de las ondas radio eléctricas a tra-
vés de la atmósfera en longitudes de onda --
centimétricas o milimétricas se debe princi-
palmente el vapor de agua y al oxígeno de la
atmósfera, no es importante en las frecuen-
cias inferiores o a 3GHz, otros elementos --
constitutivos que son ozono, bióxido de sul-
furo , óxidos nítricos y nitrogénicos, pues
tienen líneas de absorción en la región mili
métrica.

Para un trayecto inclinado o un trayecto tierra

espacio, la expresión de absorción gaseosa total de la atmósfera "Aa" (dB) en un trayecto de longitud "r₀" (km) viene expresada por:

$$A_a = \int_0^{r_0} \gamma_a(r) dr \quad (\text{dB}) \quad - (1)$$

donde representamos a $\gamma_a(r)$ como:

$$\gamma_a(r) = \gamma_o(r) + \gamma_w(r)$$

Considerando que " $\gamma_a(r)$ " es la atenuación específica - - (dB/km) donde:

$\gamma_o(r)$ es el coeficiente de atenuación de oxígeno (dB/km)

$\gamma_w(r)$ es el coeficiente de atenuación de vapor de agua (dB/km)

Considerando el caso de la propagación de las ondas de radio, cuando estas penetran la atmósfera la atenuación se puede expresar de manera conveniente como:

$$A_a(90^\circ) = \gamma_o L_o + \gamma_w L_w \quad (\text{dB})$$

donde " γ_o " y " γ_w " son valores que se determinan desde la superficie de la Tierra en una atmósfera estandar y "L_o" y -

"L_w" representan las longitudes efectivas de la trayectoria para oxígeno y vapor de agua expresadas en (km).

La longitud efectiva de la trayectoria se considera como la distancia que tiene que recorrer la onda de radio a través de una atmósfera hipotética de densidad constante y teniendo presente que la atenuación es la misma tanto en la atmósfera hipotética y en la atmosfera real.

La longitud efectiva de la trayectoria para oxigeno es aproximadamente 8 km y para el vapor de agua es 2 km.

La atenuación total "Aa" para ángulos de elevación "θ" superiores a 10° viene dada por la ecuación:

$$Aa = \frac{8\gamma_o + 2\gamma_w}{\text{sen}\theta} \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

Para ángulos de elevación "θ" inferiores a 10° la atenuación total "Aa" viene dada por la ecuación:

$$Aa = \frac{16\gamma_o}{\sqrt{\text{sen}^2\theta + \frac{16}{R}} + \text{sen}\theta} + \frac{4\gamma_w}{\sqrt{\text{sen}^2\theta + \frac{4}{R}} + \text{sen}\theta} \quad (3)$$

donde "R" es el radio ficticio de la Tierra, incluida la re

fracción expresada en (km) con un valor de 8500 km y que es un valor aceptable.

Por medio de la figura 1 se puede presentar la atenuación específica debido a los gases atmosféricos.

12.2) EFECTO DE LA REFRACCION ATMOSFERICA

Se tiene a consideración que el índice de refracción "n" de la atmósfera esta en función de la altura "h", se puede determinar el índice de refracción de acuerdo a mé todos estadísticos para diferentes climas.

Se calcula el índice de refracción de la atmósfera de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$n = 1 + N \times 10^{-6} \quad (1)$$

siendo "N" la refractividad, su valor se expresa en milloné simas, "N" esta dada por:

$$N = 77.6 \frac{P}{T} + 3.73 \times 10^5 \frac{e}{T^2} \quad (2)$$

p: presión atmosférica (mb)

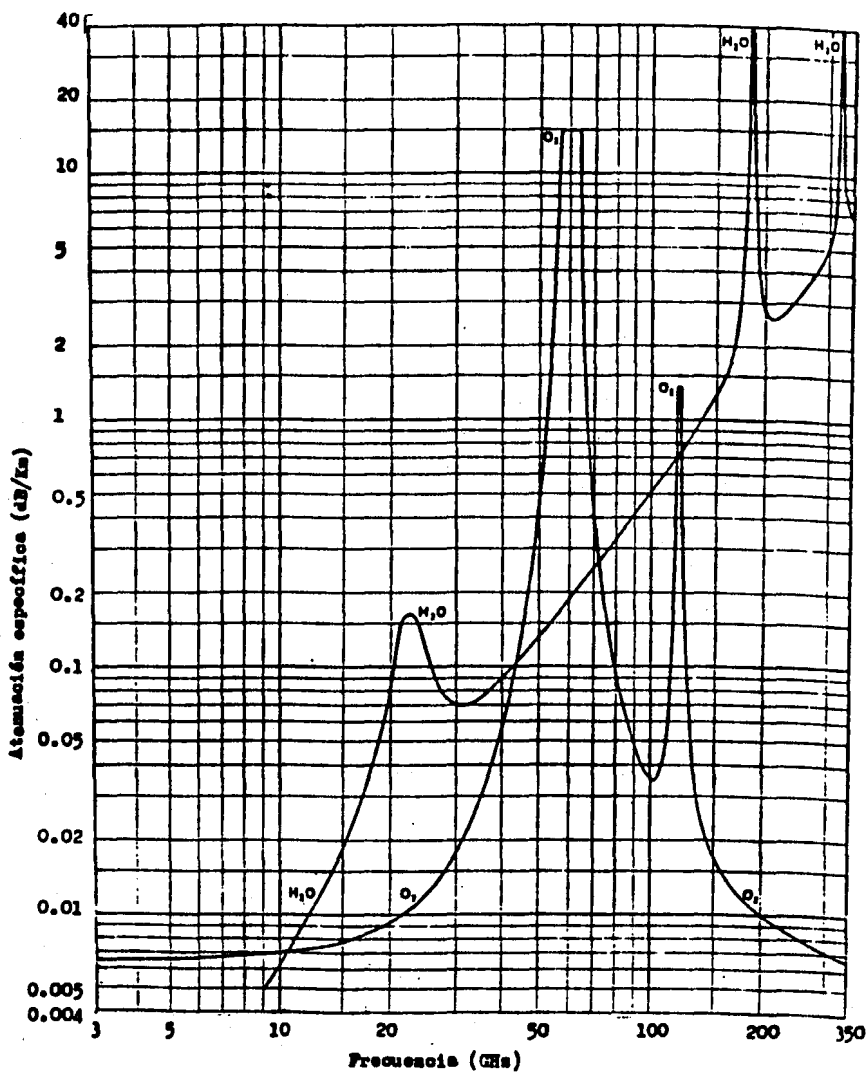


FIGURA 1. Atenuación específica debida a los gases atmosféricos
 Presión 1 atmósfera
 Temperatura 20°C
 Proporción del vapor de agua 7.5 g/m³

e: presión del vapor de agua (mb)

T: temperatura absoluta (°K)

donde 1mm Hg = 1.333 mb

temperatura absoluta, $T(^{\circ}K) = T(^{\circ}C) + 273$

presión del vapor (mb) = (humedad relativa) x

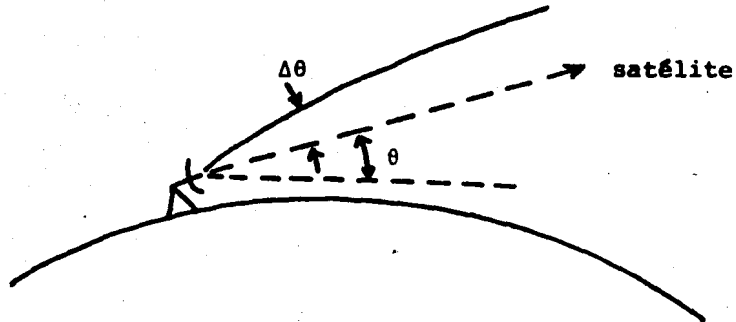
(presión del vapor saturado)

"N" es un parámetro que se utiliza generalmente para describir la variación espacial y temporal del índice de refracción.

La ecuación 2 puede ser utilizadas para todas - las frecuencias hasta 100 GHz con un error inferior al 0.5%. "N" varia principalmente debido a las variaciones en la temperatura y en la concentración del vapor de agua, las variaciones puede producirse en periodos de tiempo que oscilan - de segundos a meses.

La variación vertical de "N" es la causa principal de la refracción atmosférica como la curvatura y el desenfoco del haz, ya que el haz radio eléctrico que atraviesa la porción inferior no ionizada de la atmósfera experimenta una curvatura debido a las variaciones en el índice de - refracción, el efecto no depende practicamente de la frecuencia y es máximo para pequeños ángulos de elevación.

Si se tiene un trayecto oblicuo o trayecto Tierra-espacio la disminución del índice de refracción con la altura producirá un aumento en el ángulo de elevación aparente de una fuente extra terrestre, este ángulo de elevación aparente se presenta debido a las variaciones del índice de refracción, esto se puede observar por medio de la siguiente figura.



Los valores de $\Delta\theta$ son pequeños teniendo en cuenta las variaciones que se presentan en el índice de refracción a lo largo de la trayectoria.

Se ha observado que gran parte de la curvatura de un rayo se produce en la parte más densa y variable de la superficie terrestre, la curvatura puede ser menor si la estación terrena se encuentra ubicada en un lugar elevado ya que así se evitan las regiones densas y atmósfera varia-

ble, la precisión requerida para apuntar una antena es tanto mayor cuando más estrecho es el haz de la antena.

En el cuadro I se muestran los valores medios - de la curvatura de los rayos de acuerdo a $\Delta\theta$ para la propagación a través de la atmósfera.

De acuerdo a la figura 2, como la refracción - de las ondas de radio se debe a la tropósfera de refracción puede incrementarse de acuerdo al bajo ángulo de elevación, aunque estas características cambian precisamente debido a las condiciones meteorológicas y es necesario corresponder a una corrección realizando un rastreo por medio de un programa de control del satélite a un ángulo de elevación bajo, en esta figura el error se representa como $\Delta\theta$.

CUADRO I
REFRACCION ATMOSFERICA

Angulo de elevación (θ)	Curvatura total media de los rayos, $\Delta\theta$	
	Aire con tinental polar	Aire tro- pical má- ritimo
1°	0.45°	0.65°
2°	0.32°	0.47°
4°	0.21°	0.27°
10°	0.10°	0.14°

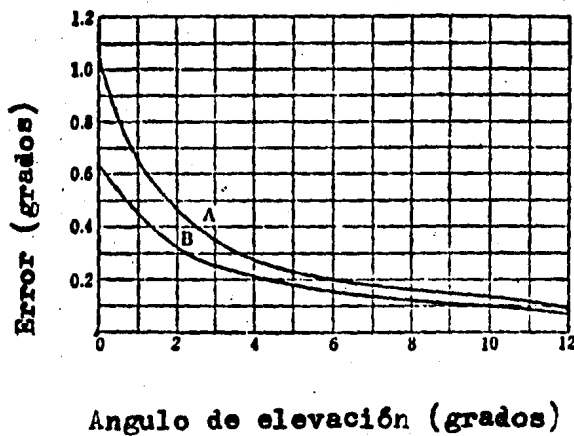


Figura 2. Angulo de elevación con error debido a la refracción troposférica (CCIR)
A) Atmósfera del océano en trópicos .
B) Atmósfera del océano en la región de polos .

Lo que puede provocar con la refracción es que se presenta una atenuación de una señal debido a la dispersión del haz de la antena.

Teniendo en consideración el ángulo de elevación este efecto puede ser despreciable para un ángulo elevación superior a 3° . La figura 3 muestra las pérdidas de enfoque al atravesar completamente la atmósfera debido a los efectos de la refracción atmosférica.

12.3) ATENUACION POR DIFUSION

La atenuación por difusión se presenta debido a las variaciones del índice de refracción, ya que las capas en la tropósfera reflejan parcialmente o dispersan la radiación incidente contribuyendo a formar una señal de dispersión, lo cual tiene como consecuencia una señal débil en la recepción.

Cuando se llegan a presentar variaciones en el índice de refracción se tienen fluctuaciones aleatorias en la amplitud y fase debido a que en el receptor las señales llegan fuera de fase y teniendo interferencias una con - - otras. La magnitud de las fluctuaciones que afectan a la am

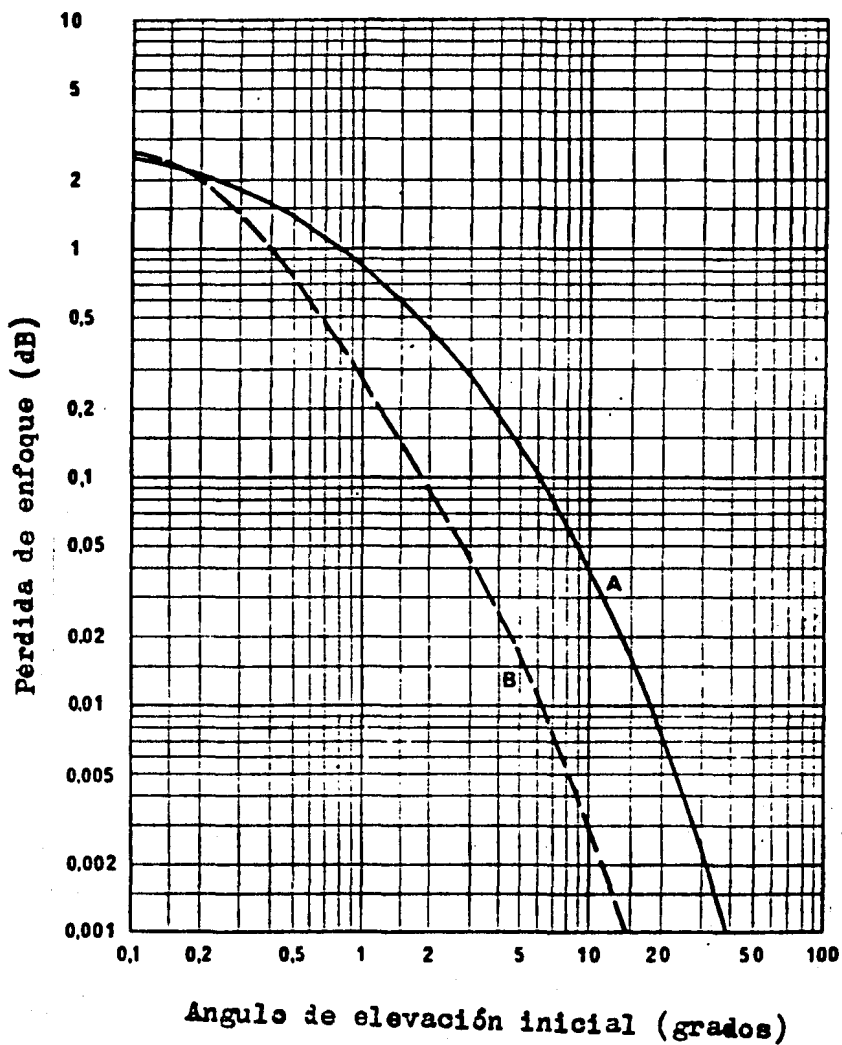


FIGURA 3 . Pérdida de enfoque y desviación típica con respecto a la media .

Curvas A : Pérdida media

B : Desviación típica

plitud de la onda transmitida dependen en gran medida del ángulo de elevación del trayecto. Estas fluctuaciones que ocurren a veces en trayectos horizontales o en trayectos - oblicuos se denominan como "desvanecimiento atmosférico por trayecto múltiple".

En caso de que se presente un ángulo de elevación grande se considera que hay una disminución de la distancia entre la capa turbulenta y la antena, si se llegan a presentar fuertes fluctuaciones en el índice de refracción estas se llegan a detectar por la antena en forma de ruido pero puede reducirse disminuyendo el diámetro de apertura circular de la misma antena. Se muestra a continuación la representación gráfica de la atenuación por difusión.

12.4) CENTELLEO ATMOSFERICO

En las transmisiones con visibilidad directa o en trayectos de ángulo de elevación cuando se presenta una turbulencia atmosférica se llegan a producir rápidamente - fluctuaciones en la intensidad de la señal teniendo como consecuencia que las componentes de dispersión se superponen al rayo directo dando como resultado el "centelleo".

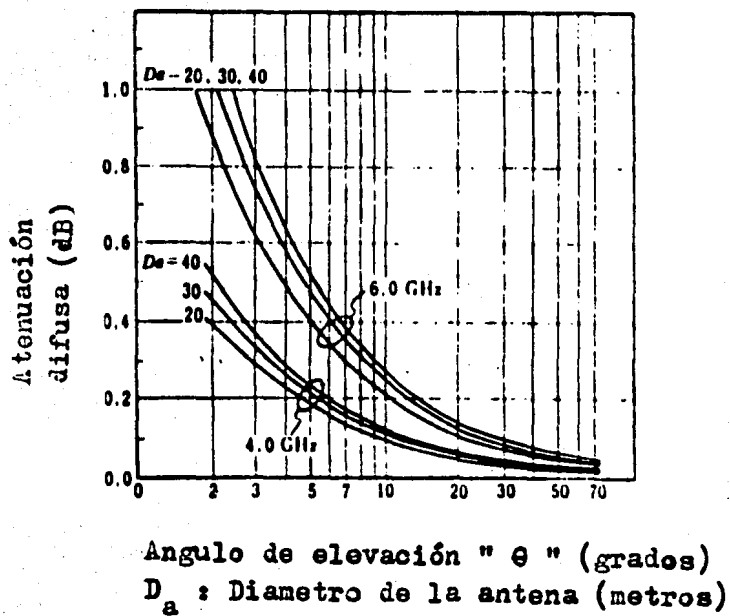


Figura 4 . Atenuación difusa .

El efecto del centelleo se atribuye a la presencia del enfoque y desenfoque que se llega a presentar en la onda electromagnética debido a las irregularidades atmosféricas se considera que este fenómeno no depende de la frecuencia.

Las fluctuaciones de la señal captada cuando se presenta el centelleo atmosférico se expresa por medio de la desviación estandar (σ_x) de la intensidad de la señal:

$$\sigma_x = \frac{1}{2} \log \left[\frac{32}{3} \sqrt{\pi} \overline{\Delta n^2} \left(\frac{L_A(\theta)}{l_0} \right)^3 F(p) \right] \text{ (dB)}$$

$\overline{\Delta n^2}$: es el valor medio cuadrático del índice de refracción promedio.

$L_A(\theta)$: longitud efectiva a través de la atmósfera.

l_0 : longitud de la turbulencia atmosférica.

$F(p)$: es un valor constante que depende del diámetro de la antena y que se define como:

$$F(p) = \frac{1}{p^2} - \frac{e^{-2p^2}}{p^2} \quad I_0(2p^2) + I_1(2p^2)$$

donde $p = \frac{Da}{2l_0}$, siendo "Da" el diámetro de la antena y $I_\nu(z)$ como funciones de Bessel modificadas.

Se han hecho mediciones correspondientes a las frecuencias de 46Hz y 6GHz, usando una antena de 22 metros de diámetro con ángulo de elevación de 5 grados, la intensidad de la señal de acuerdo a una atmosfera estandar tiene el comportamiento de una distribución gaussiana.

La figura 5 muestra la presencia del centelleo atmosférica, teniendo la presencia del ángulo de elevación y los diametros de varias antenas.

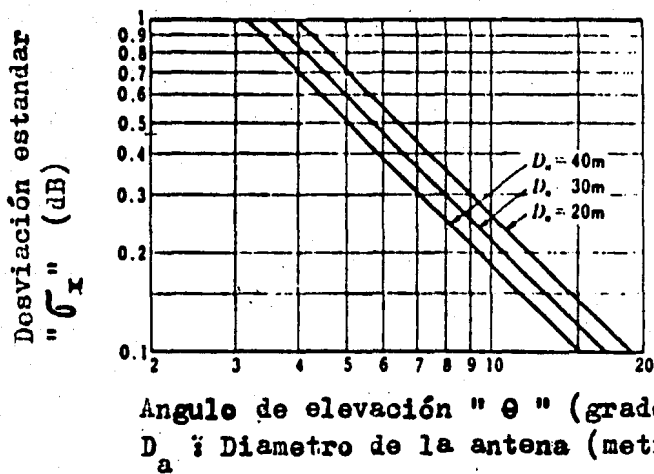


Figura 5 . Centelleo atmosférico dependiendo del ángulo de elevación .

12.5) EFECTO DE LLUVIA

Uno de los más importantes problemas de la propagación de las microondas consiste en determinar la absorción y dispersión en la atmósfera debido a la presencia de la lluvia, y ésta es una parte constitutiva de los efectos que contribuyen al aumento de la pérdida de energía en la transmisión.

La distribución de la precipitación varía considerablemente en diferentes localidades, el diámetro de las gotas oscila entre 0.01 cm y 0.6 cm; las gotas de agua, los cristales de hielo y los copos de nieve actúan como centros de dispersión para las ondas radio eléctricas muy cortas - siendo las minúsculas gotas de agua de las precipitaciones y de las nubes las más importantes.

La atenuación por lluvia se representa a través del coeficiente de atenuación por lluvia " γ_R " representando este término por medio de:

$$\gamma_R = (4.343 \times 10^3) \int_0^{\infty} n(r) Q(a_r, \lambda) da_r \text{ (dB/km)} \quad (1)$$

siendo:

$Q(a_r, \lambda)$ es la sección transversal de una gota -
esférica con radio "a" (centímetro) para
una determinada longitud de onda " λ ".

$n(a_r)da_r$ es el número de gotas por unidad de vo-
lumen en una determinada distancia.

Debe considerarse que la gota de agua produce -
una dispersión y una absorción de la energía electromagnéti-
ca a través del líquido.

Como se presenta este fenómeno debemos de consi-
derar la intensidad de la precipitación pluvial tal como lo
muestra la ecuación 1.

Por medio de la figura 1 se tiene la representa-
ción de la atenuación específica " γ_R " debido a la lluvia, -
teniendo en consideración que la atenuación en la lluvia de-
pende de la distribución de la magnitud de las gotas y de -
la frecuencia. Los calculos de la atenuación específica en
una frecuencia dada en función de la intensidad de la llu-
via dependen considerablemente de la microestructura supues-
ta de la lluvia (distribución del tamaño, temperatura, velo-
cidad, forma de gotas de lluvia y frecuencia de la señal).

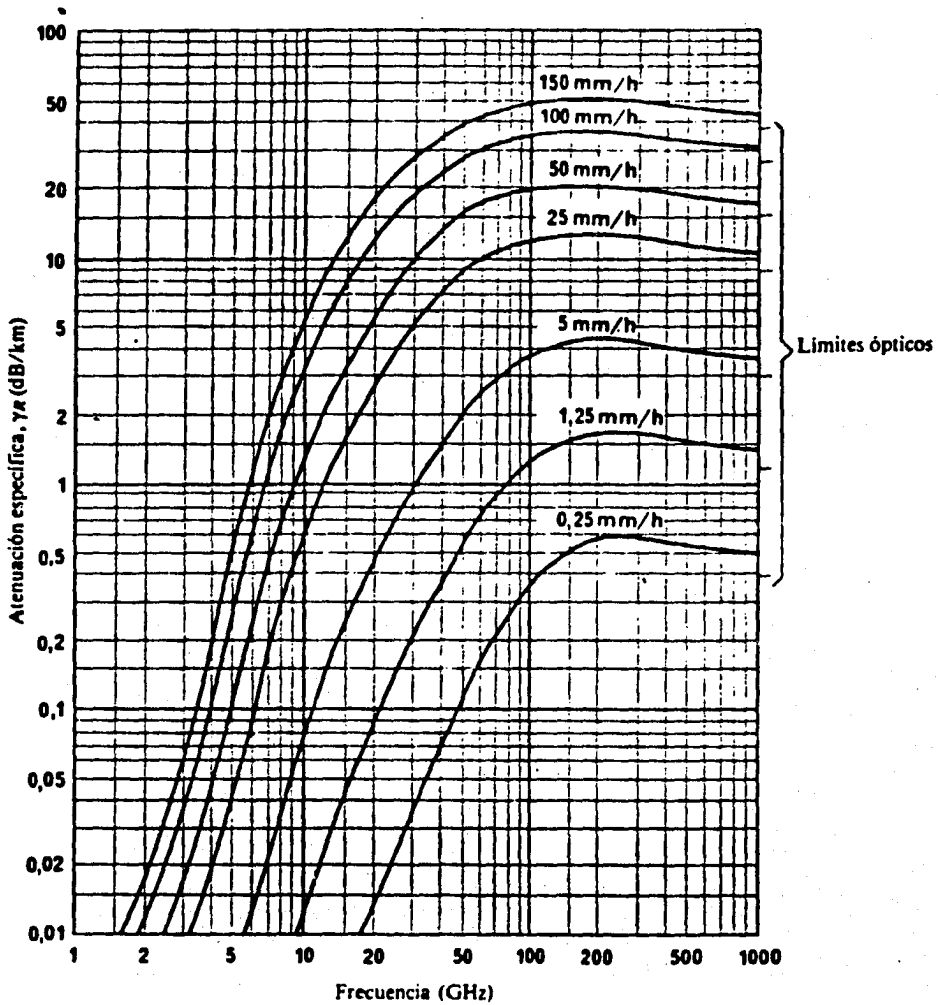


FIGURA 1 - Atenuación específica, γ_R debida a la lluvia

Distribución del tamaño de las gotas de lluvia [Laws y Parsons, 1943]

Velocidad terminal de las gotas de lluvia [Gunn y Kinzer, 1949]

Índice de refracción del agua a 20° C [Ray, 1972]

Gotas esféricas

Si bién la lluvia es el hidrometeoro más importante que afecta a la propagación de las ondas debe mencionarse también la influencia de las nubes, niebla, nieve y -- granizo.

Las atenuaciones causadas por nubes o niebla - son relativamente pequeñas; en el caso de nubes o niebla - constituidos enteramente por gotitas de agua de dimensiones generalmente inferiores a 0.01 cm.

A frecuencias del orden de 100 GHz o más la atenuación causada por la niebla puede llegar a ser importante el contenido de agua en estado líquido de la niebla es típicamente de 0.05 gr/m³ para una niebla de intensidad media - (visibilidad del orden de 300 m) y de 0.5 gr/m³ para una niebla densa (visibilidad del orden de 50 m).

La atenuación específica correspondiente sería de unos 0.4 dB/km y de 4dB/km respectivamente a una frecuencia de 140 GHz.

En la práctica, los valores dependerán del tipo de niebla y también pueden influir en ellos anomalías en la

absorción del vapor de agua.

Las nubes constituidas por partículas de hielo causan una atenuación de magnitud menos importantes que la causada por nubes de agua, aunque el contenido de agua sea el mismo en ambos casos, hasta 35GHz para frecuencias superiores, la contribución de las nubes de hielo a la atenuación puede ser importante.

Las atenuaciones causadas por nubes o niebla son relativamente pequeñas, análogamente el granizo y la nieve carecen generalmente de la importancia frente a la lluvia si la nieve y el granizo están secos sin embargo si los copos de nieve y los granizos son grandes y fundentes de atenuación puede ser grave.

En ciertas condiciones se puede rebasar la atenuación causada por las gotas de agua del mismo diámetro, este efecto puede tener importancia en el sistema tierra-espacio cuando el enlace atraviesa una capa de hielo o nieve fundente en altas altitudes, la capa fundente puede contribuir así mismo de modo importante a la temperatura de ruido del receptor de la estación en tierra si el haz de la antena intercepta la capa, la atenuación debida al granizo puede ser importante para frecuencias reducidas incluso de 2GHz.

La atenuación específica que se produce dentro de la nube o de la niebla de tal tipo puede expresarse por la fórmula:

$$\gamma_c = K_g M$$

siendo:

" γ_c " la atenuación específica (db/km) en la nube.

K_g es el coeficiente de atenuación específica -
(db/km) / (gr/m³)

M es el contenido de agua en estado líquido de
la nube (gr/m³)

La figura 2 muestra los valores teóricos del coeficiente de atenuación específica en función de la frecuencia para diversas temperaturas comprendidas entre -8°C y 20°C.

Coeficiente de atenuación específica K_1 (dB/Km) / (E/m^3)

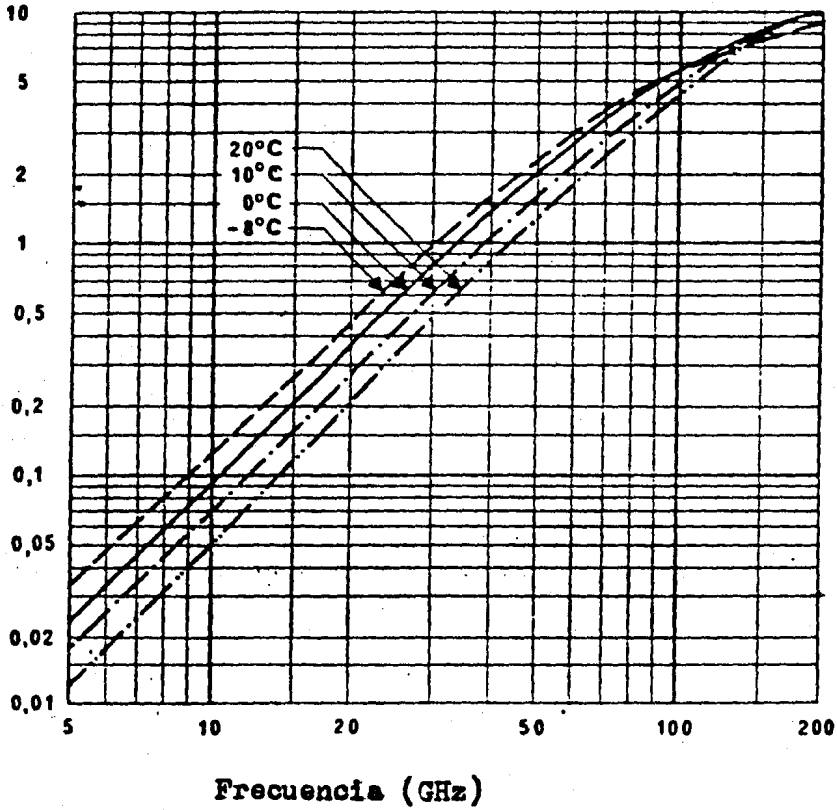


FIGURA 2 . Atenuación teórica debida a nubes de agua en función de la frecuencia , para distintas temperatura .

12.5.1) DISPERSION POR LLUVIA

La dispersión provocada por las precipitaciones ya sea de lluvia, nieve, granizo y nubes de hielo puede considerarse isotropa; esta puede ser captada por la antena en un determinado volumen cuando se llega a presentar una precipitación.

La dispersión puede causar interferencia entre la estación terrena y estaciones de la red de microondas. La dispersión puede presentarse con intensidades de lluvia superiores a 10mm/hr. El nivel de la señal recibida puede ser captado de acuerdo a la directividad de la antena y la atenuación debida a la precipitación.

Vamos a considerar que se capta la señal proveniente de un satélite de acuerdo a una densidad de potencia " P_s " en una estación terrena de acuerdo al haz de la antena con una área de apertura " A_g ", donde la señal recibida es:

$$P_r = P_s A_g e^{-\gamma_R L_s} \quad (1)$$

donde se llega a apreciar la atenuación " γ_R " que se presenta debida a la lluvia y " L_s " la longitud del trayecto en presencia de la lluvia.

Como la lluvia se llega a distribuir en una --
cierta región, el haz de la antena llega a interactuar con
la distribución de la lluvia como puede verse en la figura
1.

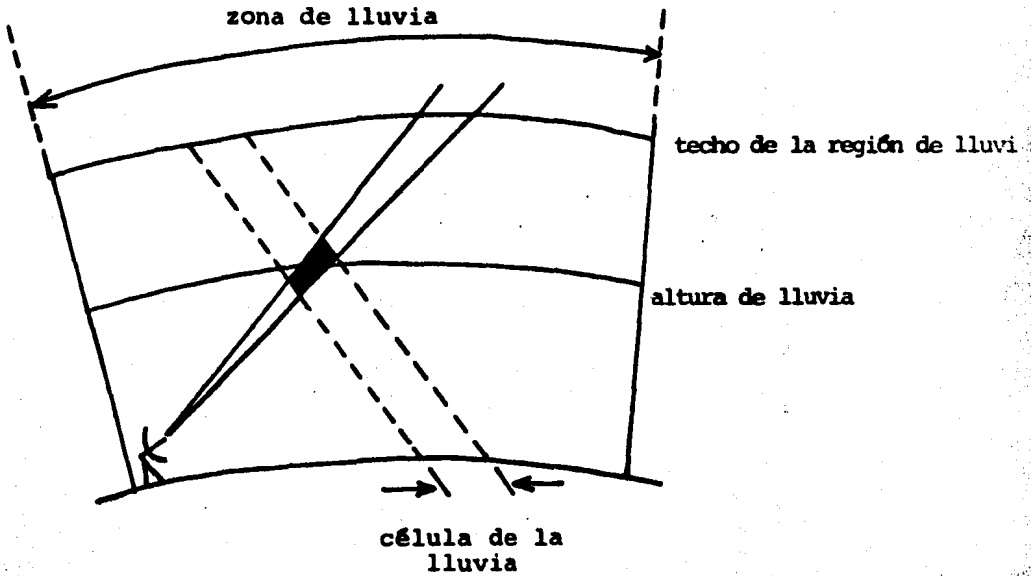


Figura 1

Teniendo una trayectoria en presencia de la lluvia los parámetros que pueden considerarse son los siguientes:

- a) intensidad de la lluvia del lugar que se tra
te (mm/hr).
- b) altura sobre el nivel medio del mar de la es
tación terrena " h_0 " (km)
- c) ángulo de elevación " θ " (grados).
- d) latitud de la estación terrena " ψ " (grados).

Se tiene a continuación una representación esque
mática de un trayecto de comunicación tierra-espacio o espa
cio-tierra de acuerdo a lo que se muestra en la figura 2.

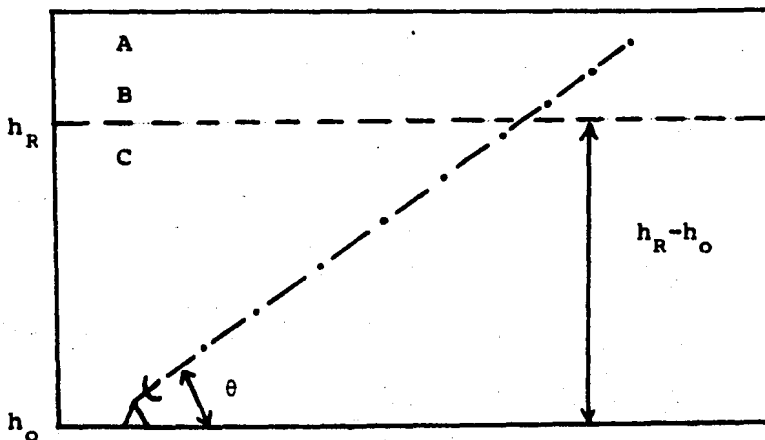


Figura 2

- A: Precipitación en forma de hielo
- B: Altura de lluvia
- C: Precipitación en forma líquida
- D: Trayecto

La altura de la lluvia (h_R) se obtiene a partir de:

$$h_R = 5.1 - 2.15 \log_{10} \left(1 + 10^{\left(\frac{V-27}{25} \right)} \right) \text{ km} \quad 2$$

La longitud del trayecto (L_s) por debajo de la altura de lluvia se puede obtener a partir de la fórmula:

$$L_s = \frac{2(h_R - h_o)}{\sqrt{\text{sen}^2 \theta + 2 \frac{h_R - h_o}{R_e} + \text{sen} \theta}} \text{ km} \quad 3$$

h_R : altura de la lluvia (km)

h_o : altura sobre el nivel medio del mar de la estación terrena (km)

θ : ángulo de elevación (grados)

ϕ : latitud de la estación terrena (grados)

R_e : radio efectivo de la Tierra (8500 km)

La ecuación (3) es válida para $\theta < 10^\circ$, para $\theta > 10^\circ$ se puede expresar como:

$$L_s = \frac{h_R - h_o}{\text{sen} \theta} \text{ km} \quad 4$$

Teniendo la interferencia provocada por la dispersión por lluvia se tiene la potencia de interferencia " P_i ", la potencia de interferencia se tiene como:

$$P_i = \frac{P_s \lambda^2}{4\pi} \gamma_R L_s \beta \exp(-\gamma_R L_s) \quad 5$$

teniendo que " β " es el albedo es decir la proporción que -- hay entre la sección transversal de absorción y la sección transversal de extinción (suma de las secciones transversales de dispersión y absorción).

Si se combina la ecuación 1 y 5, considerando la ganancia de la antena:

$$\frac{P_i}{P_r} = \frac{\gamma_R L_s \beta}{G} \quad 6$$

Como se puede notar en la ecuación 6 se muestra la interferencia ocasionada por la dispersión de lluvia que es " P_i ", para mantener la comunicación es necesario controlar los niveles de los lobulos laterales cuando se está dirigiendo al satélite; en la figura 3 se muestra una gráfica donde se tiene la relación de precipitación, albedo y frecuencia.

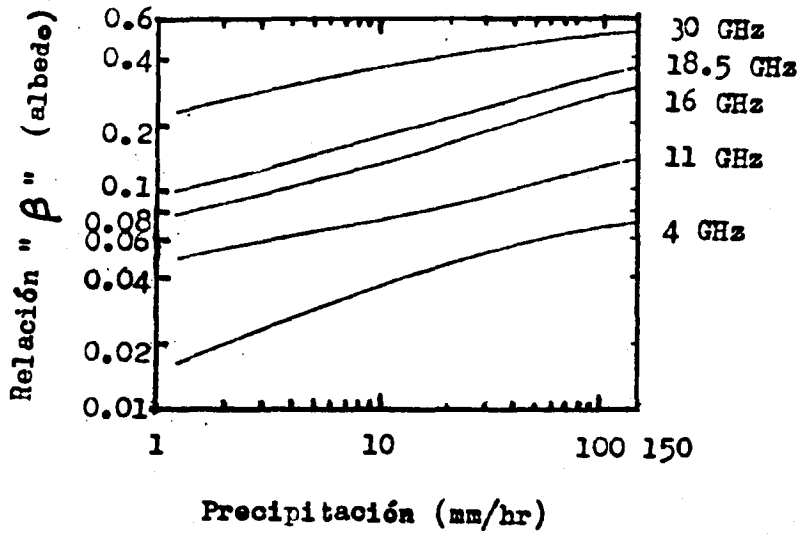


Figura 3 .

12.5.2) DEPOLARIZACION POR LLUVIA

En una comunicación vía satélite se requiere el uso de la polarización ortogonal (lineal o circular) en un mismo trayecto. Sin embargo en la propagación a través de la atmósfera cuando se llega a presentar la lluvia se tiene la presencia de la absorción y dispersión, es aquí donde hay cambios en la orientación del plano de polarización de la onda electromagnética teniendo presente que hay atenuación y cambio de fase en las componentes de la polarización.

Cuando se llega a presentar la lluvia en una comunicación en el punto de recepción debemos de conocer la señal que deseamos recibir de acuerdo a una componente de polarización, que se conoce como señal copolar teniendo como nomenclatura (ac ó bc) y la posible alteración o interferencia que se presenta en la otra componente de polarización se conoce como polarización cruzada cuya nomenclatura es (bx ó ax).

De acuerdo al nivel de las componentes correspondientes, se presenta la relación de ambas componentes a esta relación se le conoce como discriminación o despolarización de polarización cruzada (XPD).

En un sistema de polarización ortogonal ya sea la polarización lineal o circular, la XPD se expresa como:

$$XPD = \frac{ac}{bx} \quad \text{o} \quad XPD = \frac{bc}{ax}$$

Si la comunicación se realiza en polarización circular la depolarización es determinada en términos de -- XPD circular ya sea en polarización circular derecha (RHCP) o en polarización circular izquierda (LHCP), la polariza-- ción de la antena deberá ser alineada de acuerdo a la direc-- ción de la polarización del sistema receptor.

Para poder determinar de alguna manera la depolarización esto se puede manifestar de manera estadística, se tiene ya valores establecidos para su cálculo.

Se tiene la presencia de la atenuación diferencial "A" y la fase diferencial total "B" teniendo la trayectoria de propagación Tierra-espacio usando las siguientes ecuaciones:

$$A = \gamma_D L \text{ (dB)}$$

" γ_D " es la atenuación diferencial (db/km)

"L" longitud de la trayectoria de propagación -
en presencia de lluvia (km).

$$B = \beta L \text{ (grados)}$$

" β " fase diferencial (grados/km)

"L" longitud de la trayectoria de propagación -
en presencia de lluvia (km).

Para el cálculo de XPD en polarización circular
se expresa como:

$$XPD = 20 \log \left| \frac{1 + (10^{-A/20}) (e^{jB})}{1 - (10^{-A/20}) (e^{jB})} \right|$$

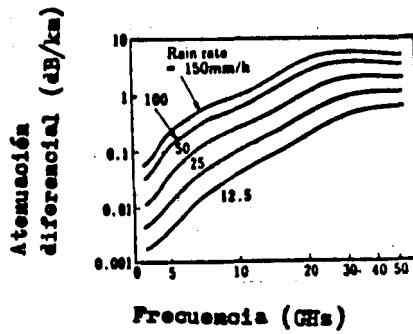


Figura 4 . Atenuación diferencial bajo la presencia de lluvia de -
pendiente de la frecuencia .

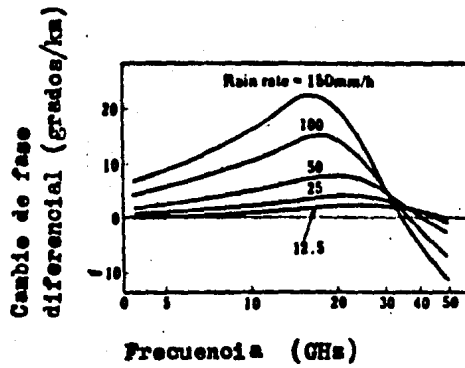


Figura 5 . Cambio de fase diferencial bajo la presencia de lluvia dependiendo de la frecuencia .

12.6) EFECTOS IONOSFERICOS

La ionosfera es la región ionizada de la atmósfera terrestre que se extiende desde unos 50km hasta unos 2000 km por encima de la superficie terrestre. La ionosfera se forma principalmente por la ionización de moléculas en la atmósfera debida a la radiación electromagnética del Sol en las partes ultravioletas y de rayos X del espectro solar de modo que en cualquier parte del planeta hay diferencias entre las concentraciones electrónicas producidas en las horas diurnas y por la noche. El comportamiento de la ionosfera depende de la magnitud de la radiación solar incidente y de los vientos a esa altura en cualquier parte del globo de ahí que estas características presenten variaciones diurnas y estacionales y las mismas dependen también de la fase del ciclo solar.

El espectro de frecuencias utilizable en la comunicación vía satélite es arriba de VHF ya que las ondas de radio en esta región de frecuencia no pueden ser reflejadas por la ionósfera, pero, pueden presentarse efectos como: el efecto de rotación de Faraday, el centelleo ionosférico, absorción ionosférica, retraso en la propagación. Estos efectos se llegan a presentar cuando la frecuencia es baja.

En la banda de frecuencia superior a la banda -
métrica, una señal de radio transmitida en un trayecto Tie-
rra-espacio penetran la ionosfera y esta señal se ve modifi-
cada por la presencia de electrones en la ionosfera.

12.6.1) Centelleo ionosférico.

Se considera el centelleo ionosférico a las variaciones de amplitud, fase o polarización que se llegan a producir en la onda radio - eléctrica cuando pasa a través de la ionosfe-
ra. Otra contribución al centelleo ionosfé-
rico es también a las irregularidades que -
se presenta en la densidad de electrones en
la ionosféra. El fenómeno de centelleo se
llega a manifestar de manera de desvaneci-
miento, el periodo de desvanecimiento varia
ampliamente, los centelleos que se presentan
en las frecuencias del orden de GHz varían
entre 2 segundos y 15 segundos y la intensi-
dad del centelleo depende de la posición del
observador con relación a las irregularida-
des de la atmósfera.

El centelleo ionosférico ha sido considera-
do como una débil dispersión. La intensidad

del centelleo ionosférico se expresa por la fórmula:

$$S\alpha = \frac{\lambda \sqrt{\sec(i)}}{\sqrt{1 + \frac{\pi^2 L_c^4}{4\lambda^2 d_e^2}}} \quad (1)$$

" λ " es la longitud de onda

" L_c " es la longitud promedio donde se localiza la turbulencia de la densidad de electrones.

" d_e " es la distancia que hay desde la estación terrena a la turbulencia de la densidad de electrones.

" i " es el ángulo que se forma entre la trayectoria de propagación de la onda de radio y la ionosfera, también conocido como ángulo de cenit.

Se deben de considerar de que manera influye el ángulo " i ". Cuando $\frac{L_c^2}{\lambda d_e} \gg 1$ indica que hay grandes irregularidades

teniendo en cuenta que la longitud de onda es pe-

queña en comparación con la longitud de la turbulencia que se presenta y la distancia "de" es corta y la ecuación 1 se reduce a:

$$S \propto \frac{\lambda^2 \sqrt{\sec(i)} \text{ de}}{L_c^2} \quad (2)$$

Cuando se presenta $\frac{L_c^2}{\lambda \text{ de}} \ll 1$ se reduce la ecuación 1 a:

ción 1 a:

$$S \propto \lambda \sqrt{\sec(i)} \quad (3)$$

La fluctuación de la señal puede definirse también por espectro de potencia en el espacio o en tiempo. De acuerdo al modelo que se tiene establecido para el centelleo se tiene que el espectro de la fluctuación logarítmica de amplitud presenta una cresta para la frecuencia próxima a:

$$f = \frac{0.4v}{r_0} = \frac{0.4v}{\sqrt{(\lambda) \left(\frac{\rho(L-\rho)}{L} \right)}}$$

"v" es la velocidad con que se presenta la fluctuación máxima de la densidad de electrones teniendo presente las irregularidades en la ionosfera.

"L" longitud del trayecto

"ρ" longitud hasta donde se encuentran las irregularidades de la ionosfera.

En la figura 1 se muestra el espectro de potencia para las fluctuaciones de amplitud y que disminuyen a medida que aumenta la frecuencia en proporción a la asintota f^{-3} .

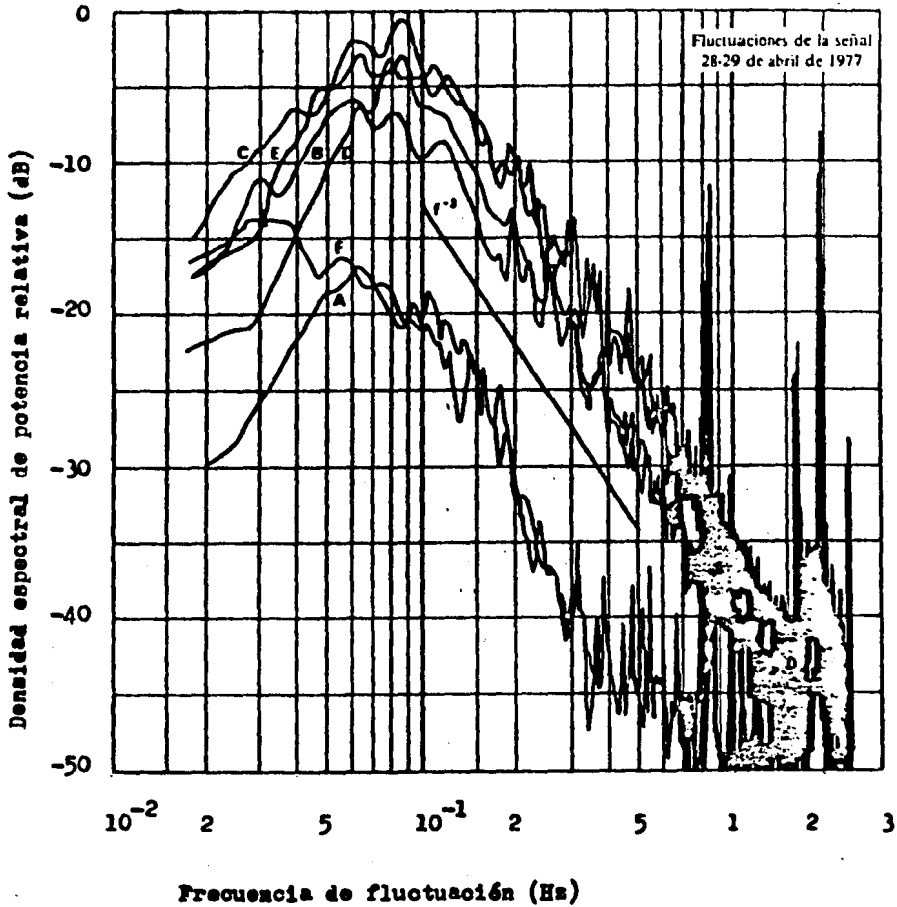


FIGURA 1 . Estimaciones de las densidades espectrales de potencia a 4 GHz de un satélite geostacionario (Intelsat - IV) . El centelleo se observó durante los días 28 y 29 de abril de 1977 al anochecer en la estación terrestre de Taipei .

- A: 30 minutos antes del principio del centelleo.
- B: Al principio.
- C: 1 hora después.
- D: 2 horas después.
- E: 3 horas después.
- F: 4 horas después.

Un parámetro que se considera para poder determinar los efectos ionosféricos sobre los sistemas de comunicación es el contenido electrónico total (CET) en la ionosfera a lo largo del trayecto del transmisor al receptor, las contribuciones del CET son como la dispersión, retardo de grupo y rotación de Faraday considerando también el tipo de trayecto realizado ya sea inclinado o vertical; el CET se define como la integral:

$$\text{CET} = \int_s n_e(s) ds \text{ (electrones/m}^2\text{)}$$

siendo " n_e " la concentración de electrones/ m^3 y

" s " es la longitud de la trayectoria (metros).

12.6.2) Efecto Faraday.

El funcionamiento de los sistemas de comunicaciones entre Tierra y el espacio puede verse muy afectado por el fenómeno de rotación ionosférica de Faraday.

Cuando una onda radio eléctrica tiene la polarización lineal, ésta se compone de dos componentes de polarización independientes que son la polarización circular derecha y

la polarización circular izquierda. Al avanzar las dos componentes en el medio ionosférico estas viajan con diferentes velocidades de fase por lo tanto la fase entre ellas se modifica. Como resultado, cuando la onda polarizada linealmente emerge de la ionosfera su plano de polarización ha efectuado un giro con relación a la posición que tenía el plano antes de ingresar a la ionosfera. A este giro del plano de polarización se le conoce como rotación de Faraday, ésta rotación de Faraday depende de la dirección de propagación en relación con el campo magnético de la Tierra, las condiciones de la parte de la ionosfera atravesada por la onda y la intensidad del campo magnético de la Tierra.

El ángulo de rotación de Faraday se define como:

$$\theta = \frac{2.365 \times 10^4}{f^2} \int_{\ell} N B \cos \phi d\ell$$

siendo "f" la frecuencia de operación, "N" la densidad de electrones (electrones/m²), "B" la densidad de flujo del --

campo geomagnético (weber/m^2), " ϕ " es el ángulo formado entre la dirección de propagación de la onda y el campo magnético terrestre, " λ " es la longitud de la trayectoria de propagación en la ionosfera.

Las condiciones ionosféricas dependen de la estación del año, la hora del día, la actividad solar como -- también la ubicación geográfica de la estación terrena y - del satélite, pudiendo ser despreciables muchas veces para frecuencias superiores de 10GHz, debe asegurarse en la estación terrena la rotación del plano de polarización ya que - los sentidos de rotación para transmisión y recepción son opuestos entre sí.

12.6.3) RETARDO DE GRUPO EN LAS ONDAS RADIO ELECTRICAS

Al haber presencia de electrones libres en el trayecto de propagación en el enlace Tierra-espacio, la onda radio eléctrica se propaga a una velocidad inferior a la de la luz en el vacío, teniendo como consecuencia su retardo - de grupo en relación con el esperado en el espacio libre. - El retardo que tiene la onda radio eléctrica se le conoce como "retardo de grupo" y este puede afectar en la precisión para entablar una comunicación por satélite.

Se ha definido que el retardo de grupo debido a la propagación ionosférica es inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia utilizada y directamente proporcional al número de electrones a lo largo del trayecto, la relación se define como:

$$\Delta\zeta = \frac{1.33 \times 10^{-7}}{f^2} \cdot N_s$$

siendo:

" $\Delta\zeta$ " el retardo de grupo, debido a la presencia de electrones libres en segundos.

" f " es la frecuencia en Hertz

" N_s " es la concentración de electrones a lo largo de una trayectoria oblicua en electrones/m².

La figura 1 muestra la representación del retardo ($\Delta\zeta$) en función de la frecuencia (f) para varios valores de contenido de electrones a lo largo del trayecto del rayo (ns).

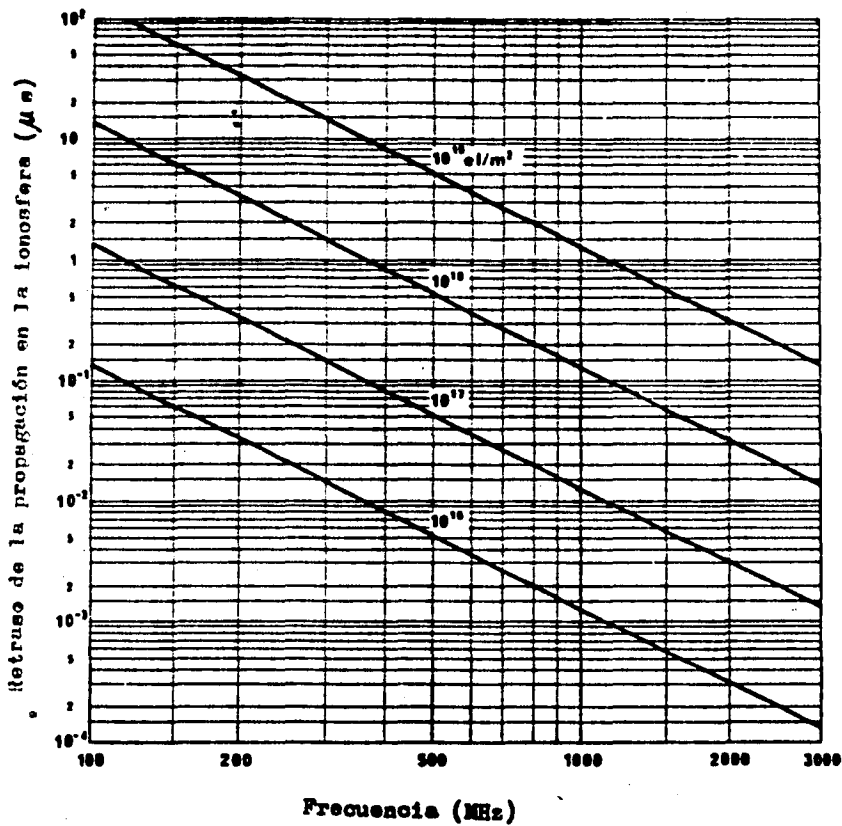


FIGURA 1. Retarde de propagación en la ionosfera en función de la ionosfera para varios valores de contenido de electrones .

12.6.4) DISPERSION IONOSFERICA

Cuando se presenta el retardo en una señal radio-eléctrica al traspasar la ionosfera la consecuencia de este efecto es que se presenta la dispersión. La dispersión se considera inversamente proporcional al cubo de la frecuencia, el efecto de la dispersión se llega a presentar en la región de 0.1GHz a 10GHz, teniendo un mayor efecto en las bandas de frecuencias VHF y UHF.

En el caso de la transmisión de pulsos la dispersión ionosférica produce distorsión en la amplitud y en la duración de los pulsos. De acuerdo a la figura 1 se muestra como puede afectar la dispersión ionosférica presentando varias duraciones de pulsos y frecuencias de operación.

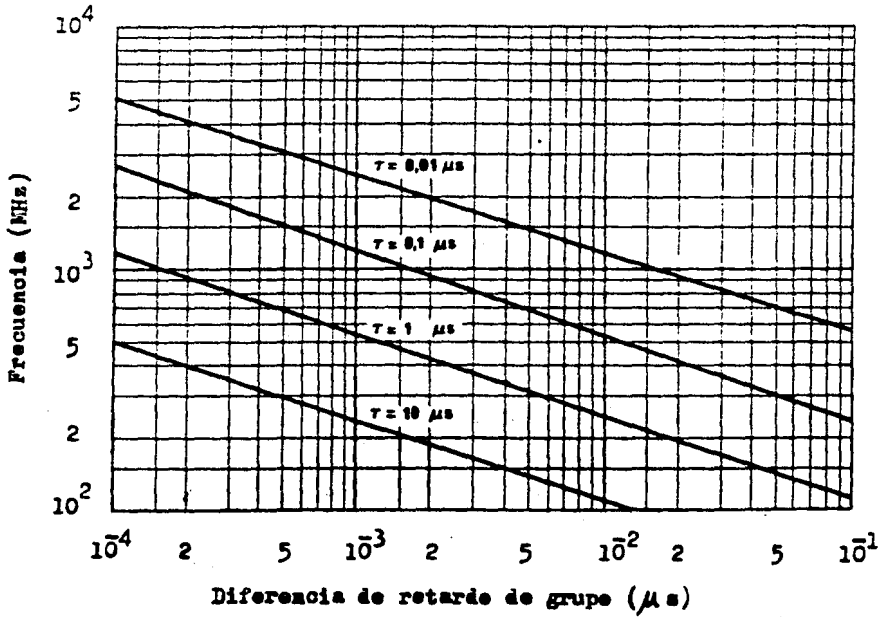


FIGURA 1. Diferencia de retardo de propagación entre las frecuencias inferior y superior del espectro de un impulso de longitud " τ " transmitido a través de la ionosfera; trayecto de transmisión en un solo sentido.

$$\int n_e ds = 5 \times 10^{17} \text{ electrones / m}^2$$

" τ " : Longitud del impulso

RUIDO**GENERALIDADES**

El ruido son señales aleatorias e impredecibles de tipo eléctrico originadas dentro y fuera del sistema de comunicación.

Cuando estas señales se agregan a la señal de información, esta última puede quedar en gran parte oculta o eliminada totalmente.

Uno de los efectos del ruido que se presenta en un sistema de comunicación es la:

Limitación de la distancia a la que puede transmitirse ya que va de acuerdo a la potencia determinada.

13.2) RUIDO TERMICO

El ruido térmico se debe al movimiento aleatorio de los electrones libres en un medio.

En la comunicación espacial una de las características es la atenuación de la señal, pero, la señal puede amplificarse para así compensar la atenuación.

Para asegurar la efectividad de un enlace se debe tomar en cuenta además de la atenuación el ruido. La calidad que tiene un enlace para poder transmitir información es la relación señal-ruido; el ruido que se presenta es en el receptor y puede estar presente como ruido atmosférico, ruido inducido por la lluvia, ruido del fondo de la tierra, etc, como también el ruido interno generado en el equipo electrónico.

TEMPERATURA DE RUIDO EN UNA FUENTE.

El ruido que se manifiesta en una fuente se caracteriza por medio de una temperatura denominada temperatura de ruido definiendo esto por medio de la ecuación:

$$T = \frac{P}{KB}$$

donde:

"P" es la máxima potencia de ruido entregada -
por la fuente

"T" es la temperatura de ruido en °K

"K" constante de Boltzmann ($1.38 \times 10^{-23} \frac{\text{Watt}}{^\circ\text{K-Hz}}$)

"B" ancho de banda en Hertz del sistema donde
se presenta el ruido.

Usando esta definición se tiene que si la fuente ha de ser de origen térmico, entonces la temperatura -- "T" será la temperatura del dispositivo en grados Kelvin, pero, si la fuente no es de origen térmico la temperatura "T" no tiene nada que ver con la temperatura física del -- dispositivo.

El ruido podemos clasificarlo dependiendo de -- la manifestación que se presente, el ruido para su clasificación se divide en dos grupos:

Ruido Externo:

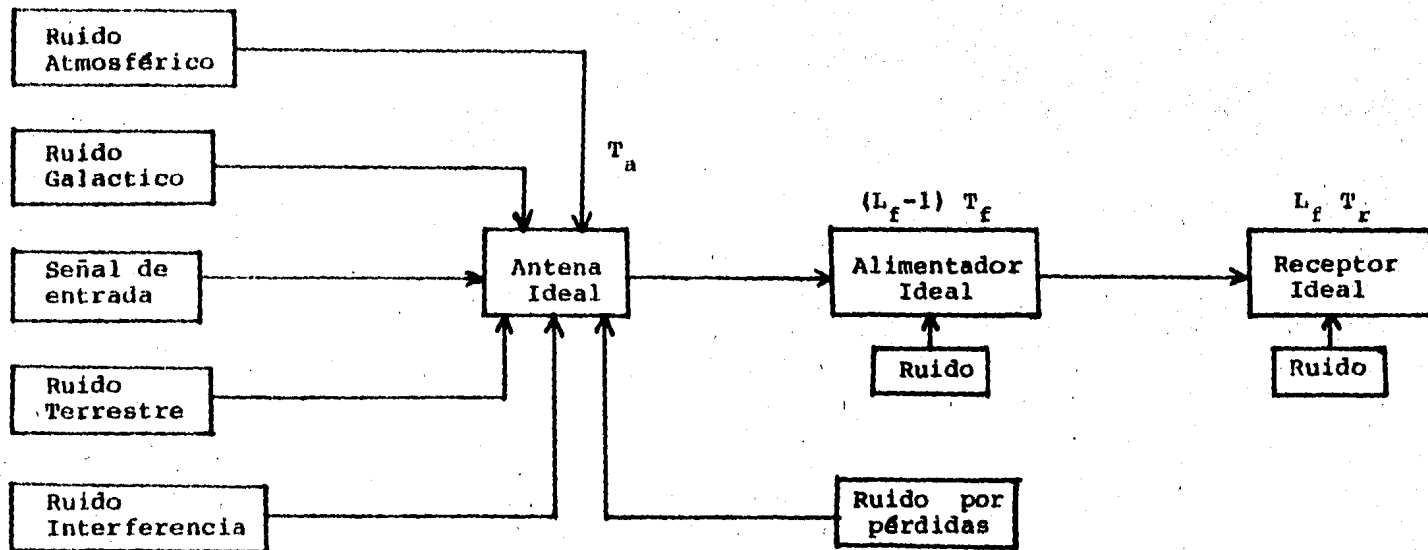
La fuente de ruido esta afuera del sistema de comunicación.

El ruido externo es difícil de tratar cuantitativamente, lo que se tiene como dato es que varia de acuerdo a la posición geográfica del sistema de comunicación.

Ruido Interno:

La fuente de ruido se encuentra en el mismo sistema de comunicación es de alguna manera tratable en forma matemática, este tipo de ruido se puede reducir de acuerdo al diseño del sistema de comunicación.

Se muestra a continuación un diagrama de las diferentes fuentes de ruido ya sea fuente de ruido externo e interno que afectan a un sistema de comunicación.



13.4) RUIDO TERMICO EXTERNO

Es una antena directiva una parte del ruido -- tendrá su origen en fuentes externas como la atmosfera que rodea a la antena y el producido por la tierra, que es un cuerpo caliente que genera una temperatura de ruido equivalente a 290°K , etc.

En el caso de una antena que esta apuntando directamente hacia la antena del satélite, la temperatura de ruido que aparece en la antena es consecuencia de los lóbulos laterales y la parte posterior del patrón de radiación.

Lo que se trata de indicar es que un buen diseño de un sistema de antena será aquél cuyo patrón de radiación tenga un mínimo de lóbulos laterales con objeto de disminuir el ruido de fuentes externas unicamente aquél que se recibe a través del lóbulo principal, lo cual muchas veces es imposible evitar en la práctica.

El ruido absorbido por una antena puede clasificarse para su estudio en:

Ruido atmosférico, ruido galáctico, ruido terrestre y ruido por interferencia.

En el diseño y uso de antenas de bajo ruido se requiere el conocimiento de la distribución de fuentes de ruido; las más importantes fuentes de ruido en la región de microondas son de acuerdo a la intensidad, la frecuencia y localización.

13.4.1) RUIDO EXTRATERRESTRE.

13.4.1.1) Ruido Solar.

Se considera que si una antena apunta en dirección al sol la señal electromagnética estará en interacción con la radiación solar teniendo en consecuencia la presencia de ruido provocado por el sol.

La temperatura de ruido solar se presenta desde 10^5 °K o más, el ruido varia de acuerdo a la actividad solar.

La temperatura de ruido solar puede ser medida por la siguiente ecuación:

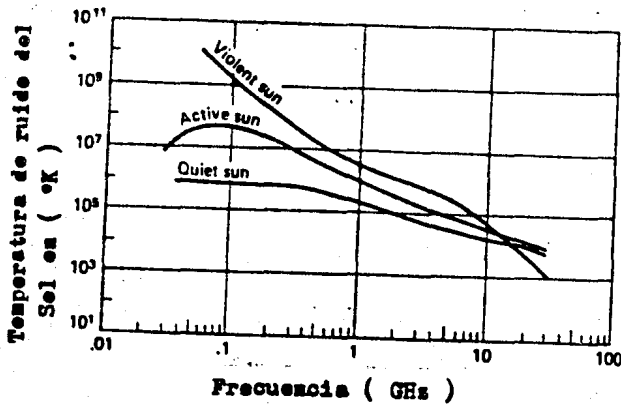
$$T = \frac{195750}{f \times 10^{-9}},$$

siendo:

"T" la temperatura de ruido solar en °K

"f" la frecuencia de operación en Hz.

Como lo muestra la figura 1 se tiene el análisis de temperatura de ruido solar y diferentes frecuencias de operación, teniendo como parámetro la actividad solar ya sea sol violento, sol activo y sol pasivo.



13.4.1.2) RUIDO GALACTICO.

Se puede definir como aquel proveniente de -- fuentes distintas de la Tierra y de su propia atmosfera y que algunos la conocen como ruido cielo.

En la práctica el ruido galáctico está comprendido entre 30MHz y 1GHz y este predomina sobre el ruido atmosférico.

El ruido galáctico suele ser importante especialmente en las antenas altamente directivas con haces angostos que apuntan directamente a las fuentes discretas de ruido como son las radio-estrellas que tienen una densidad de flujo importante, inclusive algunas de ellas se utilizan como fuentes de señales para medir la figura de mérito de una antena altamente directiva.

Las radio estrellas más importantes pueden ser:

FUENTE	TEMPERATURA (°K)
Cassiopeia A	3720
Cygnus A	2650
Taurus A	715
Centaurus A	464

13.4.1.3) RUIDO ATMOSFERICO

Por encima de 1GHz, los elementos absorbentes de la atmósfera como vapor de agua, oxígeno e hidrometeoros actúan también como fuentes de ruido.

En las bandas de fuerte absorción gaseosa, la temperatura de ruido alcanza valores máximos de unos 290°K; en ocasiones las precipitaciones aumentarían también la temperatura de ruido para frecuencias superiores a unos 5GHz.

En el caso de la absorción en los gases atmosféricos cabe resaltar que es la causa del "ruido térmico" ya que un medio absorbente irradia también por lo tanto en la atmósfera real existe un nivel mínimo de ruido que puede sentirse en un receptor.

Este ruido está relacionado con el nivel de absorción de la atmósfera ya que varía con el lugar, frecuencia y el ángulo de elevación de la antena.

Se presenta una absorción de energía en los picos de resonancia en el oxígeno y vapor de agua, los picos de resonancia están en 22.2GHz para el vapor de agua y - - 60GHz para el oxígeno.

El ruido provocado en hidrometeoros se puede considerar que existe absorción atmosférica bajo la presencia de hidrometeoros como también ruido de emisión.

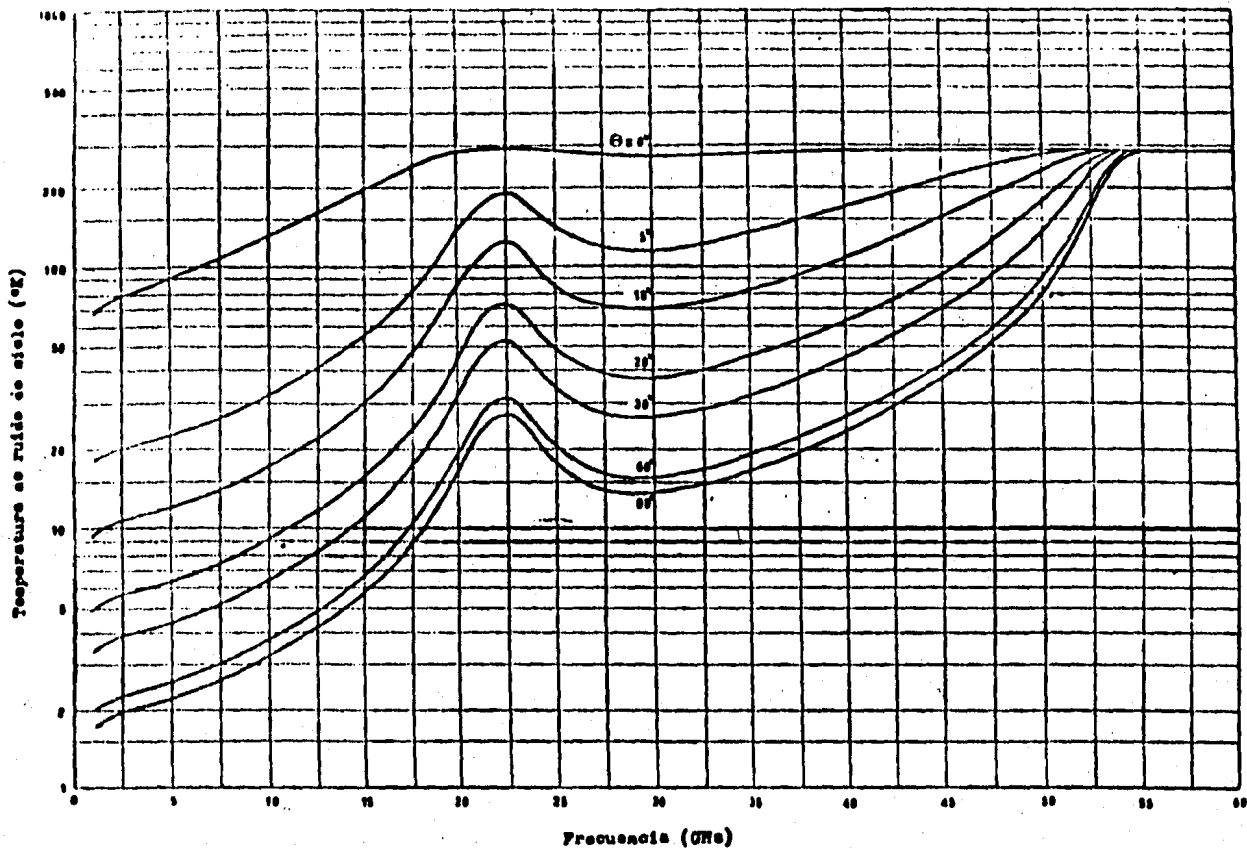


Figura 2. Temperatura de ruido del cielo (atmosfera despejada) para una concentración de vapor de agua de 7.5 g/m^3 . "0" representa el ángulo de elevación.

Cuando aumenta la absorción también lo hace el ruido de emisión hasta llegar a un medio fuertemente absorbente en el que el ruido de emisión se aproxima a la de un radiador perfecto (cuerpo negro) a la temperatura cinética real del medio que normalmente está entre 260°K y 280°K. Si se conoce la variabilidad de la absorción atmosférica - para un lugar determinado, frecuencia y ángulo de elevación, puede entonces calcularse la variabilidad del ruido de emisión.

No se llega a disponer información sobre la temperatura de ruido debida a las nubes y a la de lluvia, esta temperatura de brillo o también conocida como temperatura de ruido en una dirección determinada que en este caso podemos considerar a la temperatura de brillo de las nubes la podemos determinar por medio de:

$$T_b = T_m (1 - 10^{-A/10}) \quad \text{para } f < 60\text{GHz}$$

Donde el valor de T_m para las nubes es de 280°K.

Es mucho más difícil calcular con precisión la temperatura de brillo debido a la lluvia, pero se considera como medida el valor de $T_m = 260°K$.

La atenuación "A" en (DB) se puede aplicar ya sea para el caso de nube y lluvia teniendo que ver ciertos parámetros que se analizaron en el tema dispersión por lluvia.

Los parámetros que se deben determinar son:

- a) hr
- b) L_s considerando el ángulo de elevación
- c) L_G que es la proyección horizontal de la longitud del trayecto oblicuo siendo:

$$L_G = L_s \cos\theta \text{ (km)}$$

$$d) r_p = \frac{90}{90+4 L_G}$$

- e) La atenuación específica " γ_r " pudiendo usar la gráfica 1 del tema efecto de lluvia.
- f) La atenuación "A" se puede calcular de acuerdo a la expresión:

$$A = \gamma_r L_s r_p \text{ (dB)}$$

donde la temperatura de brillo se determina como:

$$T_b = T_m (1 - 10^{-(\gamma_r L_s r_p)/10}) \text{ para } f < 60 \text{GHz}$$

13.5) RUIDO TERRESTRE

En cuanto al ruido terrestre se ha de considerar al ruido térmico emitido por la tierra la cual se toma como cuerpo de radiación. Para cálculos normales se ha considerado una temperatura de 290°K.

El ruido terrestre puede ser altamente disminuido mediante un buen diseño de antena.

Para el caso de una comunicación por satélite - el ruido terrestre contribuye al ruido total de antena a -- través de los lóbulos laterales y también a su patrón de ra diación, es decir, que una antena ideal que sólo radie energfa en la dirección principal, absorberá una cantidad des-- preciable de ruido de origen terrestre.

La temperatura efectiva de radiación de la Tierra está en relación con la temperatura térmica de la misma considerando normalmente de 290°K y con la reflectividad - del terreno visto por la antena relacionandose de la siguiente manera:

$$T_{er} = T_t (1 - R_{ef})$$

En donde:

T_{er} : Temperatura efectiva de radiación

T_t : Temperatura térmica

R_{ef} : Reflectividad de la Tierra

A la diferencia $(1 - R_{ef})$ se le conoce como emisividad y esta representada como " ϵ ".

Al término R_{ef} se le conoce como reflectividad o coeficiente de reflexión y que también se puede representar como " ρ ".

La ecuación 1 se puede representar como:

$$T_{er} = T_t (1 - \rho) = T_t \epsilon$$

El caso ideal es que se tenga $\epsilon = 0$, $\rho = 1$ y - que esto no es posible.

Lo que ocurre en un enlace de satélite es que se llega a presentar penetración de las microondas hasta - profundidades que pueden ser considerables.

En algunas regiones se pueden considerar cierto grado de emisividad.

Cerca de 1GHz, una espesa vegetación como la de los bosques densos se considera como una superficie rugosa suficientemente profunda para eliminar toda una reflexión.

A 10GHz basta solo con arbustos y a 35GHz aún - la hierba corta actúa como una superficie rugosa.

En la figura 1 se muestra cierto nivel de emisividad considerando el ángulo de elevación que se trabaje.

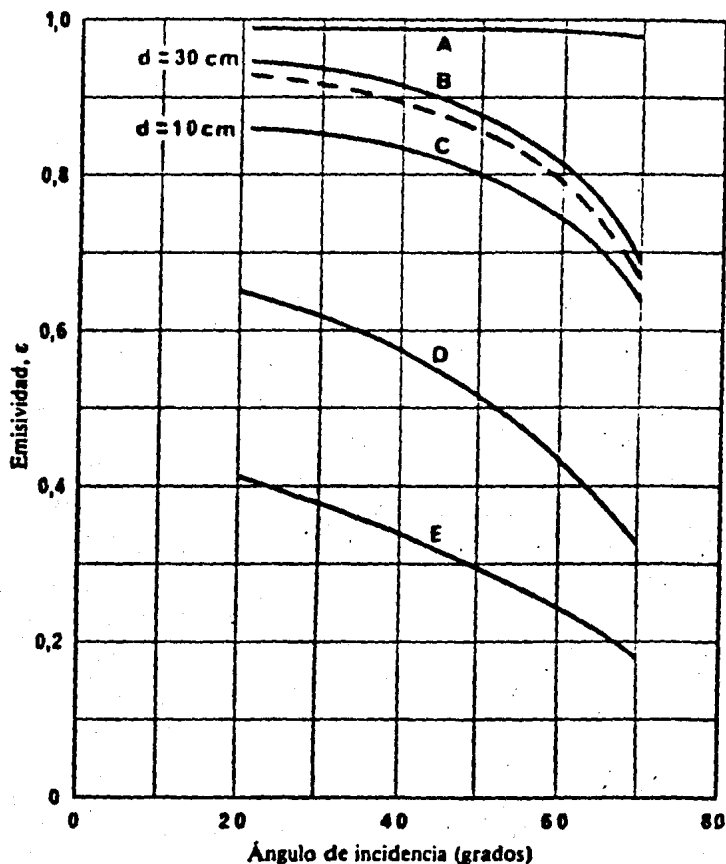


Figura 1. Emisividades calculadas del suelo $\lambda = 1.8 \text{ cm}$; d - Profundidad del suelo seco sobre el suelo húmedo.

Las curvas de trazos corresponden a los datos medidos. Las otras curvas corresponden a las siguientes condiciones:

- A: Suelo rugoso
- B y C: Suelo seco (reflexión especular) sobre roca
- D: Suelo húmedo (reflexión especular) 15% de agua en volumen
- E: Agua

13.6) RUIDO DE INTERFERENCIA

Teniendo el desarrollo de la tecnología actual se ha tenido la necesidad de usar diferentes tipos de polarización en el enlace ascendente y descendente considerando el tipo de haz de la antena o antenas correspondientes que realizan la comunicación de acuerdo a diferentes anchos de banda en la frecuencia que se realiza la transmisión y recepción.

Se puede también notar la posible interferencia que se llega a presentar en los diferentes canales que son adyacentes con una misma polarización.

Existen variaciones en el nivel de interferencia donde se llegan a estar relacionadas con la siguiente expresión:

$$\frac{1}{\left(\frac{C}{N_0}\right)_i} = \frac{1}{\left(\frac{C}{N_0}\right)_{BU}} + \frac{1}{\left(\frac{C}{N_0}\right)_{BD}} + \frac{1}{\left(\frac{C}{N_0}\right)_{XU}} + \frac{1}{\left(\frac{C}{N_0}\right)_{XD}}$$

$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{BU}$ $\frac{C}{N_0}$ equivalente debido a la interferencia en el enlace ascendente - cuando se tiene la misma polarización.

$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{BD}$ $\frac{C}{N_0}$ equivalente debido a la interferencia en el enlace descendente cuando se tiene la misma polarización.

$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{XU}$ $\frac{C}{N_0}$ equivalente debido a la interferencia en el enlace ascendente - cuando la polarización es opuesta a la que se transmite de acuerdo al enlace.

$\left(\frac{C}{N_0}\right)_{XD}$ $\frac{C}{N_0}$ equivalente debido a la interferencia en el enlace descendente cuando la polarización es opuesta a la que se transmite de acuerdo al enlace.

Cada valor de $\frac{C}{N_0}$ tiene valor antilogaritmico.

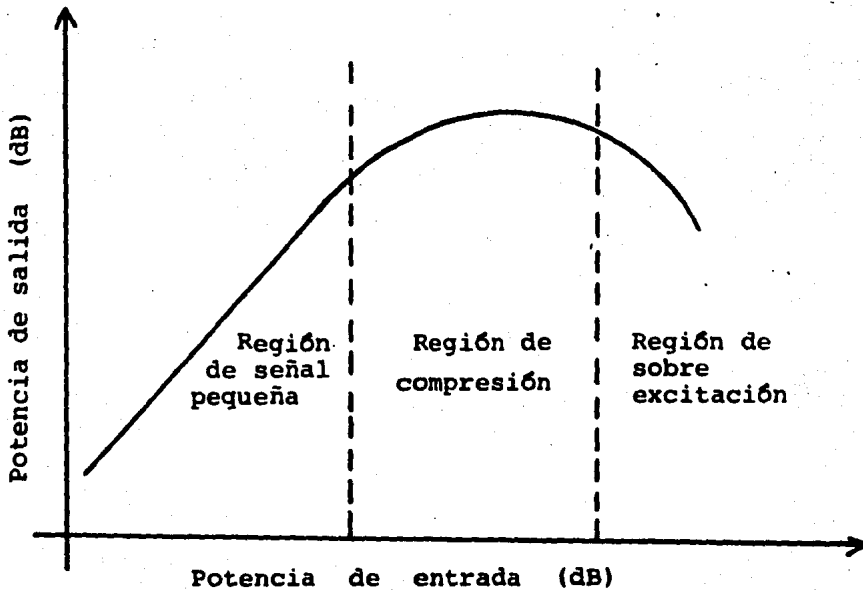
13.7) RUIDO DE INTERMODULACION

Considerando la etapa de transmisión y recepción en un enlace vía satélite existen dispositivos donde llegan a utilizarse en la etapa de amplificación ya que ofrece un mayor ancho de banda.

El dispositivo más usado es el amplificador de tubo de onda progresiva (ATOP).

El ATOP posee las cualidades de una alta ganancia maneja una alta potencia, alta eficiencia y buena característica en la señal amplificada.

Una típica gráfica de transferencia de un ATOP es como se muestra a continuación.



De acuerdo a la función de transferencia mostrada puede apreciarse tres zonas de operación:

- a) Región de señal pequeña, donde existe un comportamiento lineal.
- b) Región de compresión, donde la ganancia de crece a partir de la condición de señal pe queña y llega hasta un punto máximo es decir al punto de saturación.
- c) Región de sobreexcitación, donde se llega a tener un decrecimiento en la ganancia y donde se tiene un comportamiento no lineal.

La curva de transferencia exhibe una región lineal y otra no lineal, siendo en esta última región donde se puede notar que a un valor de potencia de entrada se produce un decremento en la potencia de salida.

Como el uso del ATOP es de amplificar la potencia de la señal que recibe y que transmite el satélite en forma de microonda en un ancho de banda se hace uso de la potencia máxima consumida por el ATOP, éste debe operar -- cerca del punto de máxima potencia de salida y que esta -- cerca de la región de saturación considerando que nos encontramos en una región no lineal.

Como se está operando en saturación se encuentra en la máxima capacidad y es aquí donde se debe considerar los siguientes parámetros:

- 1) Intermodulación en la banda porque la fase y la amplitud no tiene linealidad.
- 2) Distorsión en las señales causadas por los cambios en amplitud y fase entre los transponders.

En una comunicación vfa satélite, es necesario que muchas señales portadoras sean amplificadas a través del ATOP, como el ATOP es un dispositivo no lineal la señal de salida no es una función lineal de la señal de entrada.

Cuando dos o más señales son aplicadas a un ATOP, existe una interacción de una con respecto a otra, esta interacción produce nuevas componentes de frecuencia modificando la fase y la amplitud de las señales originales provocando una distorsión.

Considerando a estas nuevas componentes como armónicas, a estas se le conocen como productos de intermodulación.

Las armónicas dominantes son ya sea el doble - de la frecuencia fundamental o más que se pueden llegar a presentar son:

$$\text{Segundo orden } f_1 \pm f_2$$

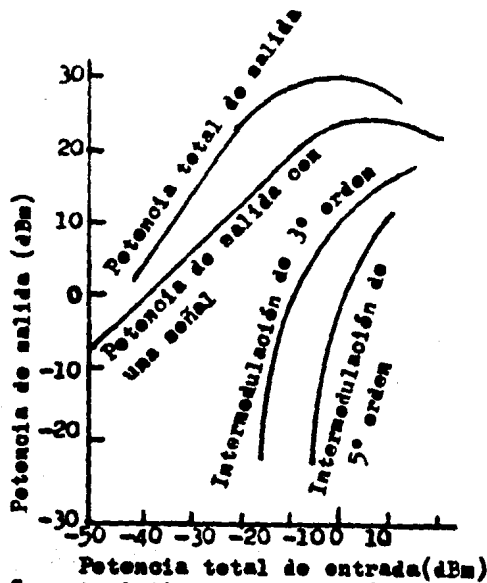
$$\text{Tercer orden } f_1 \pm 2f_2; 2f_1 \pm f_2$$

$$\text{Cuarto orden } 2f_1 \pm 2f_2; 3f_1 \pm f_2$$

La amplitud de las armónicas con respecto a la fundamental, depende del tipo de circuito y en el punto -- donde se esté operando el ATOP; no puede predecirse con - certeza la exactitud de las armónicas que están presentes a la salida del ATOP en virtud de que estas dependen de la potencia de salida, ganancia, nivel de excitación a la entrada del tubo.

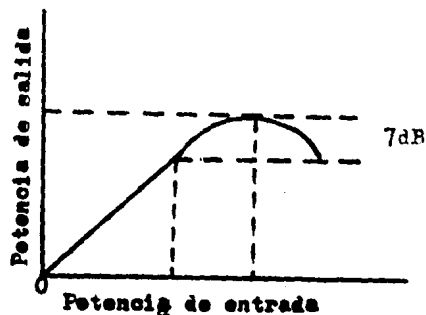
El ATOP no debe ser operado con niveles de sobreexcitación ya que en estas circunstancias el nivel de - armónicas es muy grande.

Los posibles niveles de armónicas que provocan la distorsión por intermodulación puede verse en la figura 1.



Característica de distorsión por intermodulación.

Figura 1



Característica típica de potencia de entrada en función de la potencia de salida mostrando punto óptimo de operación de 7 dB.

Figura 2

Para minimizar el nivel de productos de intermodulación dentro de la banda útil, el ATOP es operado en un punto que se encuentra a 6 o 7 DB abajo del punto de saturación como lo muestra la figura 2.

Puede considerarse que la intermodulación es una de las degradaciones en términos de pérdida de potencia, se necesita una importante reducción de potencia para disminuir el nivel de distorsión de intermodulación.

Como se depende del punto de saturación a la salida en el ATOP, la intermodulación se puede disminuir reduciendo el punto óptimo de potencia.

La reducción de este punto óptimo de potencia depende del número de portadoras y variará en los sistemas.

La manera de poder medir la cantidad de ruido de intermodulación dependiendo de la portadora se hace mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{C}{N_o} IM = \frac{C_s}{N_o} Im + P_s - P_{sm}$$

Donde:

$\frac{C_s}{N_o} Im$ proporción de la EIRP en saturación al ruido de intermodulación en un transponder según el punto de operación de una portadora de interés -- (dB)

P_s EIRP del satélite para una portadora de interés en (dBW)

P_{sm} EIRP de saturación en un transponder en (dBW)

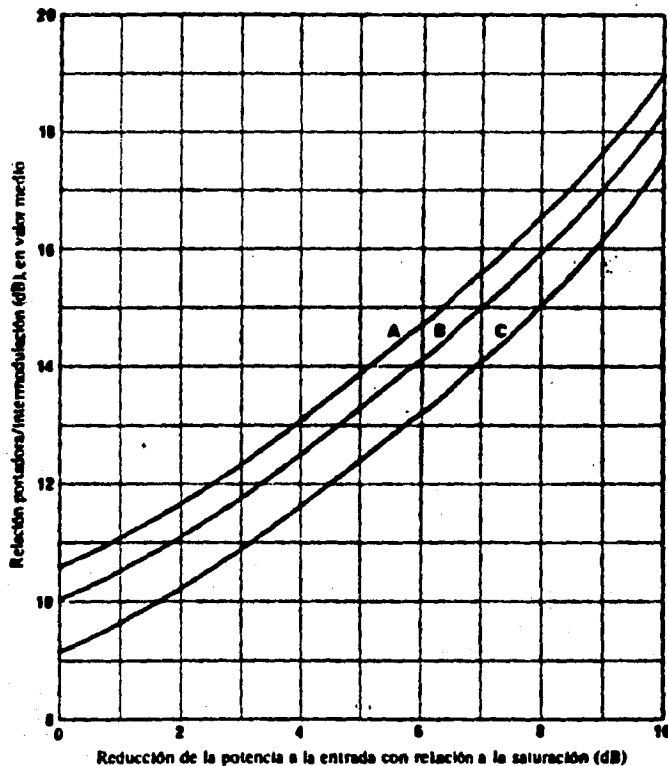


Figura 3. Intermodulación en un tubo de ondas progresiva (ATOP) de tipo corriente .

Curvas A: 6 portaderas

B: 12 portaderas

C: 500 portaderas

13.8) RELACION SEÑAL-RUIDO (S/N)

En un sistema FDM-FM cabe resaltar el caso cuando la potencia de la portadora es suficientemente grande - comparada con la potencia de ruido a la entrada de un demodulador de FM.

Se considera un sólo canal sobre el circuito telefónico multicanal para la relación fundamental entre la relación portadora/ruido (C/N) y la relación señal/ruido (S/N) en un sistema de modulación de frecuencia.

La relación (S/N) llega a considerarse como la razón de la potencia de la señal de tono de prueba a la potencia de ruido ponderado en un canal superior de la banda base, toma en cuenta el mejoramiento por énfasis y el factor de ponderación y que se puede expresar de la siguiente manera:

$$\frac{S}{N} = \left(\frac{C}{N}\right) \frac{3(Fch)^2}{f_2^3 - f_1^3} \quad (BRF) (P) (W)$$

o bien:

$$\frac{S}{N} = \left(\frac{C}{N}\right) \left[\frac{(Fch)^2}{(fm)^2 + \frac{b^2}{12}} \right] \left(\frac{BRF}{b}\right) (P) (W)$$

Cuando el valor de "fm" es más de cuatro veces el valor de "b" se puede reemplazar la anterior expresión con un error de precisión despreciable, por la siguiente relación aproximada:

$$\frac{S}{N} = \left(\frac{C}{N}\right) \left(\frac{Fch}{f_m}\right)^2 \left(\frac{BRF}{b}\right) (P) (W)$$

donde:

$\frac{S}{N}$: relación de la señal de tono de prueba --
(es decir a un 1mW (0dbm) y la potencia -
de ruido en el canal telefónico más eleva
do de la banda base.

$\frac{C}{N}$: relación portadora/ruido a la entrada del
demodulador en un ancho de banda B_{RF} .

B_{RF} : Ancho de banda de radio frecuencia (HZ)

f_2 : límite superior de frecuencia del canal -
más elevado de la banda base (Hz)

f_1 : límite inferior de frecuencia del canal -
más elevado de la banda base (Hz)

$f_m = \frac{f_2 + f_1}{2}$: que es la frecuencia central
(media aritmética) del canal más elevado
de la banda base (Hz)

$b = f_2 - f_1$: ancho de banda del canal telefónico (Hz)

F_{ch} : desviación de frecuencia rms debida al --
tono de prueba por canal (Hz)

p : factor de mejoramiento por énfasis 2.5 -
(4dB) al canal superior de banda base.

w : factor de ponderación 1.8 (2.5dB)

Este factor de ponderación representa el efecto del ruido sobre el oído humano, generalmente se emplea un valor de 2.5dB

Se llegan a desconocer B_{RF} y F_{ch} .

Para resolver estas dos incógnitas es preciso encontrar otra relación entre dichas dos variables. Se supone que el ancho de banda B_{RF} viene dada por:

$$B_{RF} = 2 (\Delta F + f_m)$$

Siendo ΔF la excursión multicanal de cresta.

Para reducir a un nivel tolerable el ruido de

intermodulación causado por la limitación de la anchura de banda, se define una relación adecuada de: ΔF y F_{ch} . La siguiente fórmula es de uso corriente para las bandas de base FDM:

$$\Delta F = (F_{ch}) (g) (L)$$

F: Desviación de frecuencia rms del tono de prueba (Hz)

g: factor pico ("valor cresta/valor rms") expresado como relación numérica

$$13\text{dB}, g = 10^{13/20} = 4.47$$

$$10\text{dB}, g = 10^{10/20} = 3.16$$

El valor de 13dB es el más apropiado para capacidades de portadoras inferiores a unos 120 canales, en tanto que para capacidades superiores se prefiere la cifra de 10dB.

"L" factor de carga

$$L = 10^{\frac{(-15+10\log n)}{20}} \quad n \geq 240 \text{ canales}$$

$$L = 10^{\frac{(1+4\log n)}{20}} \quad n < 240 \text{ canales}$$

13.9) RUIDO EN EL ENLACE ASCENDENTE

Se debe de considerar que estamos realizando - una comunicación que parte desde una estación terrena hasta un satélite.

La potencia de la señal que se recibe en el satélite se denomina como "Pu"; la señal que se recibe en el satélite es conocida como la señal portadora denominada como "C", esta señal es de nuestro interés.

Como la señal portadora "C" se transmite y llega al satélite llega a presentar algunas alteraciones debido al ruido, considerando esto se tiene un nivel de calidad de la señal al ser esta captada en el satélite.

A este nivel de calidad se denomina como relación portadora-ruido definiendo la relación:

$$\frac{\text{Potencia de la portadora recibida}}{\text{Densidad de ruido}}$$

Así, la relación de la potencia de la señal a la densidad de ruido es:

$$C_u / N_{ou} = P_u / N_{ou}$$

Frecuentemente N_{ou} es expresada en términos de una temperatura efectiva de ruido: $N_{ou} = K T_s$

donde:

K : constante de Boltzman (1.38×10^{-23}
Joule / °K)

T_s : Temperatura efectiva de ruido a la entrada del receptor en el satélite (°K)

La relación C_u / N_{ou} para el enlace ascendente - se expresa como:

$$C_u / N_{ou} = (P_T G_T) (\lambda \mu / 4\pi R_u)^2 (G_{su} / T_s) (L_u) (1/K)$$

Expresando esta expresión en decibeles:

$$C_u / N_{ou} = \underbrace{10 \log_{10} (P_T G_T)}_1 - \underbrace{20 \log_{10} (4\pi R_u / \lambda \mu)}_2 + \underbrace{10 \log_{10} (G_{su} / T_s)}_3 + \underbrace{10 \log_{10} L_u}_4 - 10 \log_{10} K$$

1) PIRE de la estación terrera (dBW)

- 2) Pérdida en el espacio libre. (dB)
- 3) G/T del satélite. (dB/°K)
- 4) Pérdidas adicionales en el enlace ascendente. (dB)

Esta es la ecuación básica para el enlace ascendente. Teniendo a C_u/N_{ou} en (dB-Hz)

13.10) RUIDO EN EL ENLACE DESCENDENTE.

El ruido que se presenta en un enlace descendente se considera presente el ruido que recibe la estación terrena y el generado en el receptor de la estación terrena.

La expresión C/N para este caso es:

$$C_d/N_{od} = 10 \log_{10} (P_s G_{sd}) - 20 \log_{10} (4\pi R_d / \lambda d) + \\ + 10 \log_{10} (G_d / T_d) + 10 \log_{10} L_d - 10 \log_{10} K$$

- 1) PIRE del satélite (dBW)
- 2) Pérdida de espacio libre (dB)
- 3) G/T de la estación terrena (dB/°K)

- 4) Pérdidas adicionales en el enlace descendente (dB)

Teniendo a Cd/Nod en (dB-Hz)

13.11) RUIDO EN EL ENLACE ASCENDENTE Y DESCENDENTE TENIENDO A CONSIDERACION LA CARACTERISTICA DEL TRANSPONDER DE UN SATELITE.

Este es un caso especial ya que se tiene la -- condición de la amplificación simultánea para varias portadoras y para esto se debe de considerar los niveles de operación en la amplificación según el transponder del satélite.

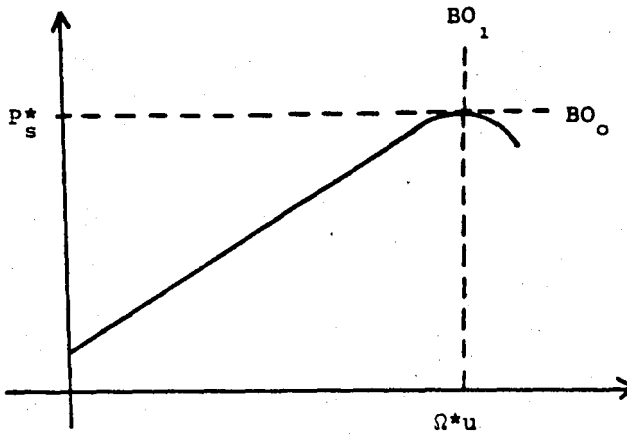
El amplificador que es el tubo de onda progresiva, tiene una región de operación y que llega hasta un punto de operación óptimo que también es conocido como punto de saturación.

Los puntos de saturación que se conocen son:

BO₁ : back off de entrada

BO₀ : back off de salida

De acuerdo a las características del transponder del satélite la operación de este influirá en el enlace ya sea ascendente o descendente como se muestra a continuación.



CARACTERISTICAS DEL ATOP.

La densidad de flujo necesaria para saturar el ATOP es considerada como Ω_u^* y la potencia de salida correspondiente es P_s^* .

Frecuentemente, el satélite opera en el punto back - off desde la región de saturación para evitar distorsiones no lineales. Los puntos back - off de entrada y salida se denotan como: BO_1 y BO_0 respectivamente.

Si tenemos la relación $\frac{C}{N}$ de acuerdo al enlace que se realiza, puede determinarse esta relación considerando el punto de operación del transponder se anotan a continuación las siguientes expresiones para los enlaces ascendente y descendente.

ENLACE ASCENDENTE.

$$(C/N)_{\text{u}} = W_s + (G/T)_s - 10 \log_{10} \frac{4\pi}{\lambda^2} - 10 \log_{10} K - BO_1$$

W_s : Densidad de flujo de saturación en el centro del haz (dBW/m²)

$(G/T)_s$: relación ganancia a temperatura del satélite en el centro del haz (dB/°K)

$10 \log_{10} \frac{4\pi}{\lambda^2}$: ganancia de apertura del 1 m² en el centro de frecuencias del transponder, (dB).

$10 \log_{10} K$: Constante de Boltzman (-228.6 (dBW/°K - Hz))

BO_1 : Entrada back - off en el centro del haz y saturación de una portadora, (dB).

ENLACE DESCENDENTE

$$(C/N_o)_D = \text{PIRE}_{\text{satélite}} - P L_d + (G/T)_E - \Delta D - 10 \log_{10} k - BO_o$$

PIRE satélite: Pire del satélite en el centro del haz y saturación de una portadora, (dBW)

La PIRE del satélite puede también ser expresado como:

$$P_s G_{sd} = P_s^* BO_o G_{sd}$$

Siendo $(P_s^* BO_o)$ la potencia que se obtiene en el punto BO_o .

Debemos de cuidar cual es el grado de calidad y confiabilidad de nuestro sistema considerando las alteraciones que se presentan en el transponder.

$P L_d$: Pérdidas en la trayectoria, descendente, (dB).

$(G/T)_E$: Relación ganancia - temperatura de la estación terrena considerando que se

tiene la frecuencia en el enlace descendente $\left(\frac{dB}{\%K}\right)$

ΔD : factor de ajuste promedio en el enlace descendente debido a las pérdidas en la trayectoria y la ganancia de la antena, (dB).

BO_o : Salida back - off relativa del ATOP a la saturación de una portadora, (dB).

13.12) RUIDO EN EL ENLACE DESCENDENTE.

Una parte del ruido total es permitido para el enlace descendente y el diseño del sistema podría ser afectado.

El ruido en el enlace descendente consiste de componentes del ruido externo e interno como lo muestra la figura 4.

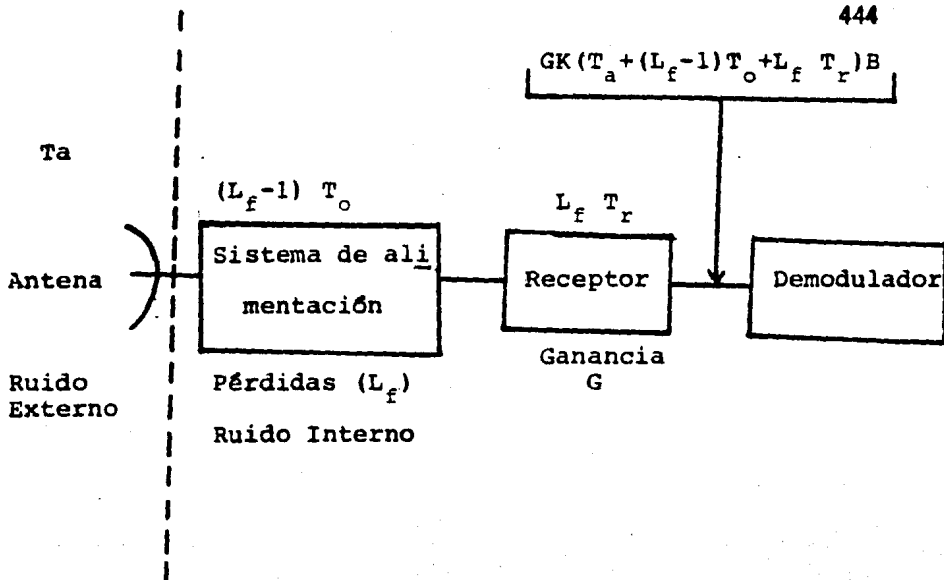


Figura 4

La potencia de ruido referido a la entrada del sistema N_R , se da bajo la siguiente ecuación:

$$N_R = K T_R B$$

siendo $T_R = T_a + (L_f - 1) T_o + L_f T_r$.

T_a : Temperatura equivalente en la antena

T_o : Temperatura ambiente del sistema de alimentación.

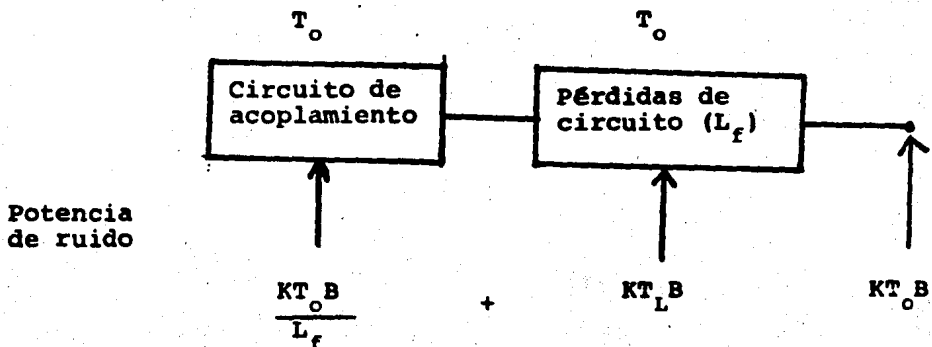
L_f : Pérdidas del sistema de alimentación (>1)

T_r : Temperatura equivalente de ruido en un receptor de bajo ruido y los amplificadores subsecuentes.

En el sistema de comunicación terrestre, el ruido generado por el sistema de alimentación, dichas pérdidas no han sido tomadas en cuenta, pero, en un sistema de comunicación vía satélite, el ruido no será ignorado puesto que el funcionamiento a bajo ruido es sustancialmente requerido.

La razón del porque el ruido $(L_f - 1) T_o$ se debe ya que es generado por las pérdidas del sistema de alimentación. Ver la figura 5.

Temperatura de ruido



El ruido del sistema de acoplamiento implica - pérdidas en el circuito con pérdidas L_f en una temperatura T_0 , en el cual la suma del ruido es: considerando el acoplamiento y las pérdidas de circuito.

Por lo tanto, la temperatura de ruido del circuito con pérdidas (L_f) es como sigue:

$$T_L = T_0 \left(1 - \frac{1}{L_f} \right) \quad \dots \quad (8)$$

Si T_0 es igual a la temperatura ambiente (290°K) la temperatura T_L viene a ser aproximadamente a:

$$T_L \approx 66.7 L_f \text{ (dB)} \quad \dots \quad (9)$$

Esto significa que las pérdidas de un sistema de alimentación si son 0.1 db, corresponde a un incremento de la temperatura de ruido cerca de 7°K . Por lo tanto, -- en los sistemas actuales, es necesario colocar un receptor de bajo ruido a la antena para minimizar las pérdidas de alimentación.

FIGURA DE MERITO RELACION $\frac{G}{T}$

La ganancia de una antena representa la capacidad de la misma para poder dirigir la energía radiada hacia un punto determinado.

La ganancia de una antena representa un parámetro de transmisión de la misma.

Para el caso de una antena reciproca es decir aquella donde puede aplicarse el teorema de reciprocidad - la ganancia podría también significar un parámetro de recepción y en este caso estaría definido como la capacidad de una antena para recibir energía de una dirección determinada evitando aquellas señales indeseables no provenientes de dicha fuente.

Normalmente se acostumbra calificar la calidad de una antena no mediante su ganancia sino con una relación llamada "figura de mérito" que es simplemente la relación de la ganancia del sistema a una temperatura de ruido del mismo y la relación se conoce como:

$$\text{Figura de mérito} = \frac{G}{T}$$

$$\frac{G}{T} = 10 \log_{10} \frac{G}{T} \quad (\text{dB}/^\circ\text{K})$$

G: ganancia de la antena y preamplificador.

T: Temperatura de ruido en el sistema receptor.

La figura de mérito relaciona la proporción de la señal resultante a ruido y a la vez nos indica la capacidad que tiene un sistema receptor para recibir una señal.

Las mediciones de la figura de mérito de una antena se llevan a cabo mediante el uso de señales discretas es decir señales de niveles muy bajos que puedan determinar la sensibilidad del sistema de antena cabe considerar que la señal recibida es débil considerando el caso ya sea en el satélite o en la estación terrena, esto es importante ya que en la antena receptora como en el equipo de recepción hay la presencia de ruido.

Las condiciones mínimas que se requieren en la utilización de una estación terrena son:

- a) Dirección de la transmisión hacia el satélite.
- b) La polarización seleccionada
- c) Las condiciones de cielo despejado y viento ligero.

- d) Frecuencia de operación que en este caso - es la frecuencia de recepción.

Hay tres tipos de estación terrena que cursan tráfico internacional con satélite INTELSAT y son las siguientes:

Estación Terrena	Frecuencia de operación	Diámetro de la antena
Norma A	6/4 GHz	30m - 32m
Norma B	6/4 GHz	11m - 13m
Norma C	14/11 GHz	16m - 18m

ESTACION TERRENA NORMA A

La figura de mérito es:

$$\frac{G}{T} \geq 40.7 + 20 \log_{10} \frac{f}{4}$$

siendo "f" la frecuencia de recepción en GHz.

Para una buena disposición del sistema se debe de lograr en los sistemas de recepción una relación ganancia a temperatura de ruido $\frac{G}{T}$ de $40.7 \frac{dB}{\circ K}$ a 5° de elevación

bajo la condición de cielo despejado.

La ganancia "G" de la antena es medida en 4GHz a la entrada de un amplificador de bajo ruido expresada en (dB) y "T" es la temperatura de ruido del sistema de recepción referido a la entrada de un amplificador de bajo ruido, teniendo que la temperatura se mide en °K.

La ganancia de la antena es medida en 4GHz, teniendo como expresión la siguiente:

$$G \geq 57 + 20 \log_{10} \frac{f}{4}$$

donde "f" es la frecuencia de recepción en GHz.

ESTACION TERRENA NORMA C.

En los sistemas de telecomunicaciones por satélite que funcionan a frecuencias superiores a 10GHz, la figura de mérito $\frac{G}{T}$ considera la atenuación debida a la atmósfera y a la precipitación.

Esta atenuación viene expresada por lo general por un porcentaje de tiempo de acuerdo a la calidad que se desea en un sistema.

Al tener que considerar $\frac{G}{T_1}$, ésta se define como:

$$\frac{G}{T_1} - L_1 \geq (39 + 20 \log_{10} \frac{f}{11.2}) \text{ dB/}^\circ\text{K}$$

que han de cumplir todas las estaciones terrenas durante por lo menos el 90% del año.

El término "L" expresada en dB es el factor de atenuación atmosférica (en relación con las condiciones de cielo despejado).

La "f" es la frecuencia de operación, es decir, la frecuencia de recepción en GHz.

$$\frac{G}{T_2} - L_2 \geq (32.5 + 20 \log_{10} \frac{f}{11.2}) \text{ dB/}^\circ\text{K}$$

que han de cumplir las estaciones terrenas de Europa durante por lo menos el 99.983% del año.

$$\frac{G}{T_3} - L_3 \geq (29.5 + 20 \log_{10} \frac{f}{11.2}) \frac{\text{dB}}{^\circ\text{K}}$$

que han de cumplir todas las estaciones terrenas de América del Norte por lo menos el 99.983% del año.

FIGURA DE MERITO EN EL SATELITE

Se considera que existe la presencia de la temperatura de ruido en el satélite, siendo definida como:

$$T_s = T_{et} \left(\frac{P_s}{P_{et}} - 1 \right)$$

donde:

T_s : es la temperatura de ruido del satélite -
(°K).

T_{et} : es la temperatura de ruido del sistema -
terrestre, que se refiere a la estación
terrena (°K)

siendo $T_{et} = T_{RX} + T_{cielo}$

T_{RX} : Temperatura de ruido en el receptor (°K)

T_{cielo} : Temperatura de ruido en el cielo y el
ruido que se encuentra presente en la
antena de la estación terrena (°K)

P_s : nivel de potencia en el satélite (watts)

P_{et} : nivel de potencia de ruido en una estación terrena (watts)

Teniendo la necesidad de conocer la relación $\frac{G}{T}$ en el satélite, expresandola en $\frac{G}{T}$ (dB) la temperatura de ruido en el satélite puede convertirse de °K a dB.

$$T_{sat}/dB = 10 \log_{10} T_{sat} (^{\circ}K)$$

donde la relación $\frac{G}{T}$ se transforma ahora en:

$$\frac{G}{T} = G - T_{sat} |db$$

donde:

G es la ganancia del satélite (dB)

T es la temperatura de ruido del satélite (dB)

Lo más común es expresar la relación

$$\frac{G}{T} \text{ en } \frac{G}{T} \text{ (dB/}^{\circ}K)$$

Cabe aclarar que la G/T mínima de recepción -- del satélite es medida en cualquier frecuencia contenido en cualquiera de los canales de transmisión y en cualquier lu

gar conteniendo las zonas de recepción.

La $\frac{G}{T}$ esta referida a la interfase entre la antena de recepción y preamplificadores; la temperatura de ruido involucrada en esta relación es la temperatura de ruido total del sistema, en el cual incluye el ruido recibido por la antena de acuerdo a la orientación que se tenga en órbita, el ruido del preamplificador y el ruido de todos los elementos subsecuentes en el canal de transmisión.

14) CALCULO DE UN ENLACE VIA SATELITE

Se realiza el calculo del enlace via satélite mediante el satélite INTELSAT V considerando que se realiza un enlace de tipo global, operando a la frecuencia de 6GHz para el enlace ascendente y la frecuencia de 4GHz para el enlace descendente, se usa para este caso el transponder -- del satélite (7-8) usando un ancho de banda de 72 MHz.

14.1) ENLACE ASCENDENTE

Se determina la relación portadora-ruido para el enlace ascendente $(C/N_o)_u$

$$\begin{aligned} \left(\frac{C}{N_o}\right)_u &= 10 \log_{10} P_T G_T - 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R_u}{\lambda_u}\right) + \\ & 10 \log_{10} \left(\frac{G}{T}\right)_{su} + 10 \log_{10} L_u - 10 \log_{10} K \end{aligned}$$

- 1) Se conoce como p.i.r.e de la estación terrena transmisora, el ancho de banda RF que se ocupa es 7.5MHz para una capacidad de 192 canales correspondiendo una p.i.r.e de 85.4dbW, lo cual es $10 \log_{10} P_T G_T = 85.4$ dbW.

2) Pérdidas en el espacio libre.

Para poder definirlo se tiene como distancia de la trayectoria desde la estación terrena hasta el satélite aproximadamente de 42248 km operando a una frecuencia de transmisión de 6GHz.

$$R_u = 42248 \text{ km}, \quad f = 6 \times 10^9 \text{ Hz}$$

$$\lambda_u = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{6 \times 10^9} \left[\frac{\text{m/seg}}{\text{1/seg}} \right] = 0.05 \text{ m.}$$

$$\frac{4\pi R_u}{\lambda_u} = \frac{4\pi (42248)}{0.05} = 106180.8 \times 10^5$$

$$20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R_u}{\lambda_u} \right) = 200.52 \text{ db}$$

- 3) La figura de mérito del satélite $\left(\frac{G}{T}\right)_{su}$ que se usa en el sistema receptor, considerando un enlace ascendente para una cobertura global $\left(\frac{G}{T}\right)_{su} = -18.6 \text{ db/}^\circ\text{K}$.

4) Pérdidas adicionales en el enlace ascendente.

4.1) Atenuación por gases atmosféricos.

4.1.a) Para poder determinar los datos requeridos se hace uso de las fórmulas

mulas y gráficas correspondientes a este tema.

El ángulo de elevación de $\theta = 6^\circ$, la frecuencia es de 6GHz para un enlace ascendente, de acuerdo a la figura 1 la atenuación específica de oxígeno es $\gamma_o = 0.0068\text{db/km}$, para el caso del agua se considera $\gamma_w = 0\text{db/km}$, la atenuación total " A_a " viene expresada por la ecuación:

$$A_a = \frac{16 \gamma_o}{\sqrt{\text{sen}^2 \theta + \frac{16}{R} + \text{sen} \theta}} + \frac{4\gamma_w}{\sqrt{\text{sen}^2 \theta + \frac{4}{R} + \text{sen} \theta}}$$

$$A_a = \frac{16\gamma_o}{\sqrt{\text{sen}^2 \theta + \frac{16}{R} + \text{sen} \theta}} = \frac{16(0.0068)}{\sqrt{\text{sen}^2(6^\circ) + \frac{16}{8500} + \text{sen}(6^\circ)}}$$

$$A_a = 0.501\text{db.}$$

4.1.b) Atenuación debido a la refracción.

De acuerdo al ángulo de elevación $\theta = 6^\circ$ y la frecuencia de operación de 6GHz usando la figura 3 y

la curva A, la pérdida de refracción es 0.1db.

4.1.c) Atenuación por difusión.

Teniendo un ángulo de elevación de $\theta = 6^\circ$, la frecuencia de operación de 6GHz y el diámetro de la antena transmisora de la estación terrena que es de 30 metros mediante la figura 4. La atenuación por difusión es 0.4db.

4.1.d) Atenuación por centelleo atmosférico.

Usando la figura 5 considerando el ángulo de elevación $\theta = 6^\circ$ y el diámetro de la antena, la atenuación por centelleo atmosférico es 0.46db.

4.2) Efecto de lluvia

Se tiene presente en nuestro caso -- que existe la presencia de lluvia en un enlace ascendente, se usa la figura 1 que se presenta en este tema.

Como datos se tiene una intensidad de lluvia de 25mm/hr y la frecuencia de operación es de 6GHz.

Usando estos dos datos, la lectura que se tiene de acuerdo a la atenuación específica bajo la presencia de lluvia es $\gamma_R = 0.1\text{db/km}$.

Para la altura de la lluvia " h_R " de acuerdo al lugar, se debe considerar la altura sobre el nivel medio del mar de la estación terrena " $h_0 = 2295$ metros (2.295km)"; el ángulo de elevación es $\theta = 6^\circ$, la latitud de la estación terrena " $\varphi = 20^\circ \text{ N}$ ".

La altura de la lluvia " h_R " se obtiene de la siguiente ecuación:

$$h_R = 5.1 - 2.15 \log_{10} \left[1 + 10^{\left(\frac{\varphi - 27}{25}\right)} \right] \quad (\text{km})$$

sustituyendo los valores correspondientes:

$$h_R = 5.1 - 2.15 \log_{10} \left[1 + 10^{\left(\frac{20-27}{25}\right)} \right]$$

$$h_R = 4.707 \text{ km}$$

Para un ángulo de elevación menor a $\theta < 10^\circ$ la longitud del trayecto (L_s) por debajo de la altura de la lluvia se obtiene por medio de la fórmula:

$$L_s = \frac{2(h_R - h_o)}{\sqrt{\text{sen}^2 \theta + \frac{2}{R_e} (h_R - h_o) + \text{sen} \theta}} \quad (\text{km})$$

$$L_s = \frac{2(4.707 - 2.295)}{\sqrt{\text{sen}^2(6^\circ) + \frac{2}{8500} (4.707 - 2.295) + \text{sen}(6^\circ)}} \quad (\text{km})$$

$$L_s = 22.86 \text{ km.}$$

La atenuación por lluvia es:

$$L_R = \gamma_R L_s = (0.1 \text{ db/km}) (22.86 \text{ km})$$

$$L_R = 2.286 \text{ db}$$

4.3) La atenuación diferencial que se llega a presentar en la despolarización se calcula por medio de:

$$A = \gamma_D L \quad (\text{db})$$

Mediante el uso de la figura 4 para el caso de la depolarización por lluvia tenemos como datos la frecuencia de operación de 6GHz y la precipitación de 25 mm/hr, la atenuación específica diferencial es $\gamma_D = 0.012 \text{ db/km}$.

La atenuación diferencial es:

$$A = \gamma_D L = (0.012 \text{ db/km}) (22.86 \text{ km})$$

$$A = 0.274 \text{ db}$$

Las pérdidas adicionales totales que se presentan en en enlace ascendente son:

$$\begin{aligned} L_u (\text{db}) = & \text{atenuación por gases atmosféricos} + \text{atenuación debido a la refracción} \\ & + \text{atenuación por centelleo atmosférico} + \text{atenuación por lluvia} \\ & + \text{atenuación diferencial} \end{aligned}$$

$$L_u (\text{db}) = 0.501 \text{ db} + 0.1 \text{ db} + 0.4 \text{ db} + 0.46 \text{ db} + 2.286 \text{ db} + 0.274 \text{ db}$$

$$L_u (\text{db}) = 4.021 \text{ db}$$

La constante de Boltzman es $10 \log_{10} k = -228.6 \frac{\text{dbW}}{\text{K-Hz}}$

La relación portadora-ruido total en un enlace ascendente es:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{o u} = 10 \log_{10} P_T G_T - 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R_u}{\lambda_u}\right) + 10 \log_{10} \left(\frac{G}{T}\right)_{su} + 10 \log_{10} L - 10 \log_{10} K$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{o u} = 85.4 - 200.52 - 18.6 + 4.021 - (-228.6)$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{o u} = 98.90 \text{ db-Hz}$$

14.2) ENLACE DESCENDENTE

La frecuencia de operación para el enlace descendente es de 4GHz, teniendo en cuenta el uso del transponder (7-8) cuya banda es 72MHz; la relación $\left(\frac{C}{N}\right)_{o D}$ para el enlace descendente a 4GHz se define como:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{o D} = 10 \log_{10} (P_s G_{sd}) - 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R_d}{\lambda_d}\right) + 10 \log_{10} \left(\frac{G}{T}\right)_{ETd} + 10 \log_{10} L_d - 10 \log_{10} k$$

- 1) Se considera p.i.r.e del satélite que opera a 4GHz y que es de 26.5dbW.

$$10 \log_{10} (P_s G_{sd}) = 26.5 \text{dbW}$$

- 2) Pérdidas en el espacio libre.

Se considera la distancia en el enlace descendente desde el satélite hasta la estación terrena receptora de 39500 km operando la estación terrena receptora con un ángulo de elevación de 20°.

$$\frac{4\pi R_d}{\lambda_d} = \frac{4\pi(39500 \times 10^3)}{0.075} = 661 \ 8288524$$

$$20 \log \left(\frac{4\pi R_d}{\lambda_d} \right) = 196.41 \text{db}$$

- 3) La figura de mérito de la estación terrena receptora es de $\left(\frac{G}{T} \right)_{E.T.d} = 40.7 \text{db/°K}$

- 4) Pérdidas adicionales en el enlace descendente.

4.1) Atenuación por gases atmosféricos.

4.1.a) Considerando un enlace descendente la frecuencia de operación es de -

4GHz, un ángulo de elevación de -20° . Haciendo uso de la figura 1 para este tema, el dato que obtenemos son: la atenuación específica para el oxígeno es $\gamma_o = 0.0065$ db/km, para el caso del vapor de agua es $\gamma_w = 0$ db/km; la atenuación total " A_a " se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$A_a = \frac{16 \gamma_o}{\sqrt{\text{sen}^2 \theta + \frac{16}{R} + \text{sen} \theta}} + \frac{4 \gamma_w}{\sqrt{\text{sen}^2 \theta + \frac{4}{R} + \text{sen} \theta}}$$

$$A_a = \frac{16 \gamma_o}{\sqrt{\text{sen}^2 \theta + \frac{16}{R} + \text{sen} \theta}} = \frac{16(0.0065)}{\sqrt{\text{sen}^2 (20^\circ) + \frac{16}{8500} + \text{sen} 20^\circ}}$$

$$A_a = 0.151 \text{db}$$

4.1.b) Atenuación debido a la refracción
De acuerdo al ángulo de elevación de $\theta = 20^\circ$ y la frecuencia de operación de 4GHz, usamos la figura 3 teniendo la curva A, la pérdida de refracción es 0.007db.

4.1.c) Atenuación por difusión

El ángulo de elevación es $\theta = 20^\circ$ y la frecuencia de operación es de 4GHz, el diámetro de la antena receptora es de 30 metros, -- usando estos datos y la figura 4 la atenuación por difusión es de 0.08db.

4.1.d) Atenuación por centelleo atmosférico.

Usando la figura 5 considerando el ángulo de elevación $\theta = 20^\circ$ - y el diámetro de la antena 30 metros, la atenuación por centelleo atmosférico es 0.1db.

4.2) Efecto de lluvia

Se considera que el enlace descendente existe la presencia de lluvia Como datos se tiene una intensidad de la lluvia de 50mm/hr y la frecuencia de operación es de 4GHz, - se hace uso de la figura 1 que se presenta en este tema.

La atenuación específica que se tiene como lectura es $\gamma_R = 0.045\text{db/km}$. La altura de la lluvia " h_R " - de acuerdo al lugar se debe de considerar la altura sobre el nivel - medio del mar de la estación terrena " $h_o = 500$ metros (0.5km)".

El ángulo de elevación es " $\theta=20^\circ$ "

La latitud de la estación terrena

" $\psi = 41.5^\circ\text{N}$ "

La altura de la lluvia " h_R " se obtiene de:

$$h_R = 5.1 - 2.15 \log_{10} \left[1 + 10^{\left(\frac{\psi - 27}{25}\right)} \right] \quad (\text{km})$$

$$h_R = 5.1 - 2.15 \log_{10} \left[1 + 10^{\left(\frac{41.5 - 27}{25}\right)} \right]$$

$$h_R = 3.63 \text{ km.}$$

Para un ángulo de elevación mayor a $\theta > 10^\circ$ la longitud del trayecto (L_s) por debajo de la altura de la lluvia se obtiene por medio de la fórmula:

$$L_s = \frac{h_R - h_o}{\text{sen}\theta} \quad (\text{km})$$

$$L_s = \frac{3.63 - 0.5}{\text{sen } 20^\circ} = 9.15 \text{ km}$$

La atenuación por lluvia es:

$$L_R = \gamma_R L_s$$

$$L_R = (0.045\text{db/km})(9.15\text{km})$$

$$L_R = 0.0411\text{db}$$

4.3) La atenuación diferencial "A" que se llega a presentar en la despolarización se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$A = \gamma_D L \quad (\text{db})$$

Considerando la frecuencia de 4GHz y una precipitación 50mm/hr, con estos datos - usamos la figura 4 en el tema de despolarización, el coeficiente de atenuación - diferencial es $\gamma_D = 0.1\text{db/km}$.

La atenuación diferencial es:

$$A = (0.1\text{db/km}) (9.15 \text{ km})$$

$$A = 0.915\text{db}$$

También haciendo uso de la figura 5 encontramos el valor de la fase diferencial que es: $\beta = 2$ grados/km.

La fase total que ocurre en la trayectoria del enlace descendente es:

$$B = \beta L = (2 \text{ grados/km}) (9.15 \text{ km})$$

$$B = 18.30 \text{ grados}$$

Las pérdidas adicionales totales que se presentan en el enlace descendente son:

$$L_d (\text{db}) = \begin{array}{l} \text{atenuación por} \\ \text{gases atmosféricos} \end{array} + \begin{array}{l} \text{atenuación} \\ \text{debido a la} \\ \text{refracción} \end{array} + \begin{array}{l} \text{atenuación} \\ \text{por difusión} \end{array}$$

$$+ \begin{array}{l} \text{atenuación por cen} \\ \text{tellos atmosférico} \end{array} + \begin{array}{l} \text{atenuación} \\ \text{por lluvia} \end{array} + \begin{array}{l} \text{atenuación} \\ \text{diferencial} \end{array}$$

$$L_d(\text{db}) = 0.151\text{db} + 0.007\text{db} + 0.08\text{db} + 0.1\text{db} + 0.411\text{db} + 0.915 \text{ db}$$

$$L_d(\text{db}) = 1.664\text{db}$$

La $\left(\frac{C}{N_o}\right)_D$ total es:

$$\begin{aligned} \left(\frac{C}{N_o}\right)_D &= 10 \log_{10} (P_s G_{sd}) - 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R_d}{\lambda_d}\right) + 10 \log_{10} \left(\frac{G}{T}\right)_{\text{E.T.d.}} + \\ &+ 10 \log_{10} L_d - 10 \log_{10} K \end{aligned}$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_D = 26.5 - 196.41 + 40.7 + 1.664 - (-228.6)$$

$$\left(\frac{C}{N_o}\right)_D = 101.054\text{db} - \text{Hz}$$

RELACION PORTADORA-INTERMODULACION QUE SE PRESENTA EN EL SATELITE.

$$\frac{C}{N_o} \Big|_I = 18 + 10 \log_{10} B_T$$

B_T : ancho de banda del transponder (MHz). Si solo usamos un 90% del ancho de banda:

$$\frac{C}{N_o} \Big|_I = 18 + 10 \log_{10} (72 \times 0.9 \times 10^6)$$

$$\frac{C}{N_o} \Big|_I = 96.11 \text{ db} - \text{Hz}$$

Relación de interferencia intrasistema para enlaces ascendente y descendente.

$$\frac{C}{N_o} \Big|_1 = 98.1 \text{ db} - \text{Hz}$$

RECEPCION DEL ENLACE DESCENDENTE.

La relación portadora-ruido captada en nuestro receptor de acuerdo a un ancho de banda determinado se tiene por medio de:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_D = \left(\frac{C}{N}\right)_O - B; \quad B(\text{db}) = 10 \log_{10} (\text{Hz})$$

Definiendo a "B" como:

$$B = 2(3.16 g F_r + F_m) \quad \text{donde}$$

$$g = \text{antilog} (L/20)$$

como se manejan 192 canales telefónicos:

$$L = -1 + 4 \log_{10} (n), \quad 12 < n < 240 \quad \begin{array}{l} \text{canales} \\ \text{telefónicos} \end{array}$$

$$L = 8.133$$

$$g = \text{antilog} (8.133/20) = 2.55$$

F_r : desviación del tono de prueba (rms)

INTELSAT ha determinado valores ya establecidos de acuerdo al número de canales que se asignen en una estación terrena, la F_r que se manejan en nuestro caso es $F_r = 297\text{KHz} \approx 0.297\text{MHz}$.

F_m : es la frecuencia máxima de banda base.

$$F_m = (4.2) (n) \text{ KHz}$$

$$F_m = 806.4 \text{ KHz}$$

El ancho de banda asignada en la estación terrena para la recepción es:

$$B = 6400 \text{ KHz} \approx 6.4 \text{ MHz}$$

$$B = 68.06 \text{ db}$$

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{N_0} - B$$

$$\frac{C}{N} = 101.054 - 68.06 \therefore \frac{C}{N} = 33 \text{ db}$$

La relación señal-ruido que se recupera en el receptor considerando el nivel de tono de prueba de 1mW -- para un canal de ruido de 7500 pWop.

$$\frac{S}{N} = \left(\frac{C}{N}\right) + 10 \log_{10} \frac{B}{b} + 20 \log_{10} \left(\frac{F_r}{F_m}\right) + P + w$$

$$\frac{C}{N}: \text{relación portadora-ruido (db)} = 33 \text{ db}$$

$$B: \text{Ancho de banda en el receptor} = 6400 \text{ KHz}$$

b: Ancho de banda del canal telefónico = 3.1KHz

F_r : desviación del tono de prueba = 297KHz

F_m : frecuencia máxima en banda base = 806.4KHz

p: factor psofométrico = 2.5db

w: factor de preénfasis = 4.0db

$\frac{S}{N}$: relación señal-ruido = 63.97db

POTENCIA DE RUIDO PONDERADO "Nw"

Esta potencia de ruido ponderado se considera derivandola de la relación señal-ruido ($\frac{S}{N}$) anterior para -- el máximo canal de banda base.

$$10 \log_{10} Nw = 83.5 - \left(\frac{C}{N}\right)_D + 10 \log_{10} (b) - 20 \log_{10} \left(\frac{F_r}{F_m}\right)$$

$$10 \log_{10} Nw = 83.5 - 101.54 + 10 \log_{10} (3100) - 20 \log_{10} \left(\frac{297}{806.4}\right)$$

$$Nw = 358.09 \text{pWop}$$

Relación portadora-ruido total de un enlace --
por satélite $\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{total}}$

Enlace ascendente $\left(\frac{C}{N}\right)_{o u} = 98.90 \text{ db-Hz}$

Enlace descendente $\left(\frac{C}{N}\right)_{o D} = 101.054 \text{ db-Hz}$

Relación portadora-intermodulación $\left(\frac{C}{N}\right)_{o I} = 96.11 \text{ db-Hz}$

Relación debido a la interferencia intrasistemas para enlaces ascendentes y descendentes $\left(\frac{C}{N}\right)_{o 1} = 98.1 \text{ db-Hz}$

De la siguiente ecuación obtendremos la $\left(\frac{C}{N}\right)_{o T}$ tal:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{o T} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{\frac{1}{\text{antilog}\left(\frac{C}{N}\right)_{o u}} + \frac{1}{\text{antilog}\left(\frac{C}{N}\right)_{o I}} + \frac{1}{\text{antilog}\left(\frac{C}{N}\right)_{o D}} + \frac{1}{\text{antilog}\left(\frac{C}{N}\right)_{o 1}}} \right]$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{o T} = 89.58 \text{ db-Hz}$$

MARGEN DE UMBRAL

Se obtiene el margen de umbral a partir de:

$$E = \frac{C}{N_o} \Big|_{op} - 10 \log_{10} B_o - 10 \text{ (db)}$$

Para nuestro diseño consideramos $\frac{C}{N_o} \Big|_{op} = 104 \text{ db-Hz}$
 teniendo en cuenta que la $\left(\frac{C}{N_o}\right)_D = 101.054 \text{ db-Hz}$

" B_o " es el ancho de banda ocupado por una señal
 FM y que es 6400KHz

$$E = 104 - 10 \log_{10} (6400000) - 10$$

$$E = 25.94 \text{ db}$$

RUIDO

Se hace un análisis para el ruido presente a la frecuencia de 6GHz en un enlace ascendente.

a) Ruido Solar

Temperatura de ruido solar se determina -- por la siguiente ecuación:

$$T = \frac{195750}{f \times 10^{-9}} \text{ (}^\circ\text{K)}$$

$$T = \frac{195750}{6 \times 10^9 \times 10^{-9}} = 0.326 \times 10^5 \text{ }^\circ\text{K}$$

b) Temperatura de ruido atmosférico

Empleando la figura 2 de este tema de ruido, teniendo como parámetros la frecuencia de 6GHz y el ángulo de elevación de $\theta=6^\circ$ - se tiene que $T_{\text{atm}} = 20^\circ\text{K}$

c) Temperatura de ruido provocado por lluvia.

Esta se puede determinar por medio de la ecuación:

$$T_b = T_m [1 - 10^{-(A/10)}] \text{ para } f < 60\text{GHz}$$

siendo la temperatura de nube $T_m = 260^\circ\text{K}$

De los datos que se tienen en el tema de -
atenuación por lluvia, el coeficiente de -
atenuación es $\gamma_R = 0.1\text{db/km}$ y $L_s = 22.86\text{ km}$
teniendo estos datos para realizar el cál-
culo de: $A = \gamma_R \times L_s \times r_p$ (km).

siendo $r_p = \frac{90}{90 + 4L_G}$ donde $L_G = L_s \cos\theta$ -
(km).

$$L_G = (22.86\text{ km}) \cos(6^\circ) = 22.73\text{ km.}$$

$$r_p = \frac{90}{90 + 4(22.73)} = 0.497$$

Sustituyendo los valores de " L_G ", " r_p " y -
" γ_R " en "A" se tiene que $A = 1.136\text{db}$.

La temperatura de ruido provocado por la -
lluvia es:

$$T_b = T_m [1 - 10^{-(A/10)}] \quad (^\circ\text{K})$$

$$T_b = 260 [1 - 10^{-(1.136/10)}]$$

$$T_b = 59.84 \text{ } ^\circ\text{K}$$

d) Ruido terrestre.

Teniendo un ángulo de elevación de $\theta = 6^\circ$ y la frecuencia de 6GHz consideramos que el lugar donde se localiza la estación terrena es de suelo rugoso. De acuerdo a -- nuestra ecuación ya definida para obtener la temperatura de ruido terrestre.

$$T_{er} = T_t (1-R_{ef}) = T_t \epsilon$$

siendo $T_t = 290^\circ\text{K}$

Hacemos uso de la figura 3, teniendo los parámetros anteriores tenemos la lectura de $\epsilon = 0.9$

$$\text{Si } T_{er} = T_t \epsilon = (290^\circ\text{K}) (0.9)$$

La temperatura de ruido terrestre es - - -

$$T_{er} = 261^\circ\text{K}$$

RUIDO EN UN ENLACE DESCENDENTE A LA FRECUENCIA DE 4GHz.

a) Ruido Solar

La temperatura de ruido solar se tiene por:

$$T = \frac{195750}{f \times 10^{-9}} \quad (^\circ\text{K})$$

$$T = \frac{195750}{4 \times 10^9 \times 10^{-9}} = 0.48 \times 10^5 \quad ^\circ\text{K}$$

b) Temperatura de ruido atmosférico

Empleando la figura 2 y teniendo como parámetros la frecuencia de 4GHz y un ángulo de elevación de $\theta = 20^\circ$ se tiene que - - -

$$T_{\text{atm}} = 12^\circ\text{K}$$

c) Temperatura de ruido provocado por lluvia.

Se puede determinar de la manera anterior como se hizo para el enlace ascendente.

Pero ahora se considera $\gamma_R = 0.045\text{db/km}$,

$$L_s = 9.15 \text{ km}, \quad T_m = 260^\circ \text{ K.}$$

$$L_G = L_s \cos \theta$$

$$L_G = (9.15 \text{ km}) \cos (20^\circ)$$

$$L_G = 8.59 \text{ km}$$

$$r_p = \frac{90}{90 + 4 L_G}$$

$$r_p = 0.723$$

$$A = \gamma_R \times L_s \times r_p$$

$$A = (0.045) (9.15) (0.723)$$

$$A = 0.297$$

$$T_b = 260 [1 - 10^{-A}]$$

$$T_b = 17.18 \text{ }^\circ\text{K}$$

d) Ruido terrestre

De acuerdo al ángulo de inclinación en la estación terrena receptora que es $\theta = 20^\circ$ y considerando el tipo de suelo seco, de la figura 3, se tiene como lectura $\epsilon = 0.85$; la temperatura de ruido terrestre es:

$$T_{er} = 290 \epsilon$$

$$T_{er} = 246.5 \text{ }^\circ\text{K}$$

Ganancia de una antena para $f = 4\text{GHz}$ cuyo diámetro es 30 metros, considerando la norma INTELSAT.

$$G \geq 57 + 20 \log_{10} \frac{f}{4}$$

$$G = 57\text{db}$$

TEMPERATURA DE RUIDO DEL SISTEMA.

$$\text{Si } \frac{G}{T} = 30.7\text{db}/^\circ\text{K}$$

$$\text{Donde: } \frac{G}{T} = 10 \log_{10} G - 10 \log_{10} T$$

$$10 \log_{10} T = 10 \log_{10} G - \frac{G}{T}$$

$$10 \log_{10} T = 57 - 40.7$$

$$T = 42.65^\circ\text{K}$$

RUIDO EN EL ENLACE ASCENDENTE

La potencia de ruido en un enlace ascendente -

es:

$$N_u = K T_u B$$

$$B = (72\text{MHz})(0.9) = 64.8 \times 10^6 \text{ Hz}$$

$$T = (0.326 \times 10^5 \text{°K} + 20 \text{°K} + 59.84 \text{°K} + 261 \text{°K})$$

$$T = 0.326 \times 10^5 \text{°K} + 340.84 \text{°K}$$

$$T = 32940.84 \text{°K}$$

$$K = 1.30 \times 10^{-23} \frac{\text{Joule}}{\text{°K}} = 1.30 \times 10^{-23} \frac{\text{watt}}{\text{°K-Hz}}$$

$$N = KTB$$

$$N = (1.30 \times 10^{-23} \frac{\text{watt}}{\text{°K-Hz}}) (32940.84 \text{°K}) (64.8 \times 10^6 \text{Hz})$$

$$N = 2774936.36 \times 10^{-17} \text{ watt}$$

$$N = 10 \log_{10} (2774936.36 \times 10^{-17})$$

$$N = -105.56 \text{dbW}$$

RUIDO EN EN ENLACE DESCENDENTE.

La potencia de ruido en un enlace descendente

es:

$$N_D = K T_D B$$

$$\text{siendo } T_D = T_a + (L_f - 1) T_o + L_f T_r$$

T_a : Temperatura de ruido externo

$$T_a = 0.48 \times 10^5 \text{°K} + 12 \text{°K} + 17.18 \text{°K} + 246.5 \text{°K}$$

$$T_a = 0.48 \times 10^5 \text{°K} + 275.68 \text{°K}$$

$$T_a = 48275.68 \text{°K}$$

L_f : pérdidas en el sistema de alimentación

Pérdida en gufa de onda 0.5 db

Pérdida en el acoplador (diplexor) 0.12db

Pérdida en la gufa de onda 0.5db

Las pérdidas totales del sistema de alimenta--
ción es 1.12db.

$$L_f = \text{antilog} \left(\frac{L_f \text{ (db)}}{10} \right)$$

$$L_f = \text{antilog} (1.12/10) = 1.29$$

T_o : temperatura ambiente del sistema de alimentación: 290°K

T_r : temperatura equivalente de ruido en un receptor de bajo ruido y amplificadores subsecuentes: 45°K

$$T_D = T_a + (L_f - 1) T_o + L_f T_r$$

$$T_D = 48275.68^\circ\text{K} + (1.29-1)(290^\circ\text{K}) + (1.29)(45^\circ\text{K})$$

$$T_D = 48275.68^\circ\text{K} + 84.1^\circ\text{K} + 58.05^\circ\text{K}$$

$$T_D = 48417.83^\circ\text{K}$$

$$N_D = K T_D B$$

$$N_D = (1.30 \times 10^{-23} \frac{\text{watt}}{^\circ\text{K-Hz}}) (48417.83^\circ\text{K}) (7.5\text{MHz})$$

$$N_D = 4.72 \times 10^{-12} \text{ watt}$$

$$N_D = -113.26\text{dbw}$$

CONCLUSIONES

En esta tesis se explican las características de la comunicación vía satélite para analizar los diferentes procesos que intervienen en una comunicación.

Cuando se tiene la necesidad de establecer la comunicación se tiene en consideración el elemento receptor que es la antena que se usa como transmisor y receptor de señales.

El satélite debe estar colocado en una posición fija considerando el criterio de la órbita geoestacionaria de acuerdo a esta posición el satélite INTELSAT V debe tener una adecuada localización cuando está en el espacio, para esto se hace uso de estaciones de Telemetría y Comando donde estas tienen la capacidad de controlarlo y ubicarlo en la posición que tenga asignado. El satélite funcionará en diferentes bandas de frecuencia y regiones del mundo para establecer la comunicación necesaria.

Las instalaciones que se tienen para una comunicación vía satélite son estaciones terrenas. Considerando el desarrollo de la tecnología en los sistemas de telecomunicaciones se tiene la instalación de estaciones terrenas es-

tandar tipo A y C. De acuerdo a las características del satélite INTELSAT V, la tecnología empleada en las estaciones terrenas son teniendo sistema analógico-digital en la estación terrena estandar A y sistema de comunicación digital - en la estación terrena estandar C.

En una comunicación analógica la multicanalización por distribución en frecuencia (FDM), la modulación en frecuencia (FM) y el acceso múltiple por distribución en frecuencia (FDMA) a nivel mundial.

En el sistema de comunicación SPADE, la modalidad que se establece para la comunicación vía satélite es - analógica-digital, el funcionamiento de este sistema es adecuado para una baja demanda de tráfico y sólo será mantenida la comunicación entre dos estaciones terrenas. De acuerdo a esto se puede decir que este sistema de comunicación no es para uso continuo, su funcionamiento se puede apoyar mediante una programación adecuada por computadora.

El sistema de comunicación TDMA establece una - comunicación vía satélite de manera digital. El funcionamiento se basa en que la transmisión se hará de acuerdo a - un intervalo de tiempo asignado a cada estación terrena es-

tandar tipo C. Practicamente esta nueva modalidad de comunicaci3n se empieza a emplear a partir del sat3lite INTELSAT V como tambi3n en los posteriores sat3lites de la serie - - INTELSAT.

La estaci3n terrena estandar A hace uso de los sistemas de comunicaci3n en frecuencia y SPADE usando la -- banda de frecuencia 6/4GHz mientras que la estaci3n terrena estandar C s3lo utiliza el sistema de comunicaci3n TDMA en la banda de frecuencia de 14/11GHz.

La estaci3n terrena estandar C apenas se introduce como una nueva modalidad de comunicaci3n v3a sat3lite, pero, se espera que en el futuro se intensifique el uso de esta estaci3n terrena. Se tiene por el momento a nivel mun dial un uso mayor de la estaci3n terrena estandar A.

La comunicaci3n en el medio ambiente no se realiza de manera ideal ya que se producen cambios en la atm3sfera terrestre. Los efectos que se producen son porque - - existe la presencia de la misma atmosfera terrestre, la llu via y la ionosfera.

En la informaci3n se tiene la presencia de rui d3o y que se presenta tanto en el espacio exterior, en la at

mósfera, en el sistema de comunicación considerando de ante mano que éste no puede ser evitado y por lo tanto es necesario mantener un control del nivel de ruido.

Considerando que los satélites pertenecen a un organismo internacional que es INTELSAT los servicios que han prestado hasta el momento son:

- a) Llamadas telefónicas
- b) Transmisión de datos
- c) Canales de televisión por satélite.

En todos los satélites INTELSAT cierta parte de la capacidad se ha reservado para servicios a petición tales como la televisión. Ciertos países de acuerdo a las necesidades utilizan los satélites INTELSAT no sólo para el uso de tráfico internacional, sino para prestar servicios de telecomunicaciones dentro de sus propias fronteras. Estos países según sus necesidades hacen uso de una capacidad de reserva en los satélites INTELSAT que se les arrenda para sus comunicaciones nacionales. Los países que hacen esto es porque tienen la necesidad de ampliar sus propias redes de comunicación interna, debido a que su red de enlace por microondas ya no es lo sumamente práctica. Por eso cuando se presentan este tipo de problemas, INTELSAT puede arrendar la capacidad

de reserva de sus satélites para prestar servicios nacionales. Con esto se ofrece la posibilidad de establecer servicios de comunicaciones con elevada calidad incluso televisión a cualquier sitio donde se puede construir una estación terrena. Se ha considerado que la demanda de este tipo de servicio ha crecido de tal manera que la organización internacional INTELSAT pretende que en sus planes futuros se cuente con la necesidad de cubrir servicios nacionales y ya no tener una capacidad de reserva en sus satélites para prestar estos servicios.

Las nuevas tecnologías en el campo de las telecomunicaciones impondrán innovaciones en la comunicación vía satélite. El desarrollo de la comunicación vía satélite influirá en los servicios tales como los negocios. El tipo de aplicaciones que se puede esperar en el futuro haciendo uso de los satélites de comunicación son:

- a) Enlaces por computadora, considerando la capacidad del sistema de computación.
- b) Sistema que usen control remoto.
- c) Conferencias por televisión.
- d) Correo electrónico.

De acuerdo al desarrollo de proyectos de sistemas de satélite para comunicaciones se clasifican en:

- a) Sistema global
- b) Sistema nacional

El sistema global se usa para una comunicación transcontinental teniendo un sistema de comunicación de alta tecnología con un control de su explotación mediante una organización internacional como es INTELSAT.

Los satélites pueden ser utilizados por servicios móviles como barcos, aviones y estaciones terrenas móviles, el tipo de servicio de comunicación que se llega a tener en estos sistemas son la telefonía y el telex.

La comunicación marítima por satélite conocido como INMARSAT se formó en 1982, en este sistema es posible comunicarse desde un barco en un lugar cualquiera, siempre y cuando el barco este equipado con un sistema de comunicación vía satélite y puede ser usado de manera continua.

Para el sistema global se ha tenido la planeación de los satélites INTELSAT V, VI y VII.

De acuerdo al sistema nacional se considera que algunos países tienen la necesidad de poseer su propio sistema de satélite para que así se puedan cubrir sus propias necesidades, ubicando su satélite en una posición adecuada de acuerdo a una órbita geostacionaria. Los países que han desarrollado sus sistemas por satélite son: Canadá, Estados Unidos, Brasil, México, Colombia, Francia, Italia, Gran Bretaña, República Federal de Alemania, Suecia, Indonesia, Japón, India y Australia.

En cuanto a investigación y desarrollo se ha considerado los adelantos que han contribuido a mejorar la eficacia, economía, capacidad de tráfico y vida útil de los satélites.

Entre los logros más importantes se tiene el desarrollo de las baterías de níquel-hidrógeno cuyas perspectivas de vida útil son muy superiores a las de las baterías de níquel-cadmio que se utilizaban anteriormente. Se tiene la aplicación de material plástico y fibra de grafito, mejoras en las celdas solares, el desarrollo de transistores de efecto de campo (FET) para sustituir a los tubos de ondas progresivas del satélite, se utilizara un sistema de antenas cada vez más perfeccionado, los sistemas de comunicación SPADE y otros sistemas de transmisión tienden a modificarse

e implantando nuevos métodos de comunicación.

Para una adecuada planificación se considera las posibles necesidades futuras por lo que respecta al tráfico como también los límites de la tecnología y la disponibilidad del ancho de banda en el espectro de frecuencia radio - eléctricas.

En la actualidad la organización INTELSAT tiene en consideración la producción de la serie de satélites - - INTELSAT V-A que serán capaces de cursar 15000 llamadas telefónicas simultaneamente y dos canales de televisión.

Estos satélites entrarán en servicio a mediados de la década de los 80. También se dedica a empezar con la planificación de la próxima serie de satélites INTELSAT VI y que se dispondrá de una capacidad de 40000 circuitos telefónicos.

Según la planificación de la organización - - - INTELSAT se tiene como perspectiva:

Plataformas espaciales de aplicación múltiple donde podrían ser ensamblados en el espacio y que estarán -

equipadas con equipo de comunicación que se encargarán de -
suministrar diversas clases de servicios. Se podrá tener -
también la comunicación entre satélites y que se podría pro-
porcionar cobertura compartida al mundo entero y ofrecer di-
versas clases de servicios.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Rosen, Harold A .
" Satélites geostacionarios para telecomunicaciones " .
Ericsson Review . Vol 53 , Número 3 .1976.
Estocolmo , Suecia .
- 2) Quaglieno , Quiseppe .
" La generación INTELSAT V " .
IEEE Spectrum . Octubre 1979. Nueva York, EUA .
- 3) Fuenzalida J.C , Rivalan P , Weiss H.J.
" Sumario INTELSAT V " .
Comsat Technical Review. Vol 7 ,Número 1 . 1977.
- 4) V. Neill Dennis .
" Lanzamiento y posición orbital " .
Comsat Technical Review . Vol 2 , Número 2 . 1972 .
- 5) NEC (Nippon Electric Company) . Ltd .
" Comunicaciones por satélite " .
Tokio , Japón . 1983 .
- 6) KDD . Technical Journal .
Nº 110 . Octubre 1981 .
Kokusai Denshin Denwa Co., Ltd , Japón .
- 7) Miya , K .
" Tecnología de comunicación por satélite " .
KDD Company. Tokio , Japón .1981.
- 8) Spilker James J. Jr
" Comunicación digital por satélite "

9) Lathi , B.P .

" Introducción a la teoría y sistemas de comunicación " .

Ed. Limusa . México .1976.

10) Schwartz, Mischa .

" Información , transmisión , modulación y ruido " .

Ed. Mc Graw Hill , Ltd. 1980.

11) Van Trees, Harry .L .

" Comunicaciones per satélite " .

IEEE Press . 1981.

12) INTELSAT

" Especificaciones del sistema SPADE " .

Documento del Director General . BG-14-30S . INTELSAT 1980 .

13) INTELSAT

" Especificaciones del sistema TDMA / DSI " .

Documento del Director General . BG-42-65S. INTELSAT 1980 .

14) INTELSAT

Documento BG-8-23E . INTELSAT 1974 .

15) INTELSAT

" Intellink " .

Vol.1 , Número 10 . Primer cuarte 1981.

INTELSAT . Washington DC, EUA .

16) INTELSAT

" Intellink " .

Vol. 1 , Número 12 . Tercer cuarte 1981 .

INTELSAT . Washington DC, EUA .

- 17) Recomendaciones e informes del CCIR 1982. Volumen II .
" Investigación espacial y Radioastronomía " .
XV Asamblea Plenaria , Ginebra 1982.
Ginebra , Suiza . 1982 .
- 18) Recomendaciones e informes del CCIR 1982. Volumen IV .
" Servicio fijo por satélite " .
XV Asamblea Plenaria , Ginebra 1982.
Ginebra , Suiza . 1982 .
- 19) Recomendaciones e informes del CCIR 1982. Volumen V.
" Propagación en medios no ionizados " .
XV Asamblea Plenaria, Ginebra 1982 .
Ginebra , Suiza . 1982.
- 20) Recomendaciones e informes del CCIR 1982. Volumen VI .
" Propagación en medios ionizados " .
XV Asamblea Plenaria , Ginebra 1982 .
Ginebra , Suiza . 1982 .
- 21) Recomendaciones e informes del CCIR 1982. Volumen X y XI .
" Servicio de radiodifusión por satélite " .
XV Asamblea Plenaria , Ginebra 1982 .
Ginebra , Suiza . 1982 .