

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



COMUNICACION VIA SATELITE

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA

FRANCISCO MEDRANO LLANES

ASESOR

ING. FERNANDO ESTRADA SALAZAR

CD. UNIVERSITARIA.

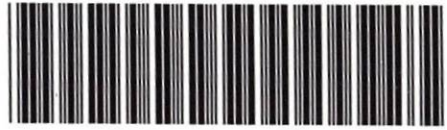
JUNIO DE 1996

T

TK5104

M4

C.1



1080072227

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



COMUNICACION VIA SATELITE

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMUNICACIONES

PRESENTA

FRANCISCO MEDRANO LLANES

ASESOR

ING. FERNANDO ESTRADA SALAZAR

CD. UNIVERSITARIA,

JUNIO DE 1996

T
TK5104
M4

BURSAI RANGKAI
UANG
FONDO
LICENCIATURA

DEDICO LA PRESENTE TESINA A TODAS AQUELLAS PERSONAS
QUE DE UNA U OTRA MANERA INFLUYERON PARA SU
REALIZACION

CON CARIÑO Y RESPETO A MIS PADRES

SR. FRANCISCO MEDRANO DE LEON

SRA. ROSA MARIA LLANES CAMPOS

AGRADECIENDO ETERNAMENTE SU APOYO. LA EDUCACION

Y EL AMOR QUE ME BRINDARON PARA LLEVAR A FELIZ

TERMINO MI CARRERA

A MIS HERMANOS

ROSA MARIA

ROBERTO

ENRIQUE

CON AMOR PARA MI NOVIA

SRIT: LUZ FABIOLA ROBLEDO OBREGON

POR SU AMOR, COMPRENCION POR EL -
APOYO QUE ME BRINDO DURANTE TODA MI
CARRERA Y POR SER ELLA QUIEN ME -
AYUDO A REALIZAR MI TESINA.

A MIS MAESTROS Y FACULTAD

QUE ME BRINDARON LA OPORTUNIDAD DE
ESCUCHAR SUS ENSEÑANZAS, EXPERIENCIAS
Y MENSAJES

A TODOS MIS COMPAÑEROS DE ESTUDIO
DURANTE TODA MI CARRERA

A MI ASESOR:

ING. FERNANDO ESTRADA SALAZAR

I N D I C E

pag.

I	INTRODUCCION	1
II	SATELITE INTELSAT	10
III	CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE UN SISTEMA GLOBAL DE COMUNICACION CON SATELITES GEOESTACIONARIOS	12
IV	CONFIGURACION DE LOS CIRCUITOS DE SATELITE	18
V	DESCRIPCION A CUADROS DE UN SATELITE TIPICO	24
VI	ACCESO MULTIPLE	31
VII	ESTACIONES TERRENAS	39
VIII	NORMAS	58
IX	SISTEMAS DOMESTICOS	64
X	EJEMPLO	74

I INTRODUCCION

1.1. TERMINOLOGIA

Antes de entrar de lleno al tema, hemos considerado de interés presentar la terminología clásica utilizada en la técnica de las comunicaciones por satélite para facilitar su interpretación.

a) Servicio Espacial

Entre Estaciones Terrenas, cuando se utilizan satélites activos o pasivos para el intercambio de comunicaciones en los servicios fijo o móvil, o entre alguna estación terrena y estaciones situadas en satélites activos, para el intercambio de comunicaciones del servicio móvil.

b) Telemedida Espacial

Telemedida usada para la transmisión, desde una estación espacial, de resultados de mediciones efectuadas en un vehículo espacial, incluyendo las relativas al funcionamiento del vehículo espacial.

c) Telemando Espacial

Transmisión de señales radioeléctricas a una estación espacial, para indicar, modificar o interrumpir el funcionamiento de los aparatos situados en el objeto espacial asociado, incluyendo la estación espacial.

d) Seguimiento Espacial

determinación de la órbita, velocidad o posición instantánea de un objeto en el espacio por medio de la radio--determinación, con excepción del radar, con el propósito de seguir los desplazamientos del objeto.

e) Satélite Activo

Satélite de la tierra provisto de una estación destinada a emitir o retransmitir señales de radiocomunicación.

f) Satélite Pasivo

Satélite de la tierra destinado a transmitir señales de radiocomunicación por reflexión.

g) Sistemas de Satélites

Cualquier conjunto coordinado de estaciones que proporcionan un servicio especial determinado, incluyendo uno o más satélites activos.

h) Estación Terrena

Estación del servicio especial situada en la superficie de la tierra inclusive a bordo de un barco o de una aeronave.

i) Estación Espacial

Estación del servicio especial situada en un objeto que se encuentra, que está destinada a ir o que ya estuvo -

fuera de la parte principal de la atmósfera de la tierra.

J) Sistema Espacial

Cualquier conjunto coordinado de estaciones terrenas y espaciales que proporcionan un servicio espacial determinado pudiendo incluir, en ciertos casos, objetos espaciales que reflejan las señales de radiocomunicación.

k) Órbita

Trayectoria descrita en espacio por el centro de gravedad de un satélite u otro objeto espacial.

l) Angulo de inclinación de una órbita

Angulo agudo entre el plano que contiene una órbita y el plano del ecuador terrestre.

m) Período de un objeto espacial

El tiempo comprendido entre dos pasajes consecutivos de un objeto espacial por un mismo punto de su órbita cerrada.

n) Altitud de apogeo

Altitud a partir de la superficie de la tierra del punto de una órbita cerrada de un satélite en que éste se encuentra a distancia máxima del centro de la tierra.

o) Altitud de perigeo

Altitud a partir de la superficie de la tierra del punto

de una órbita cerrada de un satélite en que éste se encuentra a distancia mínima del centro de la tierra.

p) Satélite Estacionario

Satélite cuya órbita circular se encuentra en el plano ecuatorial de la tierra y que gira en torno al eje polar de la misma en el mismo sentido y con igual período de rotación.

1.2 CLASIFICACION DE LAS COMUNICACIONES ESPACIALES

Las radiocomunicaciones que se efectúan por medio de una estación espacial o estaciones espaciales se les llama generalmente comunicaciones espaciales, pero tienen el nombre formal "Comunicaciones radioespaciales". Se clasifican principalmente en tres grupos:

- a) Entre estación terrena y estación espacial.
- b) Entre estaciones espaciales.
- c) Entre estaciones terrenas por retransmisión o reflexión desde una estación espacial.

1.3 HISTORIA

Las reflexiones en la luna aplicando las técnicas del radar fueron repetidamente demostradas en los finales de los 40's e inicio de los 50's. En julio del 1954, el primer mensaje de voz fué transmitido por la marina de los E. U. , mediante el trayecto tierra-luna. En 1956 un servicio de relevador lunar de la marina de E.U. fue establecido entre Washington D.C. y Hawai. EL circuito one-

ró hasta 1962, ofreciendo una comunicación de larga distancia digna de confianza limitada solamente por la "disponibilidad" de la luna a el sitio de transmisión y recepción. la potencia usada fué de 100 kw., con antenas de 26 metros de diámetro a 430 Mhz.

Un globo metalizado de dimensiones correctas y puesto en órbita por un cohete, puede ser usado como un reflector de ondas electromagnéticas generadas por un transmisor terrestre. parte de la energía puede ser recogida por estaciones receptoras en algún punto sobre la tierra, desde el cual el globo es visible, obteniendo de este modo un sistema de satélite de comunicación pasivo.

Através de la acción conjunta de los laboratorio de telefonía Bell, la Nasa y la Jet Propulsión; el proyecto "Echo" fué realizado.

EL satélite cuya forma era de un globo, tenía un diámetro de 30 metros y estaba cubierto de nylon con lámina de aluminio. La órbita circular tenía una altura de cerca de 1,600 km. En 1960 se logró la transmisión de telefonía y televisión gracias al sistema de F. M. en la banda de radiofrecuencias de 1Ghz y 2.5Ghz, mediante la cual investigaron las propiedades de la transmisión.

Aunque los satélites activo tienen capacidad infinita para comunicarsiones de acceso múltiple, son gravemente obstaculizadas por el uso ineficiente del transmisor de potencia. En el experimento "Echo", por ejemplo, solamen

te una parte en 10 de la potencia transmitida (10kw) es regresada a la antena receptora. Puesto que la señal se ve afectada por el ruido que llega desde varias fuentes, para compensar ésto, se utiliza en el receptor un amplificador de bajo ruido.

La ventaja de los satélites pasivos, es que no requieren de equipo electrónico sofisticado a bordo. Se usa para rastreo un transmisor emisor de luz, pero en general no es necesario electrónica complicada, así como tampoco es necesaria la estabilización de posición para satélites esféricos. Tal simplicidad, más la carencia de electrónica espacial en los fines de los 50's, hizo interesante el sistema pasivo en los primeros años de la comunicación por satélite. Ya que en corto tiempo la electrónica espacial llegó a estar disponible, los sistemas pasivos fueron reemplazados por satélites activos.

El primer satélite activo de los E.U. fué el satélite transmisor "Score", lanzado el 18 de Diciembre de 1958. El "Score" fué un satélite repetidor con retardo, recibiendo señales desde estaciones terrenas a 150 Mhz; el mensaje era almacenado en una cinta y después retransmitido. Los 68 Kgs. de carga útil fueron situados en una órbita baja con un perigeo de 182 Kms. y un apogeo de 1,048 Kms.

El equipo de comunicaciones estuvo energizado con baterías, que después de 12 días de operación estaba completamente descargada y se detubo la transmisión.

Después de indagar por primera vez en el espacio con los satélites "Sputnik, Explorador y Vanguardia", incluyendo los proyectos "Score" y "Courier", el mayor paso experimental en tecnología de satélites de comunicación activos, se realizó con los proyectos "Telstar, Relay y Syncom".

El proyecto "Telstar" es el más conocido, probablemente porque fué el único capaz de retransmitir programas de televisión através del atlántico. El primer "Telstar" fué lanzado desde Cabo Cañaberal el 10 de Julio de 1962. En una esfera de aproximadamente 85 cms. de diámetro, pesando 80 wgs. El vehículo de lanzamiento fué un cohete Thor-Delta el cual situa satélites en una órbita elíptica con un apogeo de 5,600 Kms. en un período de 2 horas y media.

El "Telestar II" se construyó con mayor resistencia a la radiación, pero por lo demás fué idéntico predecesor. Fué lanzado en Mayo de 1963.

La potencia de los "Telestar I y II" fué de 2.25 Watts - proporcionada por un tubo de ondas progresivas (TWT) con un ancho de banda de 50 MHz a 6 y 4 GHz. Ambos fueron - de giro estabilizado. la capacidad de comunicación era de 600 canales telefónicos o un canal de televisión.

El "Telestar" fué diseñado como un experimento y no fué destinado para operación comercial. Entre otras cosas, - la órbita usada hizo a éste visible solamente por períodos breves. Un proyecto con objetivos similares, el pro-

yecto "Telalay", fué desarrollada por la Radiocorporación de América, bajo contrato con la NASA, siendo igualmente exitoso.

Los E. U. han desempeñado un papel muy importante desde el principio en cuanto se refiere al campo de la comunicación por satélite, pero la URSS también lanzó en Mayo de 1965 su primer satélite de comunicación, Molnya de una órbita elíptica con una apogeo entre 39,152vms. y un período de 11 horas con 38 minutos. los datos principales de los experimentos de comunicaciones especiales se muestran en la tabla 1.1

2.1 INTELSAT I

Fué puesto en servicio en Junio de 1965. Conocido mundialmente como el "Early Bird" (Pájaro Madrugador), tenía una capacidad de 240 canales de voz o un canal de televisión, servía únicamente para comunicación entre Europa y Norte América. No tenía posibilidad de acceso múltiple. Este satélite era una versión modificada del "Syncom". Hizo posible por vez primera la transmisión de televisión comercial en forma directa através del Océano Atlántico.

2.2 INTELSAT II

El Intelsat I fué seguido por el exitoso lanzamiento de 3 satélites de la serie Intelsat II en el año de 1967, - uno de ellos fué situado sobre el Océano Atlántico y 2 sobre el Pacífico, extendiendo el alcance de los satélites de comunicación a más de dos terceras partes del mundo. Aún y cuando el Intelsat II tenía la misma capacidad que el anterior, estaba diseñado para operar en varias estaciones de tierra a la vez y no únicamente con dos como el Intelsat I.

2.3 INTELSAT III

Los Satélites Intelsat III de mayor potencia y capacidad fueron colocados sobre el Océano Indico, Pacífico y Atlántico, durante el período de 1968 a 1970. El satélite del Océano Indico vino a completar la cobertura mundial de los satélites de comunicación.

N O M B R E	FECHA DE LANZAMIENTO	ALTITUD DE LA ORBITA INICIAL (KILOMETROS)	TELECOMUNICACIONES TRANSMISIONES
"Score"	Diciembre 19, 1958	185 a 1.471	Voz y telegráfo, inclusive repetición de señales con demora y re-transmisión de mensajes grabados
"Courier I-A"	Agosto 18, 1960	No entró en órbita (explo-to el vehiculo)	- - -
"Courier I-B"	Octubre 4, 1960	943 a 1.234	Voz telegráfo y telefoto, inclusive la transmisión de voz a Puerto Rico.
"Telstar I"	Julio 10, 1962	954 a 5.638	Televisión, voz, telegráfo, cifras y telefoto, inclusive transmisiones entre los E. U. y Europa Occidental y Sud América y entre los E. U. y Japón.
"Relay I"	Diciembre 3, 1962	1.318 a 7.422	
"Syncom I"	Febrero 13, 1963	34.227 a 36.973	- - -
"Telstar II"	Mayo 7, 1963	972 a 10.803	similar a "Telstar I"
"Syncom II"	Julio 26, 1963	35.792 a 35.804	Voz, telegráfo, datos y telefotos inclusive transmisiones entre los E. U., Europa Occidental y Africa.
"Relay II"	Enero 21, 1964	2.132 a 7.403	similar a "Relay I"

N O M B R E	FECHA DE LANZAMIENTO	ALTITUD DE LA ORBITA INICIAL (KILOMETROS)	TELECOMUNICACIONES TRANSMISIONES
"Syncom III"	Agosto 19, 1964	35.781 a 35.798 km.	Voz- Televisión.
"Early Bird"	Abril 6, 1965	35.787 a 35.796 km.	Similar a "Syncom III" (Comercial - entre E. U. y Europa)
"Molnya I"	Abril 23, 1965	497 a 39.380 km.	Televisión, voz, tele--grafía.

TABLA 1.1

Los Intelsat III, tenían una capacidad de 1.200 canales de voz o cuatro canales de televisión y un tiempo de vida calculado de 5 años.

2.4 INTELSAT IV

La serie de satélite Intelsat IV, vino a aumentar en forma notable la capacidad y flexibilidad global de comunicaciones. El primero de ellos fué lanzado en Enero de 1971 y empezó a prestar servicio durante el mes de Marzo del mismo año, su capacidad de 4,000 canales telefónicos o 12 canales de televisión y su tiempo de vida calculado fué de 7 años.

2.5 INTELSAT IV-A

Esta serie de satélites tienen una capacidad promedio de 6.000 canales de voz más dos canales de televisión fueron lanzados en forma progresiva a partir de Enero de 1976. Tiene 20 transponder cada uno con un ancho de banda de 36 MHz. Este satélite fué diseñado para incrementar el uso efectivo del espectro de frecuencia mediante una técnica llamada "Reutilización de frecuencia".

2.6 INTELSAT V

Esta serie está diseñada para una capacidad promedio de 12,000 canales de voz más dos canales de televisión. Está diseñado para transmitir y recibir simultáneamente polarizaciones ortogonales a fin de permitir un factor de reutilización de cuatro en las bandas de cuatro y seis GHz.

III CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE UN SISTEMA GLOBAL DE COMUNICACION EN SATELITES GEOESTACIONARIOS

3.1. Período orbital

En este sistema el satélite conserva una órbita ecuatorial de aproximadamente 24 horas, periodo orbital.

Este período orbital, para el caso de una órbita circular, se encuentra definido por la ley de Keppler, que enuncia lo siguiente:

$$P_o^2 = \frac{4\pi^2 (R + h)^3}{\mu}$$

donde:

P_o = Período orbital (seg)

R = Radio de la tierra (6,378 km)

h = Altura del satélite (km)

= Constante de Keppler = $(399 \times 10^3 \frac{\text{km}^3}{\text{seg}^2})$

Ecuación derivada de los criterios de equilibrio entre las fuerzas centrífugas y de atracción gravitacional.

Para un período orbital de aproximadamente 24 horas, el satélite se encuentra a una altura aproximada de 35.860 km, tomando automáticamente la condición estacionaria, para un observador desde la tierra. Este período relativo se determina por la relación siguiente:

$$P = \frac{24P_o}{24 - P_o}$$

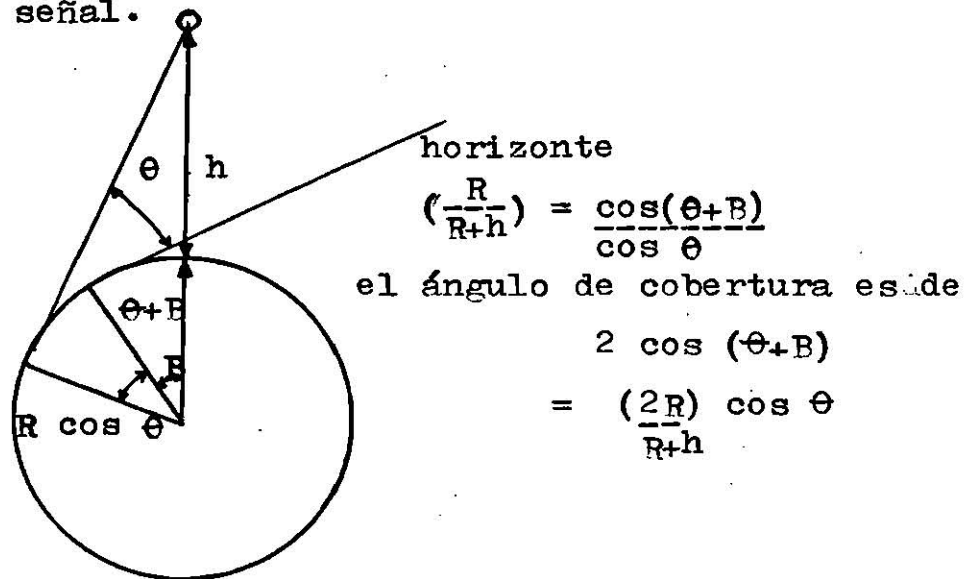
Donde P es definido como un período relativo. Se observa en esta ecuación que el período relativo de un satélite de período orbital de 24 hs. es infinito. El científico inglés A.C. Clarke enunció, en 1945, una idea de lanzamiento de un satélite fijo y su uso para comunicaciones internacionales.

3.2. Area de Cobertura

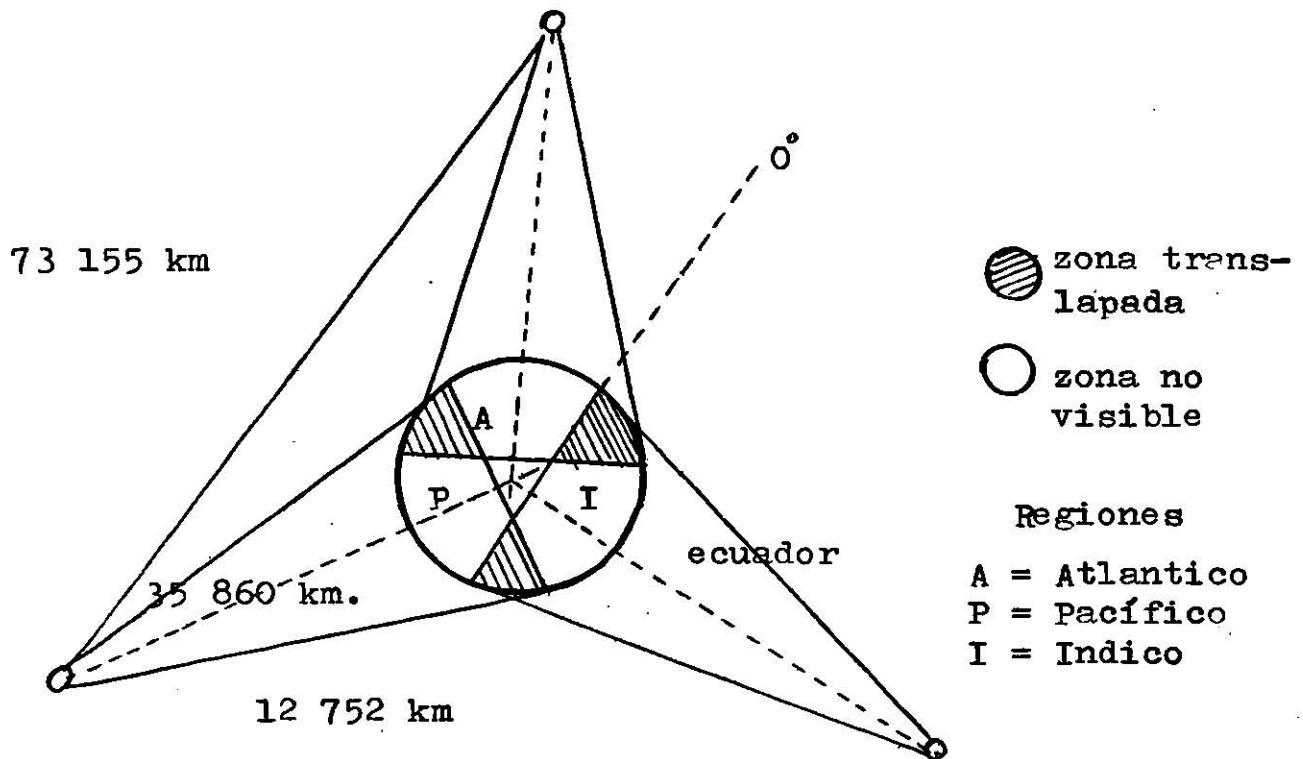
Son tres los satélites requeridos para establecer un sistema de comunicación global con este tipo de satélites, con un ángulo de cobertura sobre el ecuador de la tierra de 162.6° . Condición máxima para antena en tierra con un ángulo de elevación de 5° . La figura 3.1 ilustra un procedimiento para calcular el ángulo de cobertura de tierra del satélite y la localización de éstos.

El mayor problema de un sistema de comunicación que opera con satélites geoestacionarios o fijos, es el retardo de la voz, alrededor de 0.6 segundos, para una comunicación de un solo salto, es decir, estación terrestre-satélite-estación terrestre. Sin embargo, por experimentos e investigaciones realizadas con el satélite Early Bird, se sabe que el retardo de voz no es un problema serio para los servicios de comunicación. En comunicaciones telefónicas para grandes distancias será preferible cambiar estos sistemas con otros (por ejemplo), cables submarinos o enlaces de microondas) a utilizar dos saltos (estación terrestre-satélite-estación terrestre-satélite-estación terrestre), que por causas inherentes

del sistema supera al un segundo, del tiempo de retardo degradándose la señal.



a) Calculo del ángulo de cobertura del satélite



b) Localización de satélites estacionarios para un sistema global de comunicación.

Figura No. 3.1

El acceso múltiple, como su nombre lo indica, permite - que en un repetidor común (satélite) tengan acceso un - gran número de portadores de radiofrecuencia mediante las cuales se establecen comunicación entre todas las - estaciones transmisoras que tengan acceso a este repe-- tidor común, Para que una estación transmisora (esta- - ción terrena) tenga acceso a un satélite, será suficien - te encontrarse dentro del ángulo de cobertura de este - satélite.

3.3. Pérdidas de transmisión y asignación de frecuen- - cias.

Los satélites en general, como parte de un sistema glo- bal de comunicación, tiene como finalidad retransmitir las señales geoestacionarios, por la gran distancia que conservan respecto a la tierra (35,860 km), requieren - de dispositivos adicionales que permitan compensar las pérdidas ocasionadas en el espacio libre. Se puede ob- servar en la ecuación 3.3., la potencia recibida des- de una estación espacial (satélite), es inversamente - proporcional al cuadrado de la distancia o inversamente proporcional a las pérdidas en el espacio libre, como - lo indica la ecuación 3.4.

$$P_r = P_t \cdot G_t \cdot G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad \text{Ec. 3.3}$$

donde:

P_t = Potencia de transmisión

G_t = Ganancia de antena de transmisión

G_r = Ganancia de antena de recepción

λ = Longitud de onda

d = distancia entre satélite y estación terrena

donde:

$$\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2$$

Ec. 3.4

Determina las pérdidas en el espacio libre.

Estos dispositivos activos, como amplificadores a diodo tunel y tubos de onda progresiva de alto y bajo nivel, permiten compensar las pérdidas en el espacio libre mencionado. Se incluyen, además en este tipo de satélites osciladores y mezcladores para transponer o abatir las frecuencias recibidas de las transmitidas, con objeto de evitar interferencias sufridas en el satélite por el uso de una misma frecuencia para transmisión y recepción. De esta forma un satélite geoestacionario, como parte integral de un sistema global de comunicación, tiene la siguiente característica,

$$F_t \neq F_r$$

Ec. 3.5

donde:

F_t = Frecuencia de transmisión

F_r = Frecuencia de recepción

La designación de estas frecuencias, dadas a conocer en la Conferencia Extraordinaria Radioadministrativa, celebrada en Génova, en 1963, después de considerar que en frecuencias menores de 1GHz el ruido estático y cósmico aumenta y que a frecuencias mayores de 10 GHz las ondas son absorbidas por el oxígeno o el vapor existente en el aire cuando pasan através de la zona atmosférica; y considerando que este ruido es un coeficiente que depende de la elevación sobre el plano horizontal, acordó fi

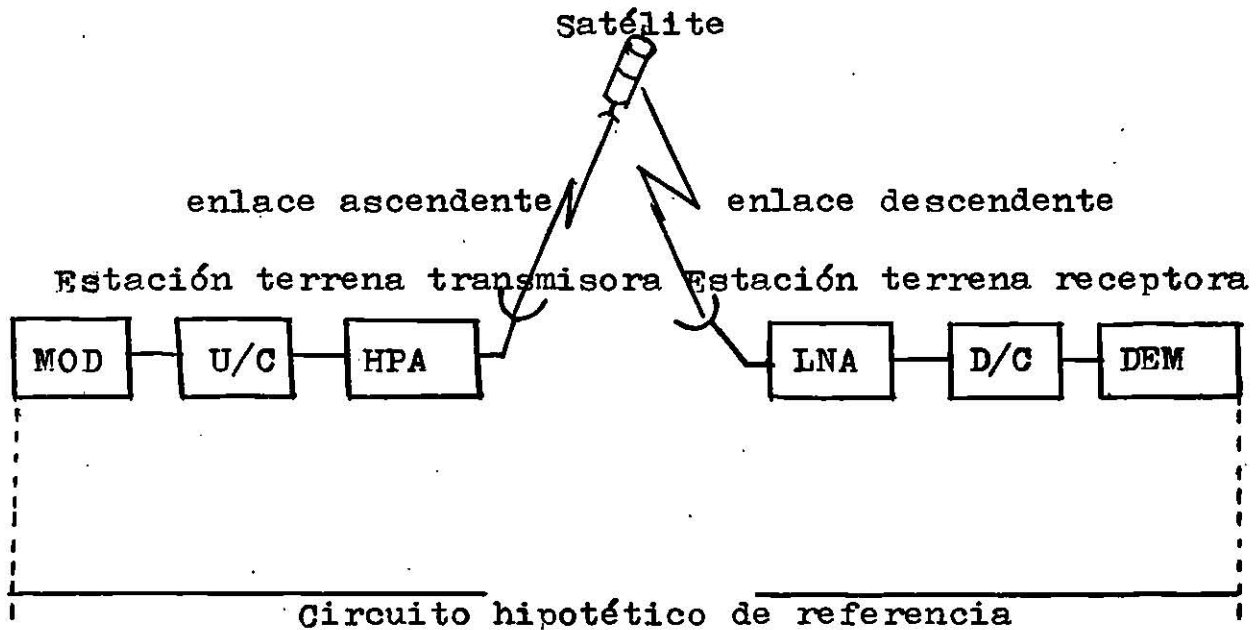
nalmente apta la gama de frecuencias comprendidas entre uno y 10 GHz (referidas como radioventana); para ser utilizada en comunicaciones vía satélite, quedando de -- signadas para usarse en el sistema global de comunicación las frecuencias de 5,925-6,425 MHz para la transmisión de tierra a satélite y de 3,400-4,200 MHz para la transmisión de satélite a tierra.

IV CONFIGURACION DE LOS CIRCUITOS DE SATELITE

4.1 Circuito Hipotético de referencia.

El CCIR ha recomendado un circuito hipotético de referencia de los sistemas activos de comunicación por satélite con el objeto de ofrecer la guía a los diseñadores de equipos y de sistemas para utilizarse en la red actual de telefonía y televisión.

Como se estipula en sus recomendaciones (REC352-1), un circuito hipotético de referencia consiste de un satélite, una estación terrena transmisora y una estación terrena receptora, como se muestra en la figura 4.1



Cada estación terrena tiene un par de equipos de modulación y demodulación para translación de la banda base - hasta la portadora de radiofrecuencia, y de la portadora de radiofrecuencia hasta la banda base, respectivamente.

Este circuito se puede considerar dividido en dos partes:

Uno se denomina, enlace ascendente (Up-link), y el otro enlace descendente (Down-link).

El enlace ascendente incluye una trayectoria de una estación terrena transmisora hasta un satélite, y un enlace descendente incluye una trayectoria de un satélite - hasta una estación terrena receptora.

En el sistema INTELSAT IV, como ejemplo, las frecuencias del enlace ascendente, están entre 5,924 MHz y 6,425 - - MHz las del enlace descendente están entre 3,700 MHz y 4,200 MHz.

Todos los satélites INTELSAT, son satélites de traslación de frecuencia que tienen la función de amplificación y traslación de frecuencia.

4.2 ENLACE RADIOELECTRICOS POR SATELITE

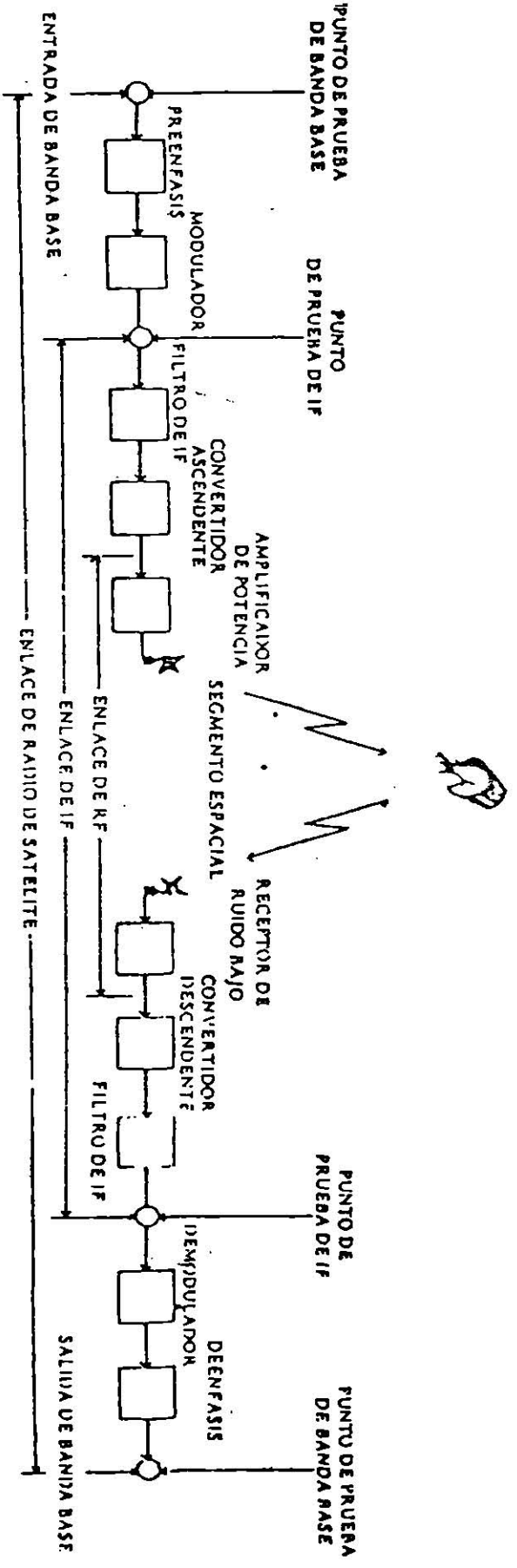
Los circuitos hipotéticos de referencia se componen de los enlaces radioeléctricos por satélite. La configuración de estos enlaces, se muestra en la figura 4.2 y - - los términos usados se definen como sigue:

a) Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)

Es el método de combinar en el repetidor del satélite de comunicaciones las señales recibidas de cada estación terrena.

DIRECCION DE TRANSMISION

SATELITE



b) Enlace RF

El enlace RF es el que se extiende de la salida del convertidor ascendente de la estación terrena hasta la entrada del convertidor descendente de una o varias estaciones receptoras terrenas.

c) Enlace FI

Para las transmisiones multiplexadas por división de frecuencia y moduladas en frecuencia (FDM/FM) de telefonía y las de FM de video, el enlace de FI se extiende de la salida del modulador en la estación terrena transmisora hasta la entrada del demodulador de una o varias estaciones receptoras.

d) Enlace por satélite

Para las transmisiones de video y telefonía, el enlace por satélite se extiende de la entrada de la banda base del equipo de radio en la estación terrena transmisora hasta la salida de la banda base del equipo de radio de la estación terrena receptora.

e) Banda base

El término banda base incluye la banda de frecuencia desde 0 Hz hasta f_{sup} , en la que f_{sup} es la frecuencia de modulación más alta para la portadora que se utiliza.

Los enlaces radioeléctricos de satélite se extienden a través de los sistemas de microondas y los de línea coaxial a los centros internacionales.

Todas las transmisiones internacionales entre dichos -- centros se componen de los enlaces de super grupo, enlaces de grupo y enlaces vocales, como se muestra en la - figura 4.3

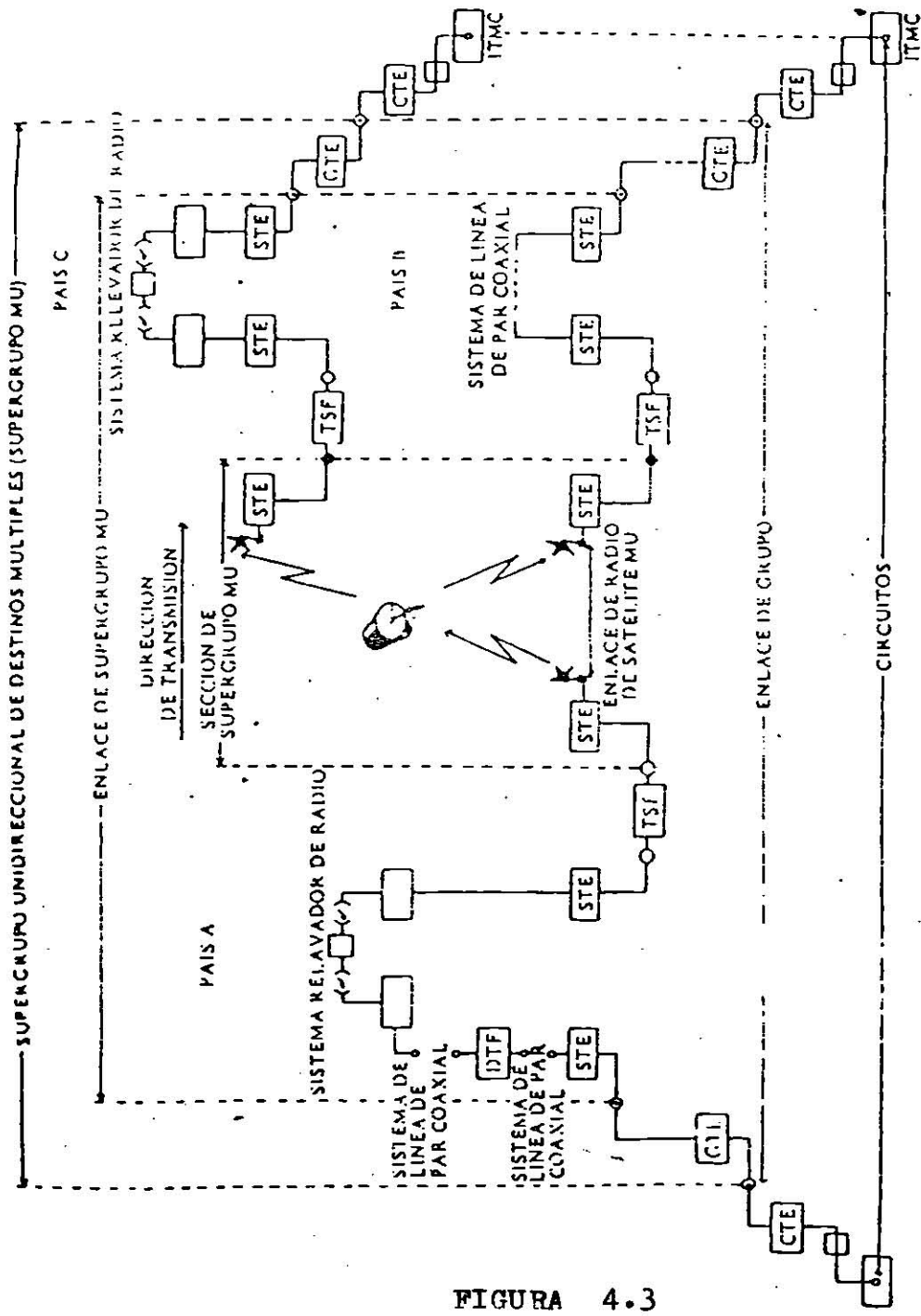


FIGURA 4.3

V DESCRIPCION A CUADROS DE UN SATELITE TIPICO

5.1 INTELSAT III

La figura 5.1. muestra el diagrama a cuadros de un satélite de la serie Intelsat III. Donde una ruta de transmisión-recepción se conoce con el nombre de transponder el cual recibe las portadoras de radiofrecuencia (RF)- en el orden de los 6 GHz y las convierte en 4 GHz, amplificadas antes de ser retransmitidas, con objeto de aumentar la potencia de transmisión en el satélite por asignación a cada transponder total. En la figura 5.2 se indican los espectros de frecuencia manejados por cada uno de los transponder indicados en la figura 5.1

La evaluación general de funcionamiento del equipo montado en el satélite, así como el control del mismo, son factores importantes para predecir su tiempo de vida útil. Estos son conocidos desde la tierra através de una estación monitora denominada de telecomando y control - que tiene como función interpretar las señales de telecomando y control recibidas desde el satélite y transferir codificadas las instrucciones necesarias para corregir un desarreglo previsto.

Haciendo referencia a la figura 5.1, estas señales son recibidas por la antena omnidireccional del satélite, - el amplificador a diodo tunel y tubo de ondas progresivas de baja potencia, e insertadas al decodificador de telecomando, através de un filtro acoplador, donde son procesadas antes de aplicarse al circuito de control -- que puede ser el encendido del motor de apogeo para co-

regir la órbi-
ta, encender el
amp. de TWT etc.

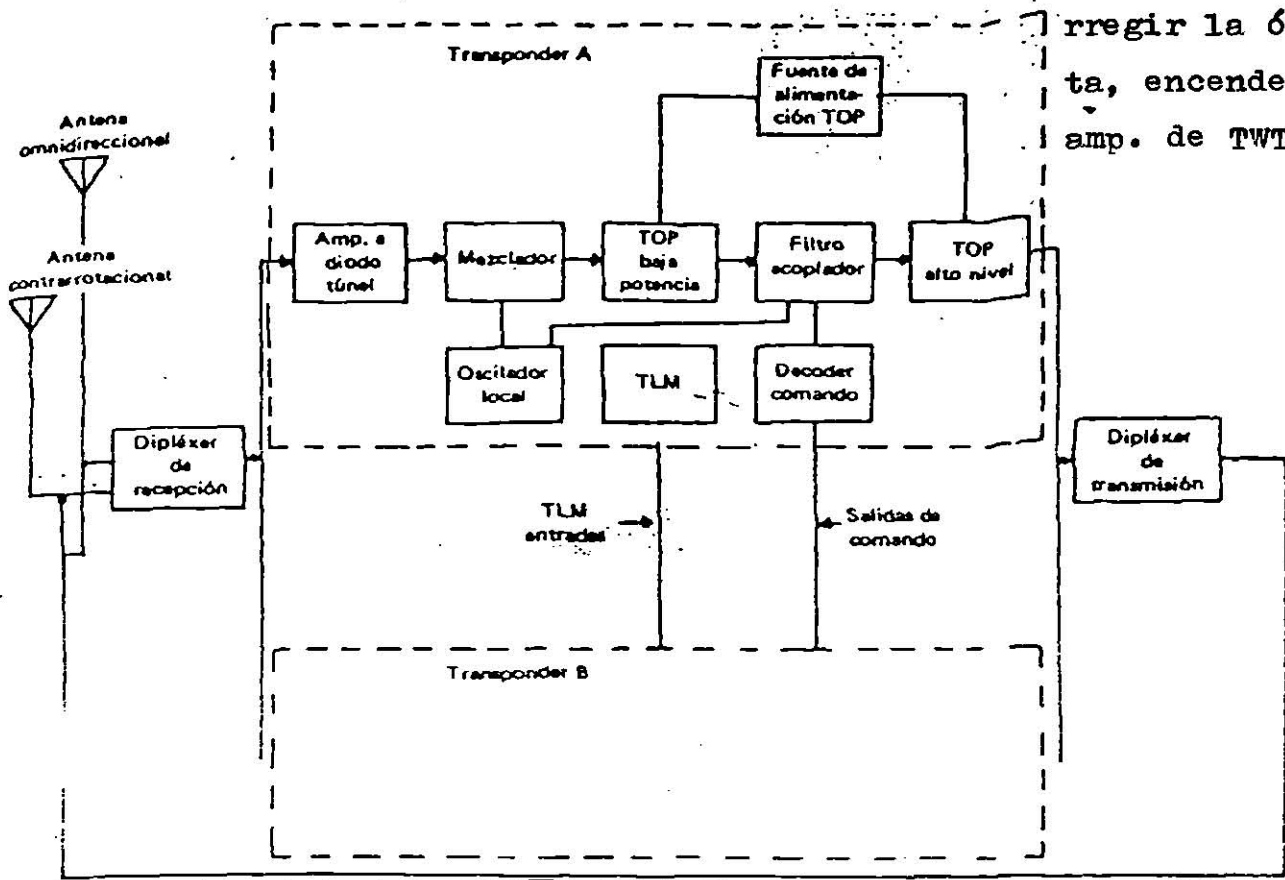


Figura No. 5.1

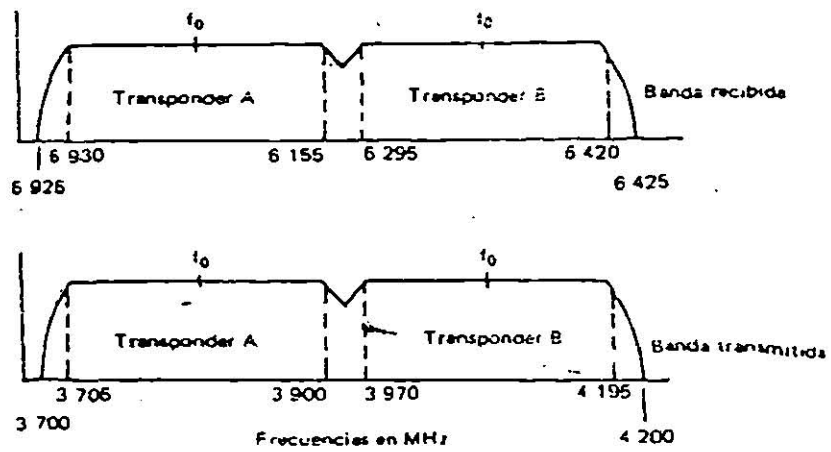


Figura No. 5.2

Haciendo referencia a la misma figura, a continuación se delinea el funcionamiento básico de los componentes utilizados en la trayectoria de la señal de comunicación.

a) Antena

Las señales de comunicación enviadas desde la estación terrena en frecuencia del orden de los 6 GHz son recibidas por la antena contrarrotacional (este sistema de antena permite mayor estabilidad al satélite) y pasadas a dipléxer de recepción.

b) Dipléxer de recepción

En el dipléxer de recepción son separadas las bandas alta y baja de comunicación, (figura 5.2) para ser alimentadas a su respectivo transponder.

c) Amplificador a diodo tunel

Siguiendo la trayectoria de la señal através de un transponder, observamos que esta es amplificada en el amplificador a diodo tunel que tiene aproximadamente 31 dB de ganancia y una figura de ruido de 5.3 dB.

d) Mezclador

En esta parte son mezcladas las señales de comunicación de 6 GHz, para convertirlas en señales del orden de los 4 GHz (abatidas o transpuestas 2 225 MHz), en esta misma parte se cuenta con filtros que eliminan las señales espurias indeseables, producto de la mezcla, permitiendo el acceso al amplificador a tubo de ondas progresivas a las señales utiles de comunicación.

e) Tubo de ondas progresivas de baja potencia

Las señales de comunicación son amplificadas en esta parte del equipo.

f) Tubo de ondas progresivas de alta potencia

Aquí las señales de comunicación son finalmente amplificadas al nivel adecuado de transmisión.

g) Dopléxer de transmisión

Las señales de ambos transponder son combinadas para ser alimentadas a la antena de comunicación que se encargaría de transmitir a la información hacia la tierra.

5.2 TENDENCIAS POSTERIORES

La capacidad máxima de un satélite como el referido -- (Intelsat III) es de 1,200 canales telefónicos o cuatro canales de televisión, con una potencia de 20.3 dBw entre los dos transponder. Sin embargo, el gran aumento de tráfico produjo una saturación del sistema, requiriéndose satélites con mayores posibilidades. Para cumplir con estos objetivos, la tendencia fué reducir los anchos de banda manejados por cada transponder para mejorar el ruido de intermodulación, y el uso de antenas que permitieron mayor concentración de energía radiada para mejorar aprovechamiento. En la figura 5.3, referida a un satélite de la serie Intelsat IV, se muestran algunos de los avances logrados en materia de satélites. Algunas de las características de los satélites mencionados, se muestran en la tabla 5.1.

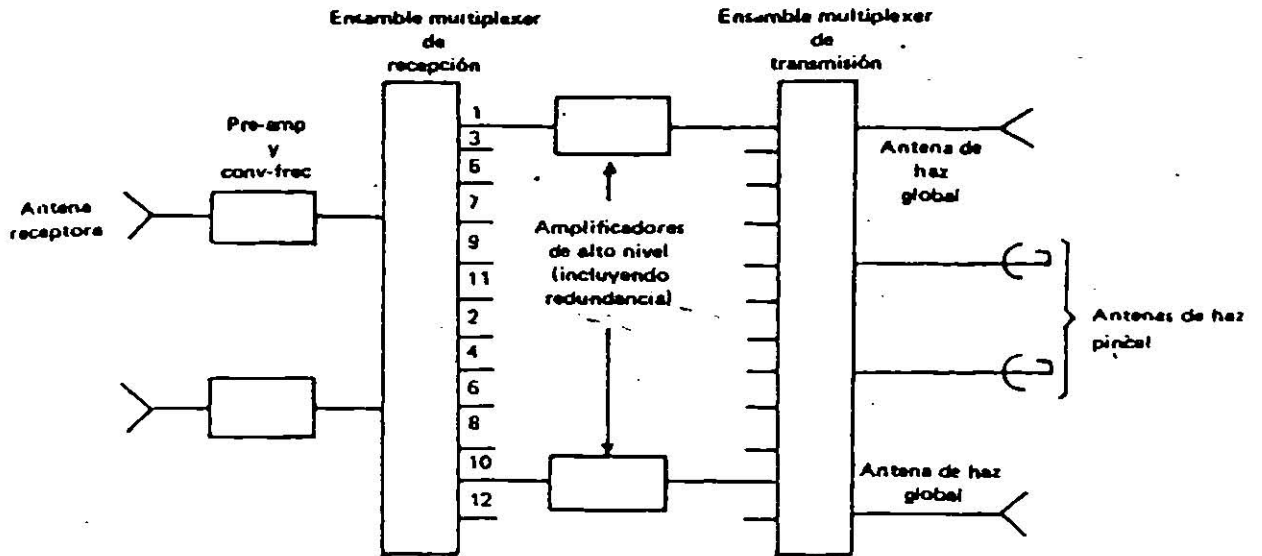


Figura No. 5.3

	G: haz global	
	S: haz pincel	
	IS-IV	IS-III
Núm. de transponder	12	2
Capacidad	G: (900CA o 1TV) x 12	G: (1 200CA o 2TV) x 2
	S: (1 800CA o 1TV) x 8	
Ancho de banda	G: 36 MHz x 12 = 432 MHz	G: 225 MHz x 2 = 450 MHz
	S: 36 MHz x 8 = 288 MHz	
	IS-IV	IS-III
Tipo de antena	G: Corneta cónica tipo reflector	G: 6 GHz
	6 GHz - 2	4 GHz
	4 GHz - 2	uso común --
		Corneta cónica
	S: Tipo parabólica	tipo reflector
	4 GHz - 2	
	120 cm Ø	
Ganancia de antena	G: 6 GHz 16.7 db	G: 6 GHz db
	4 GHz 16.4 db	4 GHz 13.5 db
	S: 4 GHz 28.1 db	
e.i.r.p.	G: 22.0 dbw	G: 22 dbw
	S: 33.7 dbw	(aproximadamente 160 w)

Tabla No. 5.1

El Intelsat V, puede acomodar 13,400 circuitos telefónicos y dos canales de televisión. Los satélites Intelsat V, pueden brindar un servicio de alta capacidad a las regiones del océano pacífico y el Índico, así como al Atlántico. El incremento en capacidad de Intelsat V comparado con el Intelsat IV a, es el resultado del ingenioso método de reuso de frecuencias; materiales ligeros, tal como una fibra de grafito y plástico reforzado para los alimentadores, torres de antena, guías de onda y multiplicadores; y un receptor completamente de estado sólido con circuitos integrados de microondas.

De los cuatro reflectores de antena, dos operan a 11/14 GHz, uno a 6 GHz y uno a 4 GHz. Los reflectores de 11/14 GHz están iluminados por alimentadores de tipo cónico - corrugado con polarización lineal ortogonal a 11 y 14 GHz. Cada uno de los reflectores produce un angosto haz puntual, uno apuntando hacia el oeste y el otro hacia el este. Esos haces son para propósito de alto tráfico entre áreas geográficas relativamente pequeñas.

Los haces separados este y oeste permiten que la misma frecuencia sea utilizada en ambos haces con pequeña o ninguna interferencia, debido a que las áreas de la tierra cubiertas están bastante separadas.

Los reflectores de 4/6 GHz son también iluminados por alimentadores tipo corneta; sin embargo en un sistema - mucho más complejo, debido que deben generar haces perfectamente formados. Las antenas de 4/6 GHz producen cada una haces "hemisféricos" y pequeños haces "zonales" (aunque la zona del haz es considerablemente mayor que la del haz puntual de las antenas de 11/14 GHz). La forma de esos haces es controlada para cubrir las áreas geográficas requeridas.

Los alimentadores consisten de arreglos de 88 cornetas de guía de onda cuadrada, excitadas con la adecuada amplitud y fase para obtener la forma del haz requerido.-- Un multiplexer de diseño avanzado hace posible alimentar todos los canales por un reflector desde un arreglo común en vez de arreglos separados para los canales pares e impares, como en el Intelsat IV y IV a, tanto las frecuencias de 4 GHz (descendente) como la de 6 GHz (ascendente) son polarizadas para conseguir el reuso de frecuencia, el haz hemisférico tiene polarización circular en sentido opuesto al de los haces "zonales". Es decir, en áreas donde esos haces se translapan, la misma frecuencia puede ser usada en ambas. La forma del haz hemisférico puede ser alterada por el comando de tierra para proveer cobertura global de la porción ente de la tierra vista por la antena.

El Intelsat V transporta una matriz de switcheo para interconectar sus antenas y transponders en varias combinaciones. Además del switcheo entre una cobertura global y hemisférica, la matriz puede conectar haces zonales y hemisféricas de transmisión y recepción, así como haces hemisféricos y puntales, o puntales y zonales en varias combinaciones.

VI ACCESO MULTIPLE

6.1. Generalidades

Se le llama acceso múltiple al hecho de que numerosas estaciones terrenas puedan aprovechar al mismo tiempo los circuitos indevidualmente de un satélite común.

El acceso múltiple es un sistema realizado por primera vez para la comunicación por satélite y es una técnica altamente desarrollada. Generalmente hay dos modos de acceso múltiple; uno es el acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) y el otro es el acceso múltiple por división de tiempo (TDMA).

En el FDMA, cada portadora de las estaciones terrenas requiere una asignación particular de su frecuencia, y en TDMA, cada estación terrena puede usar una misma portadora por la división del tiempo.

El FDMA, tiene la desventaja de la generación de intermodulación por multiportadoras en el satélite y por lo tanto, no se puede utilizar completamente la potencia de salida del tubo de ondas progresivas (TWT) del satélite.

La reducción de potencia de salida para disminuir el nivel de intermodulación por multiportadoras al valor deseado, se llama "back off".

Por otro lado, el TDMA es libre de intermodulación por multiportadora, y se puede utilizar completamente la potencia de salida del satélite.

En el TDMA, sin embargo, los equipos de la estación terrena son bastante más complicados por el hecho de que

se tiene que conservar la sincronización del tiempo exactamente.

6.2 FDM/FM/FDMA

Un método para multiplexar varios canales telefónicos es la asignación de cada canal a intervalos de frecuencia de 4 KHz. Este sistema se llama Multiplex por división de frecuencia (FDM). El método práctico se muestra en la figura 6.1

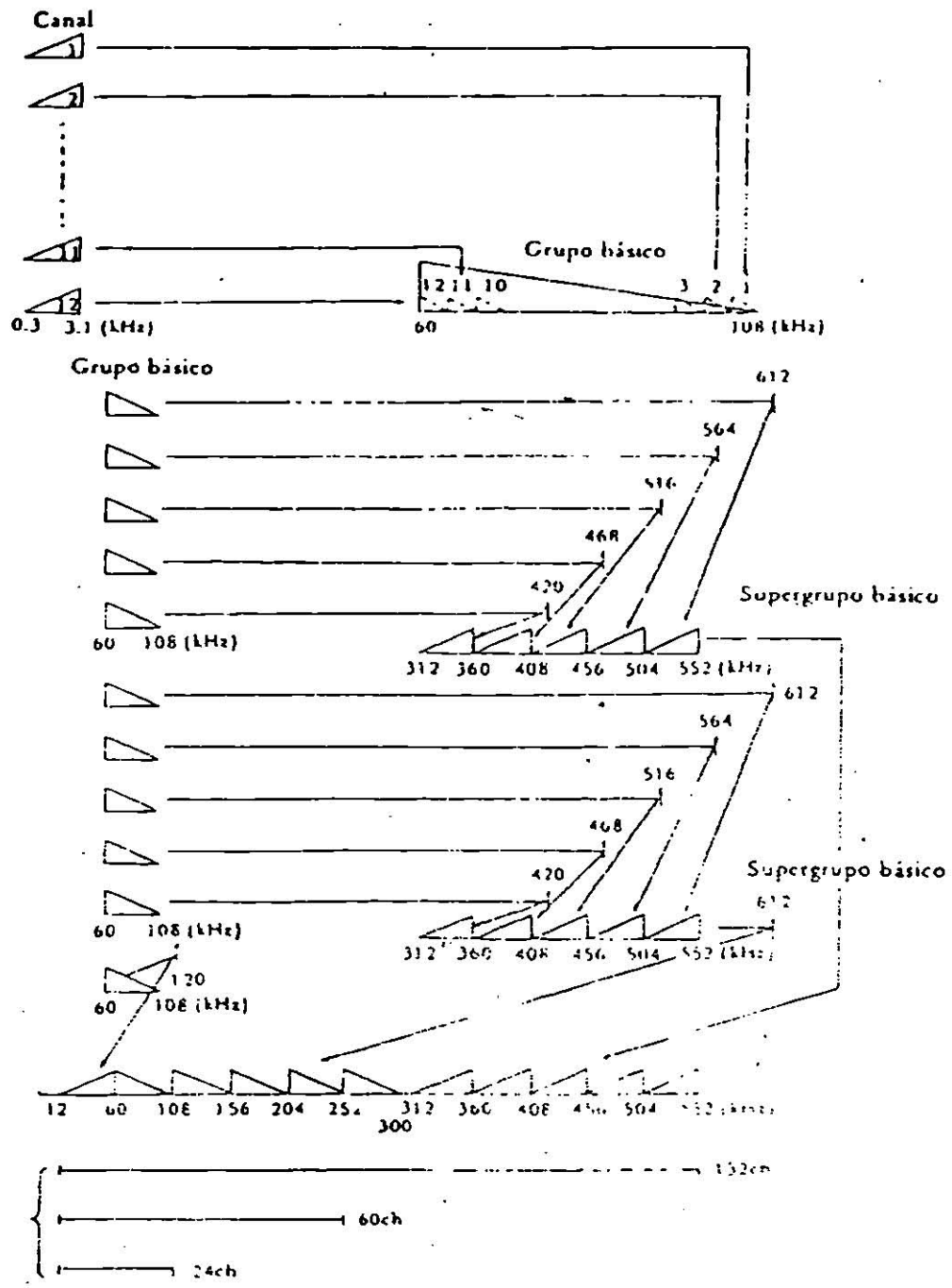
Primero, doce canales telefónicos se arreglan en un grupo básico de 60 KHz hasta 108 KHz, y luego las frecuencias de 5 grupos básicos se convierten para constituir un supergrupo básico de 312 KHz hasta 552 KHz.

La frecuencia de los supergrupos básicos se convierte siguiendo la misma secuencia para finalmente componer la señal de banda base (BB).

La frecuencia portadora de la estación terrena transmisora se modula por esta señal de banda base de FDM. Cada portadora de radiofrecuencia (RF) requiere una asignación particular de frecuencia. Todas las portadoras de RF se amplifican simultáneamente y se transforman en nuevas frecuencias en el satélite.

En las estaciones terrenas receptoras, las portadoras de RF se extraen mediante un filtro antes de demodularse. Este sistema es llamado FDM/FM/FDMA.

En el FDM/FM/FDMA, se emplean portadoras de destinos múltiples para ahorrar el número de portadoras de RF en el sistema de satélite. Por consiguiente cada una de las estaciones terrenas receptoras, tiene que sacar el canal que le corresponde entre las señales de banda



base de la portadora de recepción.

Usando portadoras de destinos múltiple, el número de portadoras de RF se reduce, y consecuentemente se disminuye mucho el nivel de intermodulación por multipor-tadoras.

6.3 PCM/PSK/TDMA

El sistema PCM/TDMA acceso múltiple por división de tiempo es un sistema de portadora sencilla y cada estación terrena puede transmitir una señal de radio de la misma frecuencia a base de la división del tiempo.

Las características sobresalientes del TDMA son las siguientes,

a) Utilización de la potencia total del transponder -- hasta el punto de saturación.

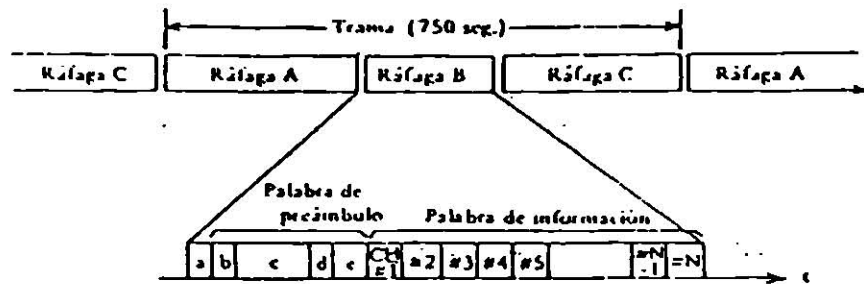
b) Menor reducción de capacidad del transponder por el acceso múltiple en comparación con el sistema FM/FDMA.

c) Facilidad de operación el modo de asignación de demanda.

d) Implemento económico de interpolación de conversación.

e) Reducción de interferencia de otro sistemas de comunicación por satélite u otros sistemas de comunicación doméstica en los que se aprovecha la misma frecuencia.

La composición del formato de ráfagas se muestra en la figura 6.2



a:	Tiempo de guardia	100 n.seg.
b:	Bitio de sincronización	60 bitios
c:	Código de identificación de estación	20 bitios
d:	Canal de datos de orden	4 bitios
e:	Canal de voz de orden	48 bitios
CH:	Canal de PCM	68 bitios

Figura No. 6.2

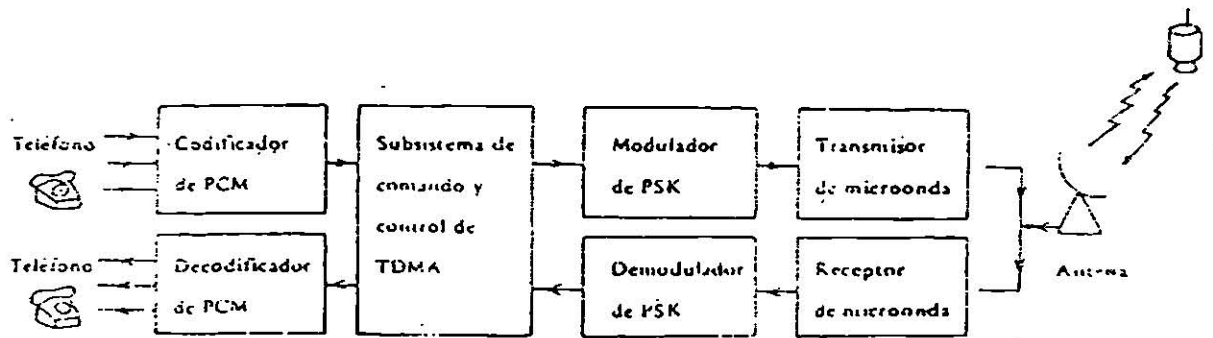


Figura No. 6.3

Las funciones principales del equipo TDMA son la transmisión y recepción de ráfagas de PSK moduladas por código de PCM multiplexado por división de tiempo.

La figura 6.3 muestra el diagrama típico del equipo de PCM/TDMA. Los subsistemas principales son: el codificador, el decodificador, comando, control, y modulador y demodulador PSK.

Las señales de voz de entrada se codifican a las señales no lineales de PCM del multiplex por división de tiempo en el codificador de PCM.

Estas señales de información se almacenan en el comando del TDMA y en subsistema de control y envían al modulador del PSK junto con los bits de prómbulos adicionales.

Las señales de PSK de modo de ráfagas se convierten a una frecuencia de microondas de 6 GHz y se envían de una estación terrena a un transponder de satélite.

Las señales recibidas de 4 GHz desde el satélite por una estación terrena se convierte en señales de PSK de FI y se demodulan en el demodulador del PSK.

En la parte de recepción, todas las ráfagas de estaciones terrenas se almacenan de nuevo.

Las señales demoduladas se envían al comando TDM y al subsistema de control, donde se detecta la señal original de ráfagas, y únicamente la información vocal asignada se transfiere al decodificador de PCM. Las señales de PCM de entrada del múltiplex por división de tiempo se convierten en canal de voz analógico y se envían a aparatos telefónicos.

Las funciones más importantes en el comando TDMA y en -- subsistema de control son la sincronización de ráfagas - y la conmutación de canal para establecer los circuitos telefónicos del satélite en el modo de preasignación o - de asignación de demanda.

Ya que cualquier estación terrena transmite su señal en el modo de ráfagas con la misma frecuencia portadora, de be evitarse estrictamente la superposición de los puntos de ráfagas.

Si no hubiera control de posición de ráfagas, se sobrepondrían las ráfagas dentro de más o menos un segundo.- Para evitarlo, un tiempo de guarda se inserta entre las dos ráfagas, y el circuito de sincronización de ráfagas controla la posición de ráfagas dentro de la precisión - de ese tiempo de guarda.

La tecnología en la actualidad permite un tiempo de guarda de menos de 100 N seg.

6.4 SPADE

En el sistema de Spade (Single channel) per PCM Múltiple Access Demand Assignment Equipment) cada canal se conecta al satélite por medio de una portadora asignada independiente entre la agrupación de las frecuencias divididas. Es una extensión del FDMA con operación típica completamente variable.

la utilización eficiente de los canales de Spade se basa en su modo de asignación de demanda, por lo que el - Spade sería más eficiente en una región en que haya muchas estaciones y cada estación tenga relativamente pocos canales.

Las características del Spade son como sigue :

- a) Un canal sencillo PCM/PSK/FDMA con operación de modo de asignación.
- b) Autoasignación de canales.
- c) Conectividad ilimitada para el sistema de señalización de la telefonía doméstica.
- d) Utilización eficiente de la potencia del transponder del satélite por la emisión de la portadora de voz - activada.

La asignación de frecuencias de canal de Spade se muestra en la figura 6.4.

En la figura 6.4, cada canal es de la onda PCM/PSK del canal sencillo, y CSC (Common Signalling Channel) es un canal de señal común de FDMA que se emplea comúnmente por muchas estaciones terrenas.

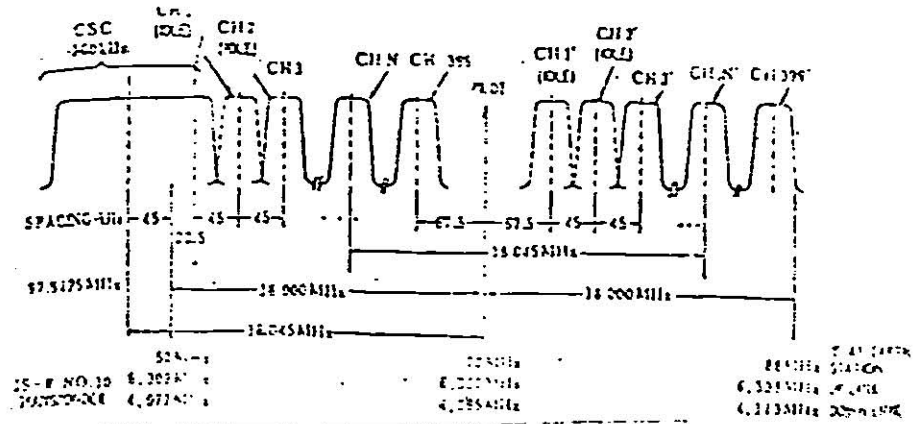


Figura 6.4

7.1 COMPOSICION DEL SISTEMA

La composición de una estación terrena para la comunicación por satélite es como se indica en la figura 7.1 y se puede clasificar a la manera siguiente:

- a) Subsistema de antena de una estación terrena
- b) Subsistema de comunicación de una estación terrena
- c) Subsistema de múltiples
- d) Subsistema de suministro de energía
- e) Otras facilidades asociadas

7.2 SUBSISTEMA DE ANTENA

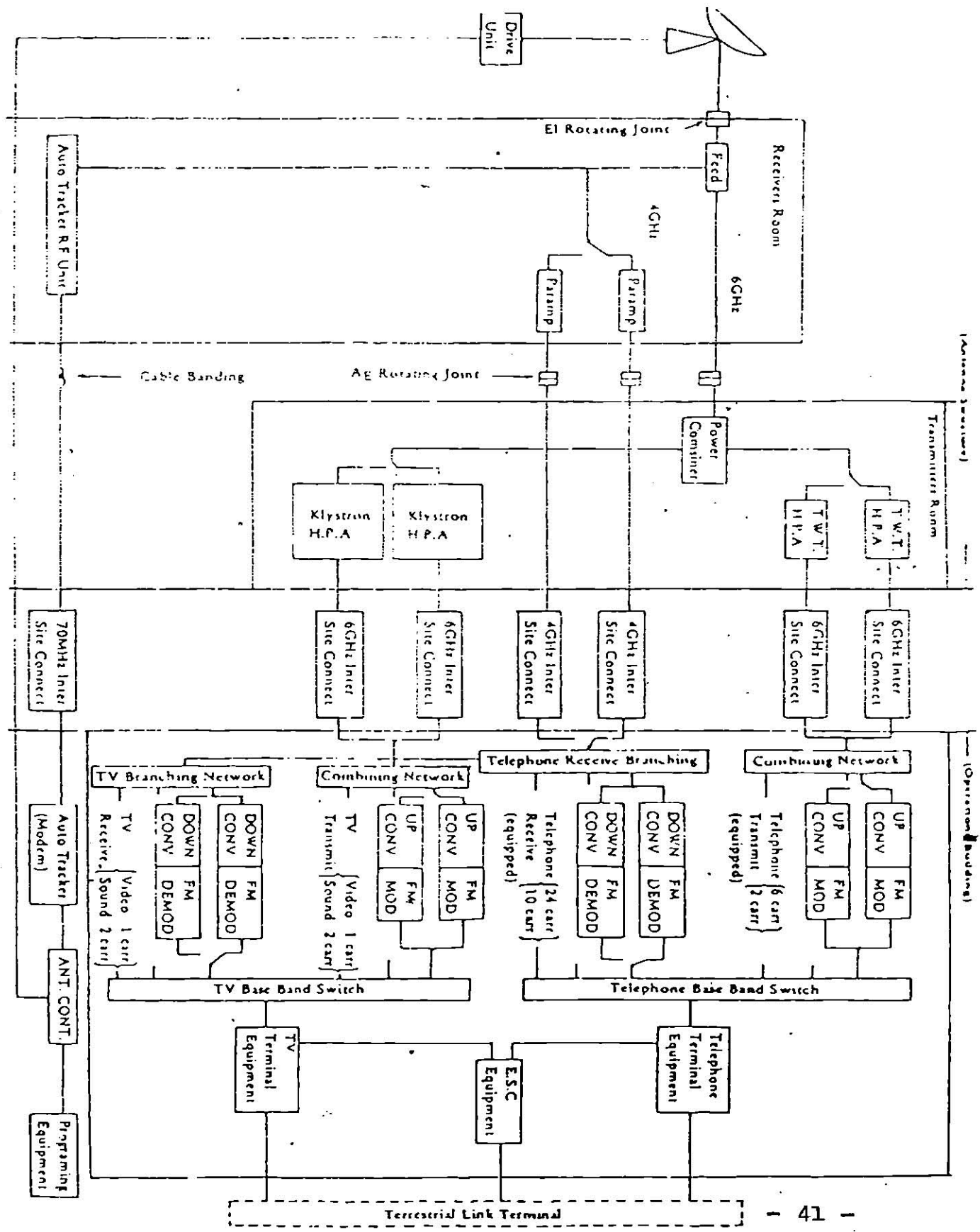
La antena de una estación terrena se usa comúnmente para transmisión y recepción.

La construcción del subsistema de antena cuesta un tercio del costo total de la construcción de una estación terrena. Por lo tanto, es necesario que la antena sea diseñada para satisfacer los requisitos eléctricos y mecánicos para la banda de frecuencia de transmisión y de recepción. Para este subsistema, la dirección de la antena debe orientarse precisamente al satélite. Las características requeridas son las siguientes:

- a) Alta ganancia

La alta ganancia incluyendo el circuito de línea de alimentación se indica por la ecuación siguiente:

$$G = (D)^2 \cdot n \cdot \frac{1}{L} \cdot F$$



donde:

- G: Ganancia de antena
- D: Diámetro de antena
- λ: Longitud de onda
- L_F: Pérdida de circuito de línea de alimentación
- n: Eficiencia

Actualmente en el sistema de comunicaciones por satélite la ganancia de antena contra temperatura de ruido debe satisfacer:

$$G/T = 40.7 \text{ dB/k}$$

donde, G/T indica el valor de mérito de antena.

Por eso, es necesario mejorar la característica de ganancia para obtener la G/T requerida. Con este objeto, el diámetro de antena generalmente se considera sea de 25 m. Es deseable mantener el diámetro mencionado (D) - lo más pequeño posible con el propósito de aliviar la carga de viento sobre la antena de reducir el costo. -- Por lo tanto, es necesario que la eficiencia sea la más alta posible, (en ciertos casos, más de 75%).

b) Temperatura de bajo ruido.

La temperatura de bajo ruido total de la estación terrena se refiere a la entrada del receptor, y se indica por la ecuación siguiente:

$$T = T_A + T_r$$

donde:

T_A: Temperatura de ruido equivalente de antena.

T_r: Temperatura de ruido equivalente de receptor

En la ecuación anterior, vemos que es necesario reducir T_A y T_r para aumentar G/T .

c) Ancho de banda amplio

Se requieren buenas características de la ganancia de - antena, acoplamiento de impedancia, pérdidas de cirui-- to, polarización, etc., sobre un ancho de banda de - - 500 MHz para transmisión y recepción.

d) Posibilidad de rotación

Generalmente se desea que el haz de antena pueda girar-- se, en todas las direcciones sobre el cielo hasta que - sea posible.

La antena que puede seguir satélites con órbitas de - - cualquier clase se llama antena totalmente orientable.- Al contrario, la antena que puede seguir solamente saté-- lites con órbitas limitadas se llama antena de orienta-- ción limitada.

e) Alta precisión mecánica

Para realizar la directividad deseada, es necesario que los reflectores de antena tengan alta precisión en la - construcción de su superficie y necesita una rigidez me-- cánica en la estructura de antena para reducir al grado mínimo el desplazamiento y al deformación del sistema - de radiación de antena. Además se requiere que el meca-- nismo de servo que impulsa el sistema se construya en - una forma especial para que se reduzca la influencia de juego entre engranajes.

Al mismo tiempo, siempre es necesario que el valor de - la precisión del mecanismo de dirección se mantenga den

tro de $1/10$ del ancho del haz de antena.

7.3 CIRCUITO DE ALIMENTACION

En el sistema de comunicaciones por satélite, la bifurcación de las señales de transmisión de recepción se efectúa por el uso de diferentes frecuencias y un cambio de la polaridad de las dos señales.

El circuito de la línea de alimentación se usa para la bifurcación de señales de transmisión y de recepción - por cambio de la polaridad de una de ellas. Por ejemplo, la figura 7.2 muestra la configuración del circuito de la línea de alimentación empleado en el método - del seguimiento del modo más alto.

El polarizador se usa para convertir una onda linealmente polarizada de una dirección dada en una onda circularmente polarizada a la izquierda para señales de - - transmisión; y para convertir una onda circularmente polarizada a la derecha en una onda linealmente polarizada para señales de recepción.

7.4 SUBSISTEMA DE CONTROL DE ACCIONAMIENTO

Se deben considerar los detalles siguientes cuando se diseñan subsistemas de servomecanismo de accionamiento de antenas.

- a) Precisión en el accionamiento
- b) Velocidad de accionamiento
- c) Torsión necesaria para el subsistema de accionamiento, considerando la presión de viento.
- d) Momento de inercia de estructura
- e) Rigidez mecánica de la estructura considerando la - presión de viento.

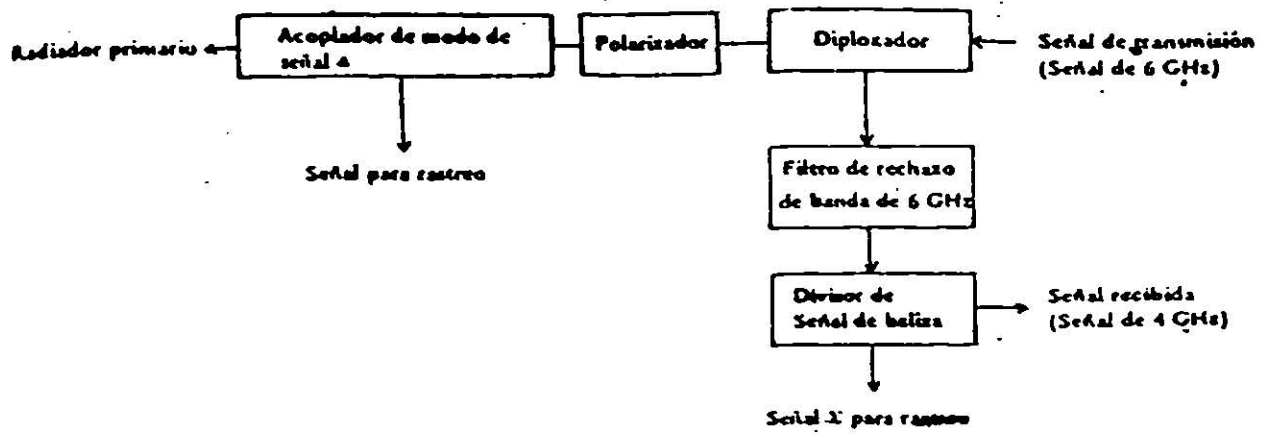


Figura 7.2

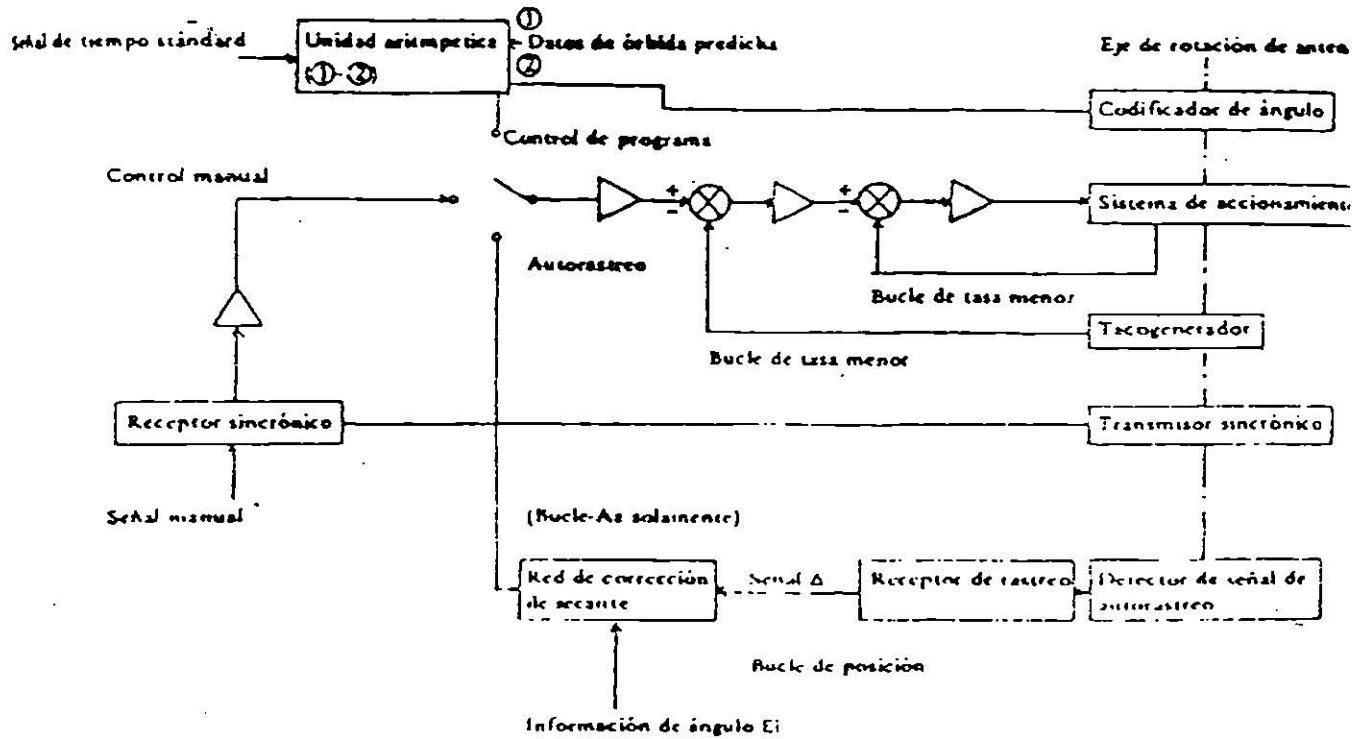


Figura 7.3

- f) Frecuencia resonante mecánica del rotor bloqueado
- g) Método de generación de la torsión de accionamiento de estructura de antena.

Los métodos de control de antena pueden clasificarse en tres categorías, desde el punto de vista de tipos de generación de señales de control: "Auto track mode" (automático), "Program control mode" (control por programa) y "Manual mode" (manual).

La figura 7.3 muestra un ejemplo del sistema de servocontrol incluyendo estos modos.

El modo "Auto track" es el modo en que la dirección del haz de antena se controla al tomar la onda de orientación (beacon) que se transmite de satélite de comunicación mediante la detección de la diferencia de señal que corresponde a la diferencia entre la dirección del orientador principal (boresight) de antena y la dirección del satélite.

El modo de control por programa significa que la dirección de haz de antena se controla para reducir a cero la diferencia entre el ángulo obtenido con el cálculo de la órbita y el ángulo ordenado.

Hay varios métodos para realizar el modo de control manual, mostrando en la figura 7.4, en que el haz de antena controla por la diferencia entre el ángulo real de antena y el ángulo sincronizado conectado a la rueda manual.

7.5 AMPLIFICADOR DE ALTA POTENCIA

Un equipo importante en cada estación terrena es el transmisor que debe emitir la alta potencia (con baja

distorsión y bajo ruido) a un satélite para vencer una pérdida de propagación considerable (aproximadamente 200 dB para el satélite geoestacionario) entre estación terrena y satélite que es esencial en comunicación por satélite. Al mismo tiempo, deben satisfacerse requisitos económicos y de seguridad del sistema de comunicación comercial.

El transmisor tiene la función de amplificar la potencia de todas las portadoras asignadas de RF que vienen de un convertidor ascendente hasta el nivel requerido, con baja distorsión y baja pérdida al combinarlas.

Después de amplificarlas, las manda al sistema de antena. El diseño de la configuración del transmisor y la selección de tubo son muy importantes.

En el sistema de comunicación por satélite INTELSAR, el ancho de banda de una portadora de RF en el enlace ascendente, o sea el ancho de banda de una frecuencia, para transmisión de la estación terrena se asigna dentro de 500 MHz entre 5.925 MHz y 6.425 MHz en la banda de 6 GHz

Cada estación terrena tiene una o más portadoras telefónicas asignadas, portadoras de video y sonido, y la capacidad de canal.

Por eso, el transmisor debe transmitir las portadoras en cualquier parte en la banda transmisora dentro de 500 MHz entre 5.925 MHz.

Las portadoras se amplifican en común por medio de un transmisor con un sólo tubo o por un transmisor de tubos separados que amplifica individualmente cada portadora como se muestra en la figura 7.5 y 7.6

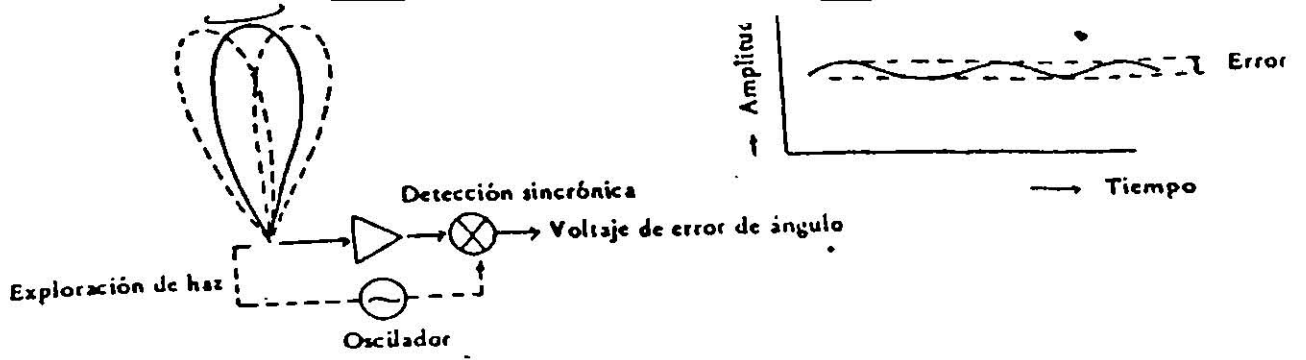


Figura 7.4

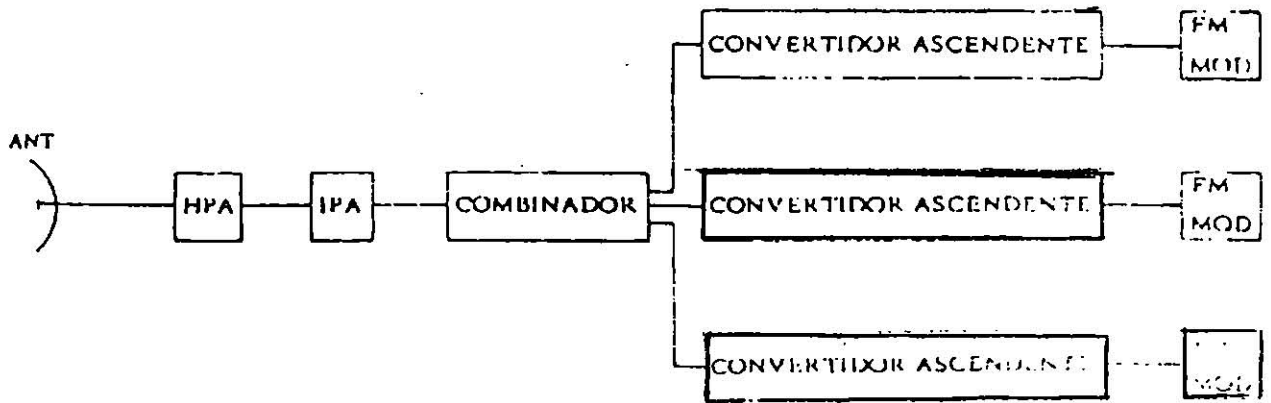


Figura 7.5

Cada forma tiene ventajas y desventajas como se indica en la tabla 7.1

Actualmente el sistema de transmisor puede funcionar -- con cualquiera de las disposiciones siguientes:

- a) TWT (Tubo de ondas progresivas) que cubre todo el -- rango de frecuencia.
- b) dos o más amplificadores para combinación de frecuen- -- cias por filtro para cubrir todo el rango de frecuen- -- cia.
- c) dos o más amplificadores dependiendo del número y es- -- pacio de frecuencias de las portadoras transmitidas.

Las configuraciones de estos transmisores como ejem- -- plos típicos, se muestran en la fig. 7.7, 7.8, 7.9 y -- 7.10.

7.6 EJEMPLO DE TRANSMISOR

La figura 7.11 muestra el diagrama en bloque del trans- -- misor de 6.3 kw de tipo de alta potencia enfriado con -- agua, que tiene una potencia saturada a la salida de -- 8 kw y un ancho de banda de 500 MHz en la banda de fre- -- cuencia de 6 GHz. El transmisor consiste del IPA, HPA, AVR, MR, HE y equipos auxiliares tales como circuito de APC, termointercambiador, carga ficticia, conmutador de guía de onda, etc.

Este transmisor funciona como un amplificador común de -- todas las ondas de transmisión asignadas. Consecuente- -- mente, en operación normal de TWT se opera por debajo -- de su nivel de potencia de saturación a fin de evitar -- problemas de interferencia causada por productos de in- -- termodulación que se presentan como resultado de no li- -- nealidad y problemas de la conversión de AM-PM.

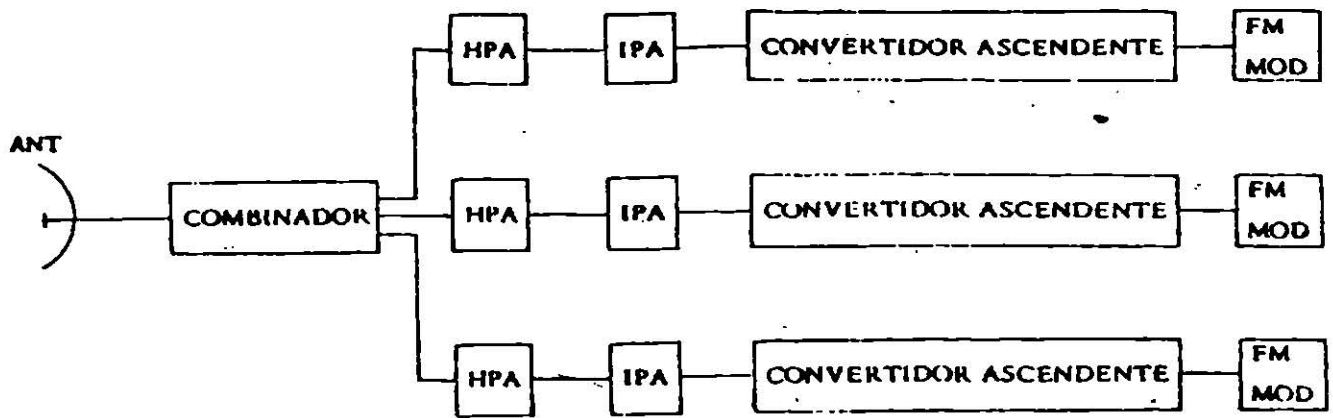


Figura 7.6

	Ventajas	Desventajas
Transmisor de Tubo Sencillo	<ol style="list-style-type: none"> 1) simplicidad 2) flexibilidad en asignación de frecuencia de portadora 3) redundancia de uno por uno 4) costo bajo 	<ol style="list-style-type: none"> 1) salida y consumo de energía deberán ser de mayor requisito 2) suministro grande de energía de alto voltaje 3) enfriamiento por agua 4) problema de intermodulación 5) ineficiencia para estaciones pequeñas
Transmisor de Tubo Separado	<ol style="list-style-type: none"> 1) tubo de potencia baja 2) flexibilidad en tamaño de estación 3) eficiencia de operación con portadora sencilla 4) menor problema de intermodulación 5) enfriamiento por aire 6) menor inversión para reserva 	<ol style="list-style-type: none"> 1) restricciones sobre asignación de frecuencia de portadora con transponders de banda ancha 2) circuito complejo de multiplexador (combinador de fuerza) y de conmutación 3) costo depende del número de transmisores

Tabla 7.1

Esto significa que el nivel de potencia de saturación - del tubo debe ser más alto que el nivel de potencia real de operación para cada portadora. INTELSAT recomienda que una estación terrena sea diseñada para satisfacer una confiabilidad de mayor de 99.8%

Para obtener este valor, cada estación terrena debe - - configurarse considerando la confiabilidad del equipo - individual y la confiabilidad de todos los subsistemas juzgando de la experiencia estadística, el transmisor - afecta mucho la confiabilidad, por eso, es necesario -- proveer de rutas completa o parcialmente redundantes en el sistema de transmisor para conservar una confiabilidad más alta.

Los factores que tienen influencias en la confiabilidad de sistemas son interrupciones que resultan de la falla mantenimiento o pruebas de equipos.

La selección del tubo de alta potencia de la etapa final es la parte más importante para diseñar el sistema de transmisión, porque afecta el costo, confiabilidad - en operación y mantenimiento del transmisor.

La figura 7.12 muestra un ejemplo del sistema de transmisor redundante.

En realidad casi todas las estaciones terrenas operan - con Klystron de cavidad múltiple y TWT como tubos en la amplificación de alta potencia de la etapa final. En caso de la operación con una o dos portadoras de banda estrecha, el Klystron es casi equivalente al TWT en la característica de transmisión, pero, con respecto a la ganancia, costo de operación y confiabilidad, el "Klystron" es mejor.

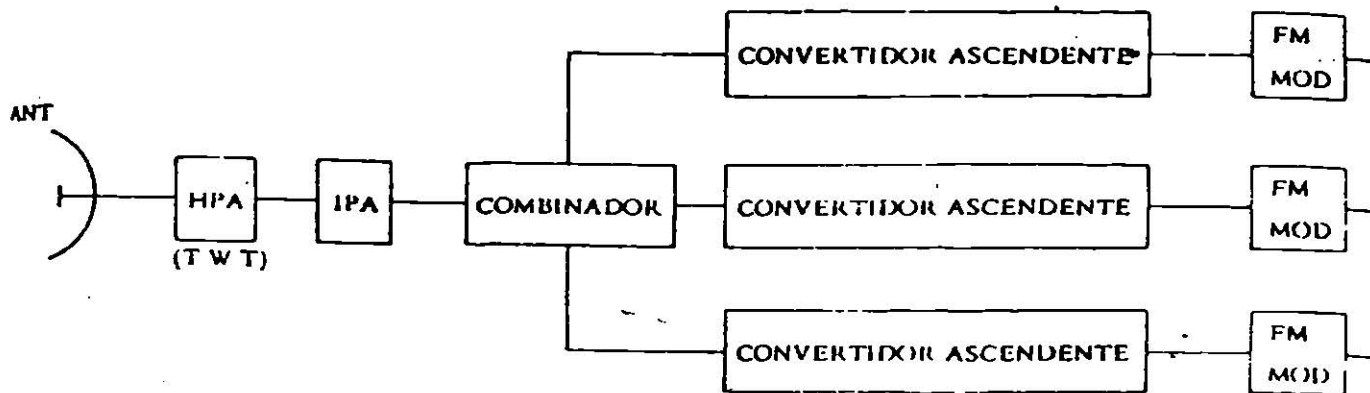


Figura 7.7

FILTRO DE CIRCULADOR (BPF)

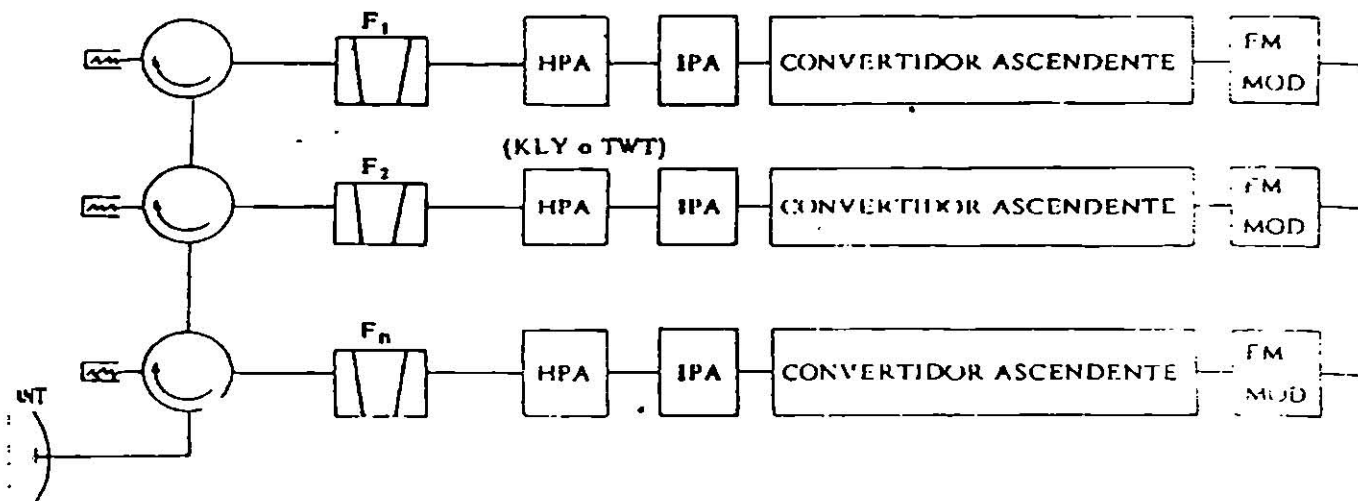


Figura 7.8

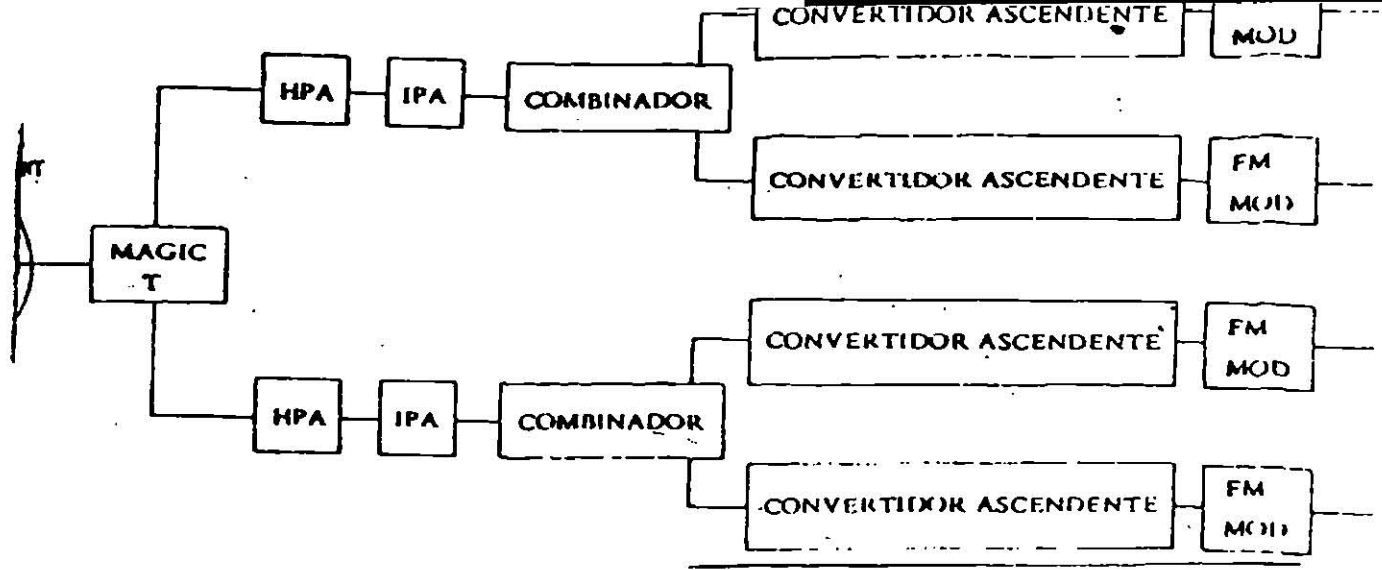


Figura 7.9

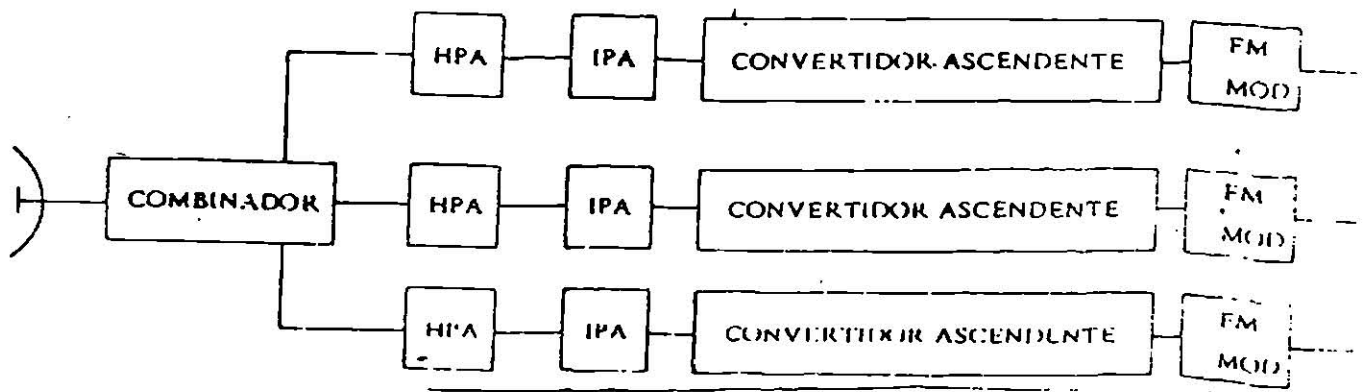


Figura 7.10

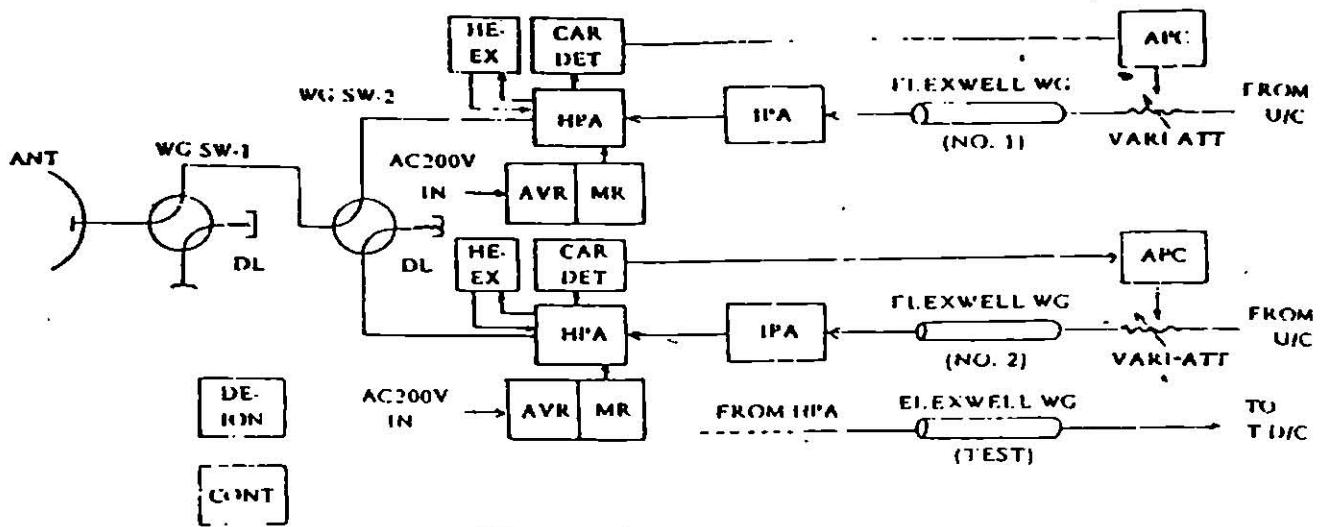


Figura 7.11

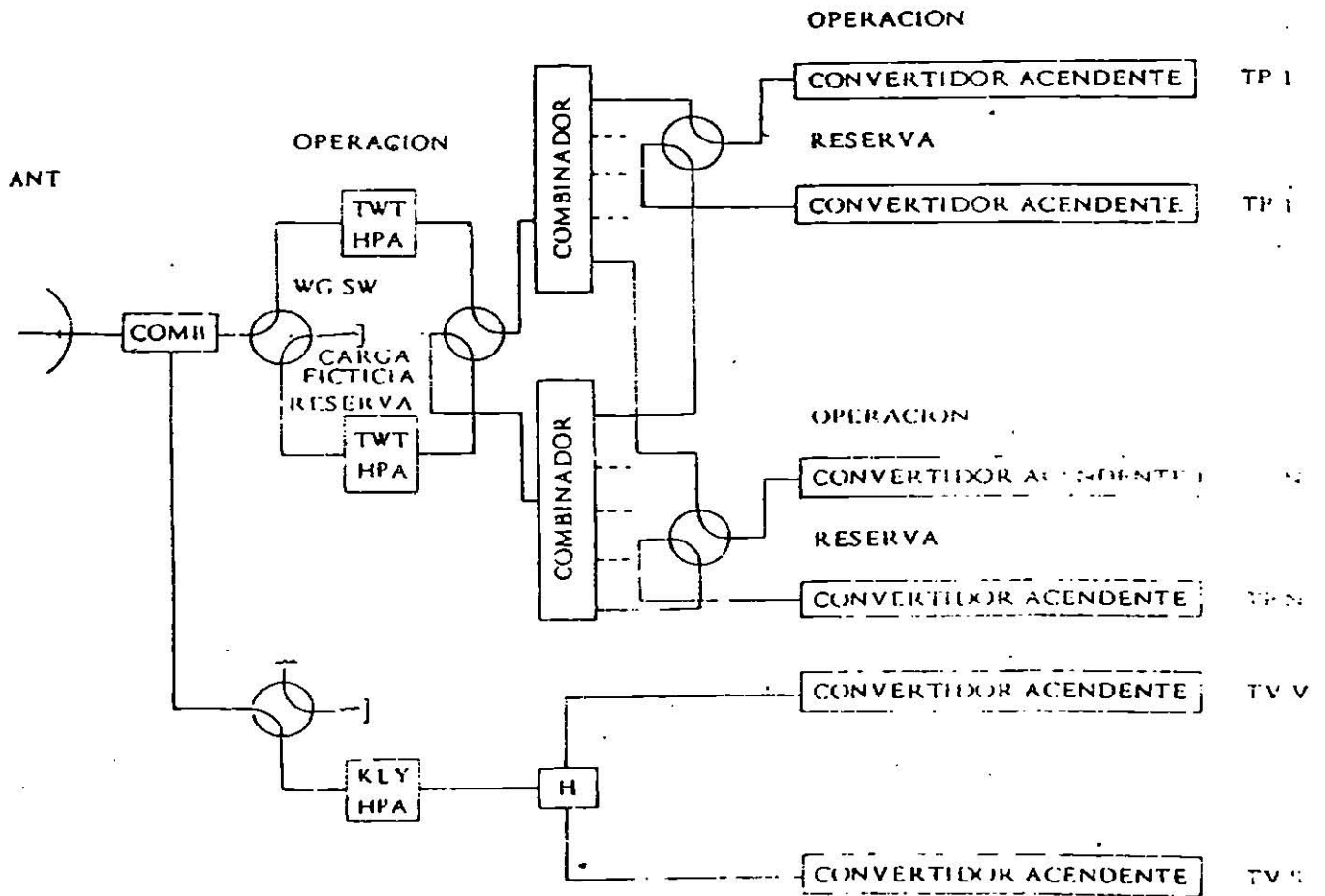


Figura 7.12

Items	Transmisor de TWT	Transmisor de klystron
1) Ancho de banda de frecuencia	500 MHz o mayor	35 MHz - 50 MHz
2) Ganancia/Respuesta de Frecuencia	4 dB - 6 dB/500 MHz	1 dB - 2 dB/35 - 50 MHz
3) Ganancia	36 dB - 38 dB	38 dB - 45 dB
4) Eficiencia de fuerza	15% - 20%	30% - 40%
5) Consumo de fuerza	Mucho	Comparativamente poco (1/2 de TWT)
6) Circuito de Alimentación de Fuerza	Complejo y necesita el voltaje regulado de electrodos de tubo	Comparativamente sencillo
7) Enfriamiento de Tubo	Agua y/o aire	Agua y/o aire
8) Circuito de Protección de Tubo	Complejo	Sencillo
9) Confiabilidad	Ligeramente inferior	Alta confiabilidad
10) Mantenimiento	Ligeramente fastidioso	Fácil
11) Factor de espacio	Necesita espacio amplio (2 a 4 bastidores)	Necesita espacio relativamente estrecho (1 - 3 bastidores)
12) Vida de tubo	Aproximadamente 8.000 - 10.000 horas	Aproximadamente 10.000 a 15.000 horas
13) Precio	Costoso	Comparativamente económico (1/3 de Transmisor de TWT)
14) Adaptabilidad de uso	Amplificación de portadoras múltiples (Necesario para operación de Back-Off considerando productos de intermodulación)	Amplificación de una o dos portadoras

* Banda de frecuencia es ajustable sobre 5.925 MHz a 6.425 MHz.

Al contrario, para señales de FM de banda amplia y/o en caso de operación con varias portadoras, el TWT es eminentemente apropiado.

La tabla 7.2 muestra las ventajas de los transmisores - con TWT y Klystron respectivamente.

7.7 AMPLIFICADOR DE BAJO RUIDO

Debido a la limitación de la potencia de transmisión --- del satélite, limitación de un diámetro de antena y otros motivos económicos, debe seleccionarse cuidadosamente - un amplificador de bajo ruido de una estación para comunicaciones por satélite.

Como receptor especial, hay amplificador paramétrico en enfriado (inclusive amplificador paramétrico no enfriado) MASER, amplificador de diodo de túnel (TDA), amplifica-- dor de transistor de bajo ruido (LN-TR) y amplificador - de tubo TWT de bajo ruido. Las características obligato-- rias de una estación terrena estándar con INTELSAT IV están especificadas en los documentos de ICSC/T-45-13E.

Para un subsistema de recepción, relación G/T debe ser - igual o mayor de 40,7 dB. Hay dos factores importantes - para satisfacer la ecuación de: $G/T = 40,7 \text{ dB/K}$

- a) La ganancia de antena debe ser alta
- b) La temperatura de ruido de todo el sistema debe ser baja.

7.8 CONFIGURACION DE RECEPTOR

La figura 7.13 muestra varios subsistemas de recepción.

1. Transmisión por microondas

(En el caso de que el edificio principal esté separado del pedestal de antena).

Hay dos métodos:

- a) Transmisión de propagación especial
- b) Transmisión por guía de onda

La ventaja de esta transmisión consiste en la flexibilidad de cambiar el número de destino en un edificio - - principal.

2. Transmisión de IF

Desde el punto de vista del ahorro de gastos, este tipo es comparativamente eficiente como cadena de transmisión.

- 3. Todas las facilidades se instalan en el edificio de antena.

Este modelo es el más compacto, pero en la mayoría de los casos, tiene una dificultad arquitectónica para sostener la estructura pesada de antena.

Las facilidades para monitoreo y control de un receptor común con banda amplia consisten en generador y un detector de piloto de RF.

Las señales de piloto del generador para el receptor, se insierten en el amplificador a través del acoplador direccional y luego se detectan en el detector de piloto.

En caso de un cambio anormal de nivel de piloto, el amplificador de recepción se conmuta automáticamente al amplificador de reserva.

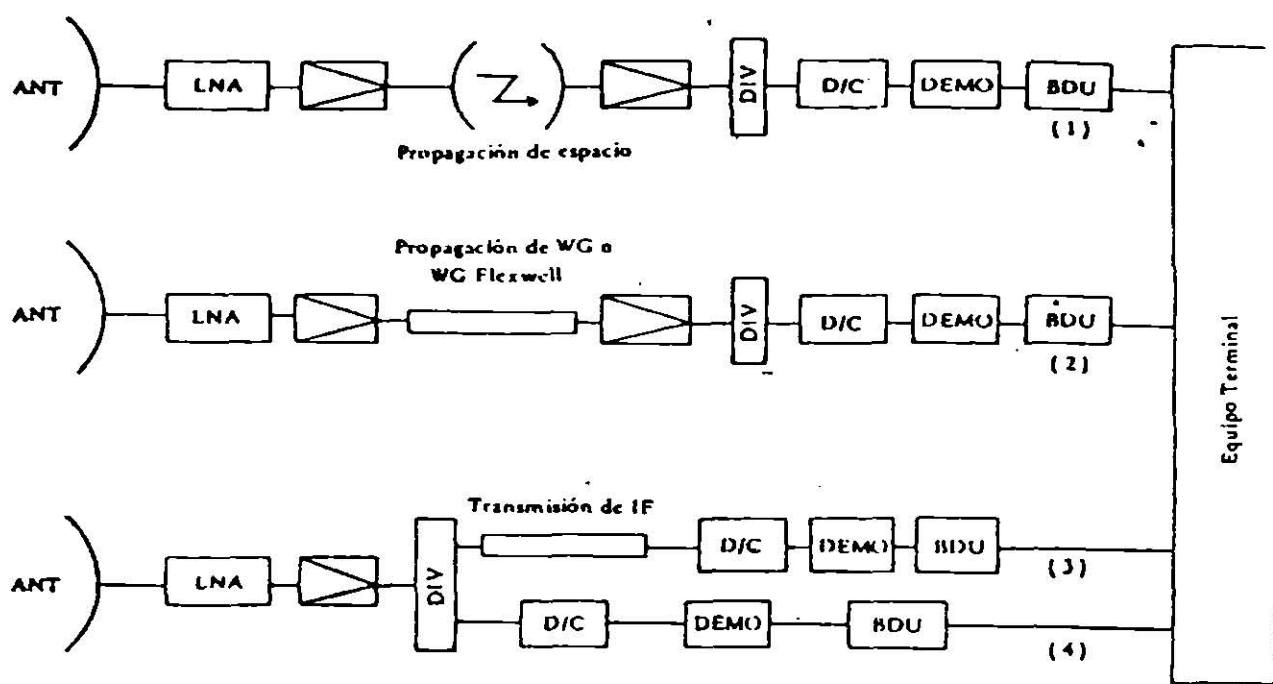


Figura 7.3

VIII NORMAS

Como una consecuencia de los requisitos impuestos por la ecuación. El ICSC ha definido parámetros obligatorios con valores mínimos que deberán satisfacer una estación estándar.

8.1 RELACION GANANCIA A TEMPERATURA DE RUIDO DEL SISTEMA DE ANTENA.

$$G/T = 40.7 + 20 \log f/4$$

a 5° de elevación, bajo condiciones de cielo claro.

Donde:

G, ganancia de recepción de la antena

$$57 + 20 \log f/4$$

T, temperatura de ruido del sistema de recepción referido a la entrada de un amplificador de bajo ruido, expresado en db, relativos a 1° K.

F, Frecuencia de recepción den GHz.

8.2 ANCHOS DE BANDA DE RF ALIMENTADOS AL SISTEMA.

Recepción	3.7 a	4.2	GHz
Transmisión	5.925a	6.425	GHz

8.3 POTENCIA EQUIVALENTE ISOTROPICAMENTE RADIADA (EIRP) PARA PORTADORAS DE FM.

Capacidad de la portadora EIRP (dbw) requerida para un ángulo de elevación = 10°

Núm. de canales	Haz global	Haz pincel
24	74.7	- - -
60	77.8	81.4
96	79.5	- - -
132	80.6	83.9
192	- - -	84.7
252	82.8	85.4
432	85.1	88.4
612	- - -	90.1
792	- - -	91.5
972	90.1	- - -
1872	- - -	98.6
TV	88.0	- - -

Para una estación terrena que tenga otro ángulo de elevación, el siguiente factor de corrección deberá ser introducido $-0.06 (\theta - 10)$ db, donde θ es el ángulo de elevación en grados (entre 5 y 90). Se tolera además un margen de ± 0.5 db de variación.

8.4 EMISION DE RF FUERA DE BANDA

La EIRP fuera de la banda del satélite, causada por una estación terrena como consecuencia de tonos espurios, bandas de ruido u otras señales indeseables, pero incluyendo los productos de intermodulación de multiporadoras, no deberá exceder 4 dbw en cualquier banda de 4KHz dentro del rango de frecuencias de 5 925 a 6 425 MHz.

Respecto a los productos de intermodulación, resultado

dentro del rango de frecuencias de 5 925 - 6 425 MHz, donde es el ángulo de elevación en la antena de la estación terrena.

8.5 FRECUENCIAS DE TOLERANCIA PARA PORTADORAS DE FM

+ 150 KHz, para todas las portadoras de telefonía, excepto para las portadoras de haz global y haz pincel de 2.5 y 5.0 MHz, las cuales deberán tener una tolerancia de + 80 KHz. La tolerancia para las portadoras de video deberá ser + 250 KHz.

La frecuencia de tolerancia de retraslación debida al satélite se supondrá no peor a \pm 25 KHz.

8.6 ASIGNACION DE FRECUENCIA EN LAS BANDAS BASES DE TELEFONIA

Las frecuencias abajo de 12 KHz son reservadas para los canales de servicio de ingeniería y entradas de energía dispersa.

KHz. La tolerancia para las portadoras de video deberá ser \pm 250 KHz.

La frecuencia de tolerancia de retraslación debida al satélite se supondrá no peor a \pm 25 KHz.

6. Asignación de frecuencia en las bandas bases de telefonía

<i>Núm. de canales</i>	<i>Composición de la banda base</i>	<i>Banda de frecuencia (KHz)</i>
24	Grupo A (D) + Grupo 5 SG1 (I)	12-108
60	Grupo A (D) + Grupo 5-2SG1 (I)	12-252
96	Grupo A (D) + SG1 (I) + Grupos 1-2 SG2 (D)	12-408
132	Grupo A (D) + SG1 (I) + SG2 (D)	12-552
192	Grupo A (D) + SG1 (I) + SG2 (D) + SG3 (I)	12-804
262	Grupo A (D) + SG1 (I) + SG2 (D) + SG3 (I) + SG4 (I)	12-1 052
432	Grupo A (D) + SG1 (I) + SG2 (D) + SG3 (I) + ... + SG7 (I)	12-1 796
612	Grupo A (D) + SG1 (I) + SG2 (D) + SG3 (I) + ... + SG10 (I)	12-2 540
792	Grupo A (D) + SG1 (I) + SG2 (D) + SG3 (I) + ... + SG13 (I)	12-3 284
972	Grupo A (D) + SG1 (I) + SG2 (D) + SG3 (I) + ... + SG16 (I)	12-4 028
1 872	Grupo A (D) + SG1 (I) + SG2 (D) + SG3 (I) + ... + SG31 (I)	12-8 120

Nota: (D) significa *directo*
(I) significa *inverso*

8.7 DISPERSION DE LA ENERGIA DE RF

Se insertará una frecuencia baja, de forma de onda - - - triangular simétrica, dentro de la banda de base para - - dispersión de la energía de RF, siendo esta frecuencia designada por el Director de INTELSAT y será en la banda de 20 Hz a 150 Hz, con una tolerancia de ± 1.0 Hz.

La amplitud de la forma de onda de dispersión debería - ser despreciable bajo condiciones de carga total; y para otras cargas deberá ser ajustada continuamente o en pasos.

8.8 PREENFASIS Y DEENFASIS

Deberá estar equipada con preénfasis y deénfasis, de acuerdo a la recomendación CCIR número 275-1, con las frecuencias máximas de banda base indicadas en la tabla.

8.9 ECUALIZACION DEL RETARDO DE GRUPO

La estación terrena deberá estar habilitada para efectuar la ecualización de retardo de grupo siguiente:

Transmisión

a) Para compensar el retardo de grupo residual ocasionado por el transponder del satélite con rangos máximos de: -

Componente lineal ± 3.0 nsg/MHz. Componente parabólica - 0.1 nsg/MHz (ésta ecualización no será necesaria en portadores de 5. o 10 MHz de ancho de banda).

b) Para el retardo de grupo producido por la estación -
terrena transmisora, incluyendo los modulares, equi-
pos de F. I., alimentadores y líneas de transmisión.
Estos deberán ser ecualizados para los límites dados
a continuación :

Ancho de banda (MHz)

Ancho de banda ecualizada (MHz)

Retardo de grupo lineal (nsg/MHz)

Retardo de grupo parabólico (nsg/MHz)

Componente de rizo (pico a pico) nsg

8.10 LA RESPUESTA DE GANANCIA VS FRECUENCIA

En el equipo de transmisión, incluyendo

Ancho de banda (MHz)

Ancho de banda ocupado

por la señal de RF (MHz)

Variación de amplitud

(pico a pico máxima sobre el ancho de banda ocupado por
la señal de RF) (db)

Máxima pendiente sobre la tercera parte del ancho de ban-
da de RF ocupada (db/MHz)

8.11 MODULACION DE AMPLITUD RESIDUAL

El valor RMS de modulación de amplitud residual en cual-
quier frecuencia arriba de 4KHz no deberá exceder de -
-40 db referido a el nivel de portadora de RF sin señal -
de modulación a la entrada del modular de RF.

8.12 MODULACION NO LINEAL

Esta debe ser menor que 1.5% (pico) dentro de la desvia-
ción de frecuencia pico a pico de la carga multicanal

8.13 DEBERA CUMPLIR CON LOS PARAMETROS DE TRANSMISION EN LAS TABLAS SIGUIENTES

PARAMETROS DE TRANSMISION INTELSAT IV HAZ PINCEL

Capacidad de portadora	n	Núm. de canales	60	132	192	252	432	612	792	1 872***
Frecuencia máxima de banda base	fm	KHz	262	552	804	1 052	1 796	2 540	3 284	8 120
Ancho de banda distribuido en el satélite	ba	MHz	2.5	5.0	7.5	10.0	15.0	20.0	25.0	36.0
Ancho de banda ocupado	bo	MHz	2.25	4.4	6.4	8.5	13.0	17.8	22.4	36.0
Tono de prueba de desviación (RMS) para odBMO	fr	KHz	136	223	297	368	401	454	499	419
Desviación (RMS) multicanal	fmc	KHz	276	529	758	1 009	1 479	1 996	2 494	3 181
Relación portadora/temperatura de ruido en el punto de operación (8 000 ± 200 PWP desde las fuentes de RF)	C/T	dbw/°K	-144.0	-141.4	-140.6	-139.9	-136.2	-134.2	-132.8	-123.5
Relación portadora/ruido en el ancho de banda ocupado	C/R	dbw/°K	21.1	20.7	19.9	19.4	21.3	21.9	22.3	29.5
Relación de potencia de portadora no modulada a máxima densidad de potencia de portadora bajo condiciones de carga total		db/4 KHz	22.4	25.2	26.8	28.0	27.6	28.9*	30.0*	28.0**

PARAMETROS DE TRANSMISION INTELSAT IV HAZ GLOBAL

Capacidad de portadora	n	Núm. de canales	24	60	96	132	252	432	972
Frecuencia máxima de banda base	fm	KHz	108	262	408	552	1 052	1 796	4 028
Ancho de banda distribuido en el satélite	ba	MHz	2.6	5.0	7.5	10.0	15.0	25.0	36.0
Ancho de banda ocupado	bo	MHz	2.0	4.0	5.9	7.5	12.4	20.7	36.0
Tono de prueba de desviación (RMS) para odBMO	fr	KHz	164	270	360	430	577	729	802
Desviación (RMS) multicanal	fmc	KHz	276	546	799	1 020	1 627	2 688	4 417
Relación portadora/temperatura de ruido en el punto de operación (8 000 ± 200 PWP desde las fuentes de RF)	C/T	dbw/°K	-153.0	-149.9	-148.2	-147.1	-144.1	-141.4	-135.2
Relación portadora/ruido en el ancho de banda ocupado	C/R	dbw/°K	12.7	12.7	12.7	12.7	13.6	14.1	17.8
Relación de potencia de portadora no modulada a máxima densidad de potencia de portadora bajo condiciones de máxima carga		db/4 KHz	22.3	26.3	27.0	28.0	30.0	32.2	34.5

XI SISTEMAS DOMESTICOS

A partir de 1981, las estaciones receptoras de satélites dejaron de ser muy costosas y se han popularizado a tal punto que muchas personas en todo el mundo ya cuentan con sus propias receptoras particulares y reciben en forma regular programas de radio y televisión antes fuera de su alcance.

Varios países han puesto en órbita satélites de comunicación en sincronía con la rotación diurna de la Tierra, de tal manera que sus haces transmisoras cubren continuamente zonas de servicio predeterminadas.

México planea colocar próximamente uno de estos satélites para abarcar toda la república y transmitir hasta los lugares más aislados, multitud de servicios de comunicación entre los que destacan los programas de educación y capacitación rural. La posibilidad que brindan los satélites sincrónicos de comunicar poblados que, por lo montañoso de nuestro país, aún carecen de estos servicios, resulta en particular importante para su desarrollo e integración al conjunto nacional. Las receptoras de satélites resuelven esta cuestión en forma simple y completa, pues en la actualidad su costo es comparable con el de un automóvil común y aún tiende a disminuir conforme aumenta el número de instalaciones; el bajo consumo de energía de estas receptoras les permite funcionar con acumuladores que pueden cargarse en caso necesario, por medio de un tablero de celdas solares. Las señales de audio y video recibidas se pueden utilizar en forma directa o grabar en cassettes para emplearlas sucesivas ocasiones, por ejemplo en los cursos de capacitación.

Analicemos las partes que constituyen una estación receptora típica. El elemento distintivo de la instalación es la antena receptora, que consiste en un paraboloide de tres a seis metros de diámetro y que concentra la señal enviada por el satélite en su punto focal; en el foco del paraboloide va colocado el amplificador de bajo ruido (INA), sostenido por unas barras ligeras. En él se amplifica la señal, que se envía por un cable coaxial hacia el interior de la escuela o casa donde se encuentra el resto del equipo receptor de video, cuyo tamaño no es mayor que el de un equipo de alta fidelidad. Este receptor de video amplifica y detecta la señal separándola hasta en 24 canales que pueden seleccionarse uno a uno al igual que en un televisor comercial.

Para adquirir e instalar una estación receptora hay que precisar los siguientes conceptos:

- a) El diámetro del paraboloide (antena) y la calidad del amplificador de bajo ruido (INA), cuya combinación basta para obtener una imagen con una satisfactoria relación señal/ruido en el lugar de recepción.
- b) Las características físicas del sitio de instalación para que ésta se lleve a cabo adecuadamente, como son tipo de suelo, intensidad máxima del viento, etc.
- c) Las características electrónicas del equipo, según el número de canales simultáneos que se requieran, polarización horizontal, vertical o ambas, etc.
- d) La distancia entre la antena y el equipo interior, la cual debe procurarse que sea la menor posible para evitar pérdidas en el cable coaxial.

Una vez instalada la estación y después de apuntar la antena en dirección de uno de los satélites geoestacionarios de comunicaciones cuyas coordenadas sean conocidas y cuya intensidad de campo sea suficiente, el equipo deberá probarse de acuerdo con su instructivo.

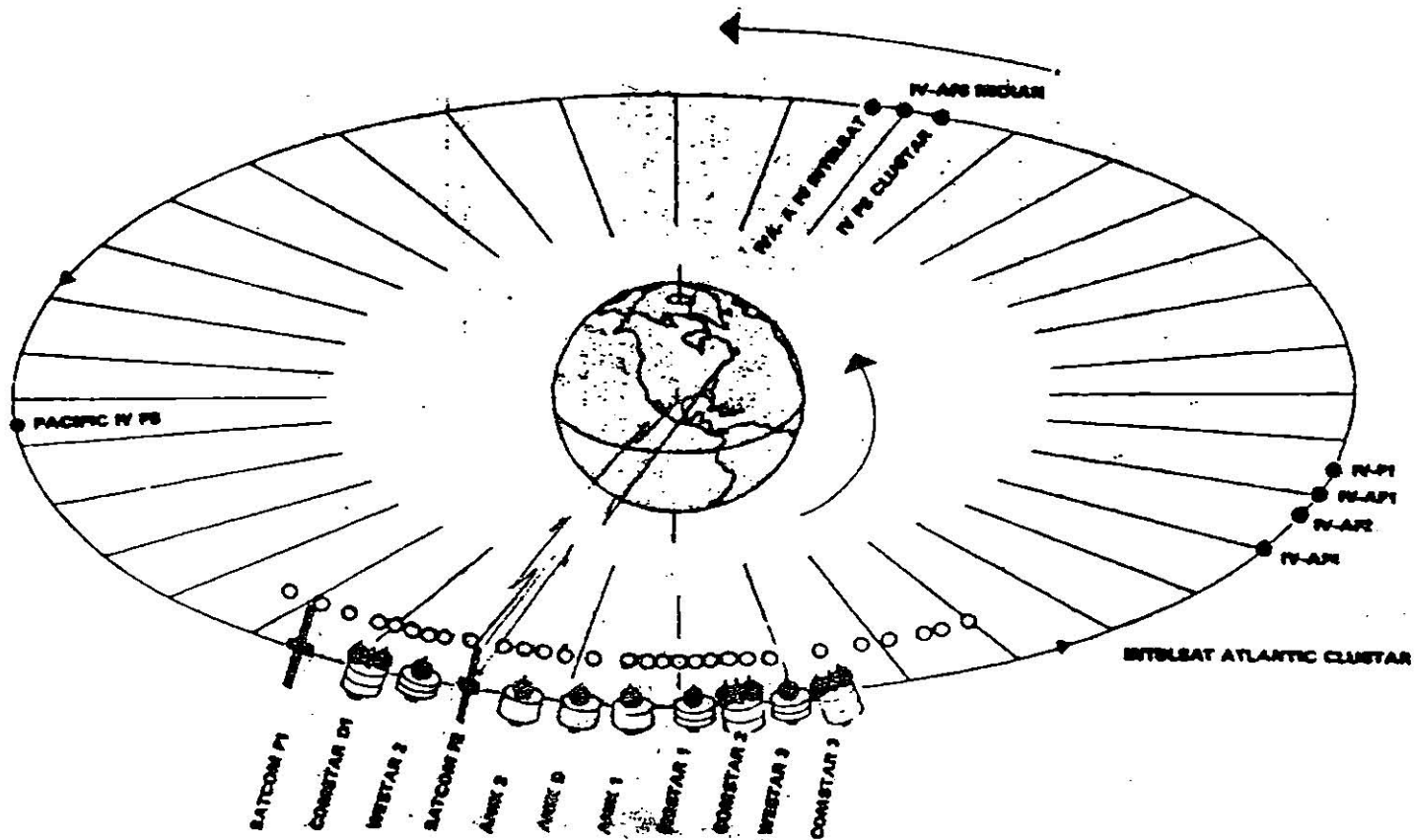
Como se sabe, es necesario que los satélites geoestacionarios estén en órbita ecuatorial y circular cuyo radio sea de 42 100 km.

A esta altura, y para que el satélite mantenga en órbita según las leyes de la gravitación, éste debe ir animado de una velocidad tangencial de 11 000 km por hora. A esta velocidad, el satélite se encuentra siempre sobre la vertical de un punto fijo en el Ecuador. Por esta razón, para un observador en la Tierra, el satélite se halla inmóvil en el espacio y se puede apuntar a él la antena receptora, dejándola fija una vez que, durante el reajuste inicial la intensidad de la señal llegue al máximo.

Como fácilmente se deduce, un satélite se recibirá mejor si se encuentra en el mismo meridiano que la estación receptor, por se así menor su distancia a ella. Esto trae como consecuencia que los satélites geosincrónicos se hallen agrupados encima de los continentes, dejando grande espacios libres sobre los mares; sin embargo, no es posible agruparlos demasiado porque ellos causarían entre unos y otros. Actualmente guardan entre sí una separación angular de cuatro grados y se estudia la posibilidad técnica de reducir ésta a tres grados solamente, pues con la separación actual la órbita está ya saturada, particularmente sobre el continente americano (existen 14 satélites en funciones y próximamente se colocarán 22)

Estos satélites funcionan como receptores-transmisores - (transponders) y obtienen su energía eléctrica mediante celdas solares que rodean su cuerpo silíndico. Reciben las señales enviadas desde la Tierra mediante grandes parabolo--ides como los de la estación de Tulancingo, Hidalgo, las - que por su aspecto parecen radiotelescopios. Las antenas - transmisoras de las satélites envían un haz concentrado hacia la Tierra, cuyo contorno se diseña para cubrir con - buena intensidad de campo la zona deseada. Una vez lanzado el satélite mediante un cohete propulsor, los técnicos desplazan en su órbita hasta colocarlo en el meridiano que le corresponde y lo orientan para que las antenas queden apuntando a la región de servicio.

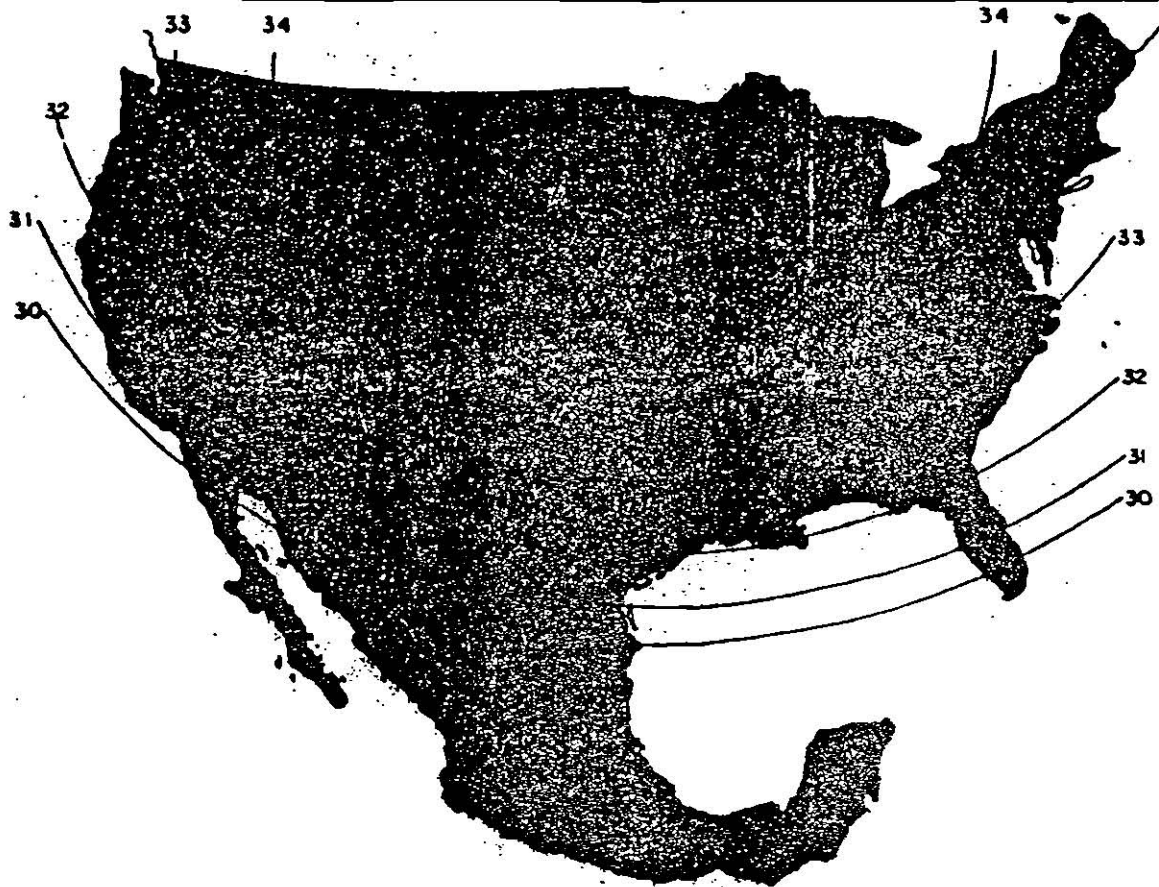
Es necesario corregir periódicamente su posición, pues hay cierta deriva causada por las fuerzas gravitacionales en - el sistema solar.



para ello, el satélite contiene pequeños propulsores a --
reacción. La vida de servicio de un satélite puede ser --
mayor de cinco años, y si éste fallara dentro de la garan-
tía, la empresa fabricante se obliga a reponerlo.

Los satélites actuales transmiten cada uno 24 canales de
televisión y muchos servicios como son: retransmisión de
estaciones radiodifusoras de AM y FM, música "clásica" de
datos, servicios particulares de comunicación, etc., Las
señales de televisión, que las estaciones transmisoras en-
vían en la banda de 2 700 a 3 200 MHz, son captadas por --
el satélite que las convierte a la banda de 3 700 a 4 200
MHz y las amplifica, retransmitiéndolas a tierra mediante
su antena direccional. Cada uno de los 24 canales de tele-
visión ocupa un ancho de banda de 36 MHz y se modula la --
frecuencia de la señal de video, llegando al audio en una
subportadora a 6.8 Mhz. Se consigue colocar los 24 cana-
les en una amplitud de banda total de tan solo 500 MHz, --
mediante la técnica de transmitir doce canales con polari-
zación horizontal y los otros doce con polarización verti-
cal.

El transmisor de a bordo en un satélite de comunicaciones
tiene unos cuantos watts de potencia, su antena se diseña
para cubrir un área específica y el haz, radiado desde --
35 750 km. de altitud sobre el Ecuador, se abre en forma
de cono conforme se acerca a la Tierra para cubrir el á--
rea de interés. Un ejemplo típico es el contorno con lí--
neas equipotenciales que el satélite de la RCA SATCOM 1 --
produce sobre Norteamérica y que aparece en la página.



Para determinar la dirección en que debe apuntarse la antena receptora, se investigan las coordenadas geográficas del sitio escogido y se determinan el azimut y el ángulo de elevación del paraboloide.

Tomemos como ejemplo la ciudad de Chihuahua, cuyas coordenadas son; latitud norte 28.6° y longitud oeste 106.1° .

Restemos a la longitud del satélite SATCOM-1 que es 135° oeste, la de Chihuahua. Entonces tendremos: $135^{\circ} - 106.1^{\circ} = -28.9^{\circ}$, y con este valor obtendremos la orientación del paraboloide:

Azimut, 15° al oeste del sur

Ángulo de elevación, 56

Con estos valores podremos dirigir la antena a dicho satélite.

La siguiente condición fundamental para que la imagen resulte satisfactoria, es que su relación S/N sea lo más alta posible. Una imagen aceptable tiene una relación S/N de unos 45 dB; en cambio, para que dicha imagen sea excelente se requiere de una S/R de 50 dB por lo menos. De aquí resulta la necesidad de encontrar una solución económica, dependiente por un lado del diámetro de la antena parabólica, mismo que determina su ganancia dada en decibeles - y por otro, de la calidad del amplificador de bajo ruido colocado en el foco y cuyo índice es su "temperatura de ruido" dada en grados K.

Continuando con nuestra estación receptora hipotética en Chihuahua y para una calidad de imagen aceptable cuya relación S/R sea de 45 dB, tendremos:

La gráfica nos da para una imagen con relación S/R de 45 dB

$$C/kT = 83.0 \text{ dB}$$

La caída de la señal transmitida por el satélite desde 36 000km es

$$196.0 \text{ dB}$$

Las pérdidas probables en los cables de la instalación resultan de

$$3.6 \text{ dB}$$

Suma

$$228.6 \text{ dB}$$

Restando la constante de Boltzman

$$228.6 \text{ dB}$$

Restando la intensidad de la señal en el punto de recepción

$$\begin{array}{r} -31.0 \text{ dB} \\ \hline 23.0 \text{ dB / K} \end{array}$$

23.0 dB/K corresponde a "la figura de mérito" que debe tener la combinación; ganancia del paraboloide "G" y temperatura de ruido "T" del amplificador de bajo ruido. Esta figura de mérito o relación G/T, como también se acostumbra llamar, se puede conseguir con varias combinaciones de paraboloide y amplificadores, como se desprende de la siguiente tabla:

En las gráficas de precios se observa que para lograr la calidad de imagen descrita como aceptable, la suma de factores es del mismo orden para un paraboloide de 4.6 o uno de 5 metros de diámetro, pues el costo superior de la antena de 5 metros se compensa con el costo menor de LNA. Así para una figura de mérito de 23 dB/K, la suma de factores costo es 10. Si en cambio se deseara una imagen del COMSAT-1 calificada como "buena" (relación S/R de 45 dB con un valor de C/KT de 87 dB), y se valuaran las pérdidas. La nueva instalación en 3.4 dB, la figura de mérito o relación G/T resultará de 26.8 dB/K. Para este valor se requerirá un paraboloide de 6.1 de diámetro y un amplificador de bajo ruido de 60 K. Ahora la suma de factores costo sería de 25, o sea 2.5 veces mayor.

Es indudable que, conforme crezca el número de instalaciones, los precios del equipo se abatirán y éste será cada vez más confiable. En el futuro, cuando se populariza la nueva banda de frecuencias para los satélites de comunicaciones con frecuencias entre 11 000 y 12 000 MHz (11 y 12 GHz), el tamaño de los paraboloides se reducirá a menos de dos metros de diámetro.

E J E M P L O

El objetivo fundamental de este curso es el diseño de un sistema de telecomunicaciones vía satélite a partir de datos reales y cumpliendo con los requisitos de calidad de transmisión exigidos por los organismos internacionales.

El curso permite familiarizarse con temas que conciernen a las telecomunicaciones espaciales, además de que puede considerarse como una guía útil el diseño - en general de cualquier sistema de telecomunicaciones, ya que muchos de los conceptos desarrollados en él son aplicable a cualquiera de dichos sistemas.

A continuación realizaremos un ejemplo de telecomunicación vía satélite.

EJEMPLO DE DISEÑO:

El gobierno francés planea establecer un servicio de telecomunicaciones vía satélite entre Francia y algunos territorios con el fin de proporcionar los siguientes servicios:

- a) Comunicar Francia con la Guyana, la Martinica, Guadalupe y la Reunión por medio de un enlace bilateral -- que permita la transmisión de 252 canales de voz.
- b) Comunicar la Guyana con la Martinica y Guadalupe con Saint-Barthélémy por medio de un enlace bilateral -- que permita la transmisión de 96 canales de voz.

Las condiciones siguientes deberán ser respetadas:

1. El satélite será colocado en una órbita geoestacionaria de tal forma que sea visto por las diferentes estaciones terrenas con una elevación superior a 5°, además no deberá haber otro satélite que utilice la misma frecuencia a 3 separación.
2. Las bandas de frecuencia utilizadas son las primeras bandas asignadas al servicio fijo de telecomunicaciones por satélite (5925-6425 MHz up link; 3700-4200 MHz down link).
3. Se utilizarán dos repetidores de 75 MHz de ancho de banda; una banda de 25 MHz será dejada entre las bandas de los repetidores. El repetidor no. 2, transmitirá los 7 enlaces destinados a la región Antillas--Guyana, por medio de una antena tipo "Spot-Beam". El

repetidor no. 1 transmitirá los otros 5 enlaces destinados a Francia y la Reunión por medio de una antena de tipo corneta de cobertura global. Esta misma corneta servirá de antena de recepción a 6 GHz.

4. El sistema utilizado es el acceso múltiple por división de frecuencia y las diferentes portadoras son moduladas en frecuencias (FDMA/FM). se dejará una banda de guardia entre el canal "i" y el canal "j"; igual a:

0.1 (Banda de Carlson "i" + banda de Carlson "j")

5. Se respetará la cláusula de calidad de transmisión recomendada por el CCIR en sus avisos 353-2 y 356-2 de 9000 pWpo. Un margen suplementario de 0.9 dB será considerado para tomar en cuenta las imperfecciones de las estaciones terrenas, lo que permite definir la relación señal a ruido mínimo igual a 51.4 dB.

6. Para el cálculo de la relación portadora a temperatura de ruido se tendrá en cuenta:

a) La preacentuación "P₁"

$$P_1 = 5 - 10 \log \left[1 + \frac{6.9}{5.25 \left(\frac{1.25 f_{max}}{F} - \frac{F}{1.25 f_{max}} \right)^2} \right]$$

Donde :

f_{max} es la frecuencia máxima del multiplex en banda base.

$f_{\text{max}} = 408 \text{ KHz}$ (96 canales de voz)

$f_{\text{max}} = 1052 \text{ KHz}$ (252 canales de voz)

b) La ponderación psiofométrica " P_2 " que toma en cuenta la curva de respuesta del oído será:

$P_2 = 3.6 \text{ dB}$ para una banda de 4 KHz.

c) Para el cálculo de la desviación de frecuencia eficaz por canal, se considerará un factor de cresta de 10 dB y un factor de carga del multiplex - normalizado como se indica a continuación:

$(-15 + 10 \log N) \text{ dBmo}$ Si $N \geq 240$

$(-1 + 4 \log N) \text{ dBmo}$ Si $N \leq 240$

N es el número de canales de voz del multiplex.

d) Se tomará un margen suplementario de 2 dB para tomar en cuenta la atenuación suplementaria debida - a los hidometeoros.

7. Se evitará utilizar demoduladores de frecuencia especiales (a umbral mejorado) garantizado una relación portadora a ruido (C/N) superior a 11 dB.

8. Las estaciones terrenas utilizadas son:

- De tipo INTELSAT Standard A en Francia y en la Reunión.

- De tipo INTELSAT Standard B en las Antillas y en la Guyana.

- Standard A:

diámetro = 32.5 m

PIRE max = 95 dBW

G/T = 40.7 dB/°K

- Standard B:

diámetro = 11.5 m

PIRE max = 86 dBW

G/T = 31.7 dB/°K

9. Los amplificadores de potencia del satélite (uno por repetidor), serán tubos de ondas progresivas de una potencia máxima de 10 watt. La atenuación entre la salida del tubo y la interfase de la antena de emisión será de 1.5 dB.

10. Las características de las antenas del satélite serán las siguientes:

-La antena "Spot-Beam" Antillas-Guyana tendrá un diámetro máximo de 2 m y un rendimiento de 55%, su ancho de haz a 3 dB, será igual a $70 \frac{\lambda}{D}$

-La corneta será utilizada si es posible a la vez a 4 GHz y a GHz. Su directividad está dada por la gráfica que se anexa al presente enunciado. Su ancho de haz a 3 dB será igual a $60 \frac{\lambda}{D}$ aproximadamente y las pérdidas de inserción del orden de 0.5 dB.

11. La carga útil será equipada de un receptor a un solo cambio de frecuencia.

SECUENCIA A SEGUIR:

1. Optimizar la posición del satélite sobre una órbita - geoestacionaria cumpliendo con la condición (1)
2. Seleccionar las frecuencias de los dos repetidores.
3. Diseñar el plan de frecuencia de cada repetidor. - -
Calcular la excursión ó desviación de frecuencia eficaz por canal, tanto para los enlaces de 96 canales - de voz como para los de 252.
4. Calcular la relación portadora a ruido y portadora a temperatura de ruido para los dos tipos de portadora.
5. Calcular las pérdidas de propagación para las trayectorias ascendente y descendente.
6. Optimizar los parámetros $PIRE_{ET}$, $PIRE_{SAT}$ y G/T_{SAT} .
7. Realizar el diagrama de la carga útil con sus antenas el receptor de un solo cambio de frecuencia, los demultiplexores, amplificadores, etc.

COORDENADAS DE LOS LUGARES
A ENLAZAR

	Estación	Latitud	Longitud
FRANCE	FR	48° 31' N	3° 54' E
SAINT-BARTHELEMY	STB	17° 55' N	62° 50' W
GUADALUPE	GUA	16° 15' N	61° 35' W
MARTINIQUE	MAR	14° 31' N	61° 01' W
GUYANA	GUY	04° 56' N	52° 18' W
REUNION	REU	20° 54' S	55° 32' E

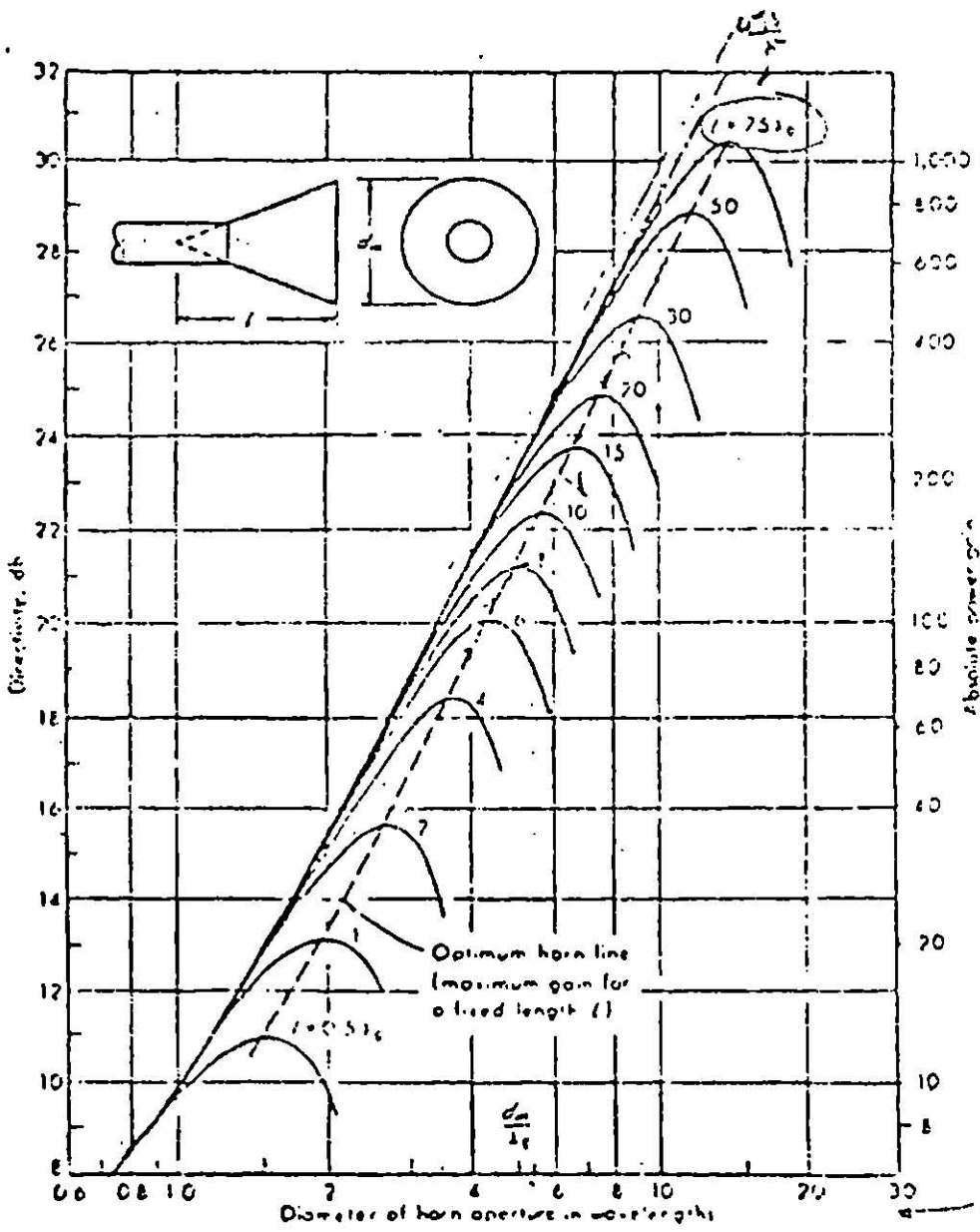


TABLE 1. GEOSYNCHRONOUS SATELLITE DATA

Longitude	Launch Date	Life (yr)	Satellite Name	Sponsor	Function	Up/Down-link Frequency (GHz)
0°E	1977		Meteosat 1	European Space Agency	Meteorological	0.148, 0.40 2.1/0.137, 0.468, 1.7
0°E	1980		Meteosat 2	European Space Agency	Meteorological	0.148, 0.40 2.1/0.137, 0.468, 1.7
0°E	1983		Nordsat	Nordic Nations	Regional	14/12
0°E	1983		ERS (European Broadcasting Satellite)	European Broadcasting Union	Direct Broadcast	14/11 1 ∞
0°E	1978		GEOS-2	European Space Agency	Experimental	0.149/ 0.137, 2.3 1
10°E	1978	5	OTS-2 (Orbital Test Satellite)	European Space Agency	Experimental	0.149, 14/ 0.138, 11
10°E	1983	7	ECS-1 (European Communications)	European Conference of Post & Telecommunications Administrations (CEPT)	Regional	14/11
10°E	1982	7	ECS-2 (Spare)	European Conference of Post & Telecommunications Administrations (CEPT)	Regional	14/11

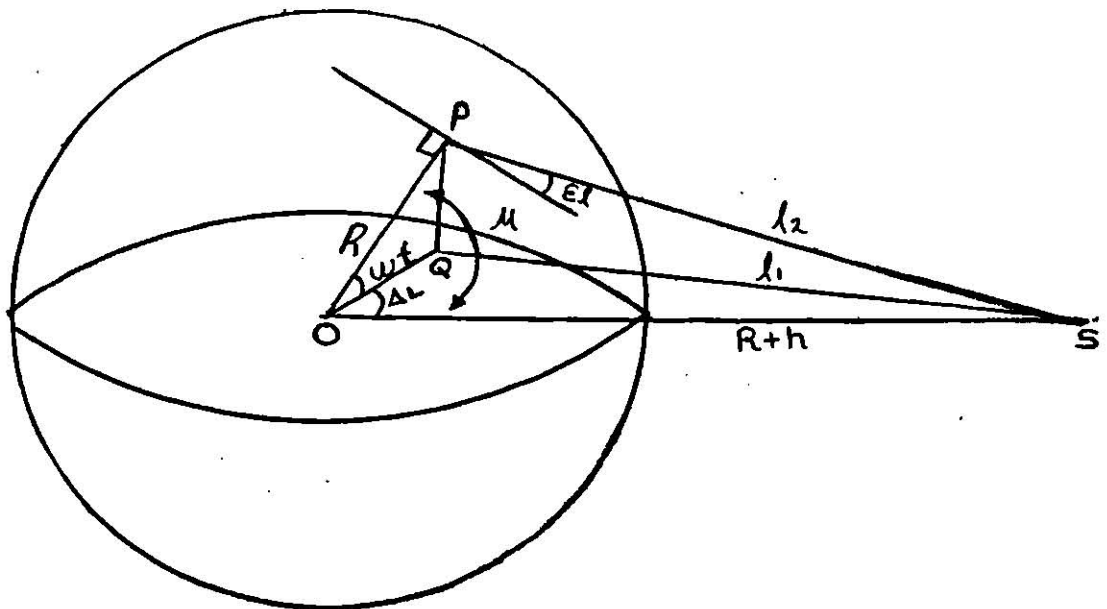
15°E	1983	7	Arabsat	Arab Satellite Communications Organization	Regional Direct Broadcast	6/4 6/2.5
20°E	1982	7	Arabsat	Arab satellite Communications Organization	Regional Direct Broadcast	6/4
338.5°E (21.5W)	1971	7	INTELSAT IV F-3	INTELSAT	International	6/4
341.0°E (19W)	1983	5	TV-SAT-A3	RMP T/DPLVR (Federal Republic of Germany)	Direct Broadcast	2.1.10/2.3
341.0°E (19W)	1983	5	TV-SAT-A3 (Spare)	RMP T/DPLVR (Federal Republic of Germany)	Direct Broadcast	2.1.19/2.3,
341.0°E (19W)	1983	5	TV-SAT-A5	RMP T/DPLVR (Federal Republic of Germany)	Direct Broadcast	2.1.19/2.3,
341.0°E (19W)	1983	5	TDF-1A	Telodiffusion Francaise	Direct Broadcast	2.1.19/2.3, ∞
341.0°E (19W)	1984	5	TDF-1B (Spare)	Telediffusion Francaise	Direct Broadcast	2.1.19/2.3
341.0°E (19W)	1984	7	L-Sat (Large Satellite)	Tele-Luxembourg (Luxembourg)	Direct Broadcast	19/12
341.5°E (18.5W)	1975	7	INTELSAT IV F-1	European Space Agency	Experimental Direct Broadcast	14.30/12.2 19 SHF.12
341.5°E (18.5W)	1975	7	INTELSAT IV F-1	INTELSAT Atlantic Network (major path 2)	International Maritime	6.14/4.11 1.6/1.5
341.5°E (18.5W)	1975	7	INTELSAT IV F-1	INTELSAT	International	6/4

342°E (18W)	1976	5	NATO-3A (F-1)	NATO	Government	2.8/2.7
342°E (18W)			NATO-4	NATO	Government	8/7
345 E (15W)	1976	5	Marisat 101 Atlantic	COMSAT GENERAL Corporation (USA)	Government Maritime	0.3-0.312/ 0.248-0.26 1.5,6/1.6, 1.5,4
345°E (15W)	1977	2	Sirio 1	CNR (Italy)	Experimental	0.148,18/0 12
346.0°E (14W)	1981		Loutch-10	Ministry of Posts & Telecommunications (USSR)	Domestic	14/11
346.5°E (13.5W)			Stationar-4 Network (includes Gorizont)	Ministry of Posts & Telecommunications (USSR)	Domestic	6/4
346.5°E (13.5W)	1978		Gorizont-1	USSR	Domestic Government	6/4 8/7
346.5°E (13.5W)	1979		Gorizont-2	USSR	Domestic Government	6/4 8/7
346.5°E (13.5W)	1980		Volna-2	Ministry of Posts & Telecommunications (USSR)	Maritime Aeronautical	1.6/1.5 1.6/1.5
347°E (13W)			Atlantic DSCS Network	000 (USA)	Government	2,8/2,7
347°E (13W)	1977	5	DSCS-2 F7 (Defense Satellite Commu- nications System 11)	000 (USA)	Government	2.8/2.7
347°E (13W)	1981	10	DSCS-III (Defense Satellite Commu- nications System --)	000 (USA)	Government	2,8/2.7

FORMULARIO

I. SATELITES GEOESTACIONARIOS

La órbita de estos satélites está situada sobre el plano ecuatorial a una altura aproximada de 35 890 km, la única variable es la longitud del punto sobre el que está situado el satélite.



P = es la posición de la estación terrena.

R = es el radio de la tierra

$$R = 6\,378 \text{ Km}$$

h = es la altura del satélite

$$h = 35\,890 \text{ Km}$$

lat = es la latitud de la estación terrena.

ΔL = es la diferencia de longitud entre el satélite y la estación terrena.

ϵ = Angulo de elevación con el que la estación terrena "ve" al satélite.

Distancia entre el satélite y la estación terrena:

$$\overline{SP}^2 = h^2 + 2R(R+h)(1 - \cos lat \cos \Delta L)$$

Angulo de elevación :

$$\cos \mu = \cos lat \cos \Delta L$$

$$\epsilon = \text{Arctg} \frac{\cos \mu - \frac{R}{R+h}}{|\sin \mu|}$$

II. RELACION SEÑAL A RUIDO EN SISTEMAS DE TRANSMISION DE FM (S/R)

$$\frac{S}{R} = \frac{C}{KTb} \left(\frac{\Delta f_{FM}}{f_{max}} \right)^2 P_1 P_2$$

" $\frac{S}{R}$ " es la relación señal a ruido a la salida del demodulador.

c = es la potencia de la portadora.

b = es la banda de un canal telefónico $b=4$ KHz.

K = es la constante de Boltzman

$$1.38 \times 10^{-23} \text{ JOUL/K}$$

T = es la temperatura equivalente de ruido en grados Kelvin.

Δf_{ef} = es la desviación de la frecuencia eficaz por canal.

P_1 = es el coeficiente de ponderación debido a la preacentuación.

P_2 = es el coeficiente de ponderación psfométrica

Cálculo de (c/N) r Δf_{ef}

$$B_c = 2 (\Delta f_c + f_{max})$$

c/N = es la relación portadora a ruido a la entrada del demodulador.

B_c = es la banda de Carlson del multiplex.

Δf_c = es la desviación pico del sistema.

f_{max} = es la frecuencia máxima del multiplex en banda de base

$f_{max} = 408$ KHz (multiplex 96 canales)

$f_{max} = 1052$ KHz (multiplex 252 canales)

$$\Delta f_{ef} = \frac{\Delta f_c}{(f_{creta}) (f_{carga})}$$

III. ATENUACION DEBIDA A LA PROPAGACION DE LA SEÑAL EN EL ESPACIO LIBRE.

$$AT = 20 \text{ Log } \frac{4 \pi L}{\lambda}$$

AT = es la atenuación de propagación en dB.

λ = es la longitud de onda de la señal en metros.

L = es la distancia en metros.

IV. ANTENAS

a) Parabólicas

$$Dir = 20 \text{ Log } \frac{\pi D}{\lambda}$$

$$G = \eta Dir$$

Dir = es la directividad de la antena en dB

G = es la ganancia de la antena en dB

D = es el diametro de la antena en metros

λ = es la longitud de onda de la señal transmitida ó recibida por la antena en metros

η = es el factor de rendimiento de la antena

Ancho de haz ($\Delta\theta$ 3dB)

$$\Delta\theta \text{ 3dB} = \frac{70\lambda}{D}$$

b) Cornetas

Para el cálculo de la directividad de las cornetas se usarán las gráficas que son dadas en el anexo.

$$\Delta\theta \text{ 3dB} = \frac{60\lambda}{D}$$

V. ECUACIONES FUNDAMENTALES DE TRANSMISION VIA SATELITE

$$\left(\frac{C}{T} \right) = \frac{1}{\left(\frac{T}{C} \right)_a + \left(\frac{T}{C} \right)_d}$$

$\left(\frac{C}{T} \right)_T$ = es la relación portadora a temperatura de ruido del enlace completo.

$\left(\frac{C}{T} \right)_a$ = es la relación portadora a temperatura de ruido del enlace estación terrena-satélite

$\left(\frac{C}{T} \right)_d$ = es la relación portadora a temperatura de ruido del enlace satélite-estación terrena.

$$\left(\frac{C}{T} \right)_a = \text{PIRE}_{E.T} - \text{ATA} + \left(\frac{G}{T} \right)_{\text{sat}}$$

$$\left(\frac{C}{T} \right)_d = \text{PIRE}_{\text{sat}} - \text{ATD} + \left(\frac{G}{T} \right)_{E.T}$$

PIRE = Potencia Isotrópica radiada equivalente.

PIRE_{sat} = PIRE del satélite

$\text{PIRE}_{E.T}$ = PIRE de la estación terrena

ATA = atenuación trayecto ascendente.

ATD = atenuación trayecto descendente.

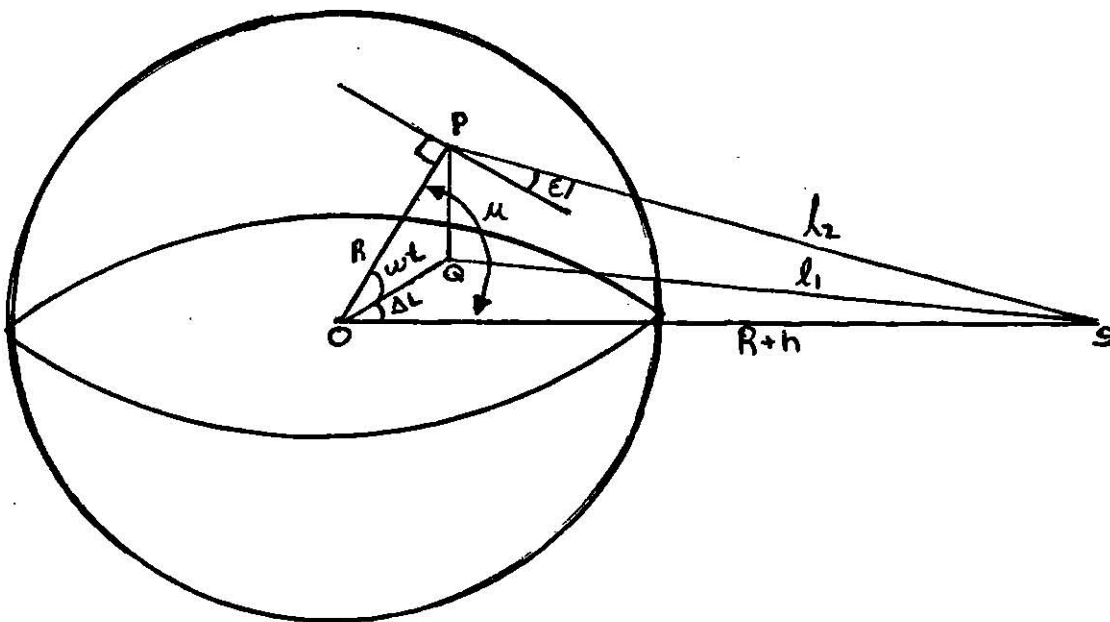
$(G/T)_{sat}$ = Relación ganancia a temperatura de ruido del satélite.

$(G/T)_{ET}$ = relación ganancia a temperatura de ruido de la estación terrena.

SOLUCION

I) Optimizar la posición del satélite sobre una órbita geostacionaria respetando la condición (1) del enunciado; es decir, conseguir una elevación mayor de 5 para cualquier estación y que no se encuentre otro satélite utilizando la misma frecuencia a una separación menor de 3 .

DEMOSTRACION :



Donde :

P = Posición de la estación terrena .

S = Posición del satélite

Lat = Latitud de la estación terrena

L = Es la diferencia de longitud entre el satélite y la estación terrena

El = Angulo de elevación

R = 6378 Km.

h = 35890 Km.

TRIANGULO OQS

$$l_1^2 = (R \cos \text{lat})^2 + (R + h)^2 - 2 (R \cos \text{lat}) (R + h) \cos \Delta L$$

TRIANGULO PQS

$$l_2^2 = l_1^2 + (R \text{ sen lat})^2$$

COMBINANDO LAS DOS FORMULAS

$$l_2^2 = (R \cos \text{lat})^2 + (R + h)^2 - 2(R \cos \text{lat})(R + h) \cos \Delta L + (R \text{ sen lat})^2$$

$$l_2^2 = R^2 + (R + h)^2 - 2(R)(R + h) \cos \text{lat} \cos \Delta L$$

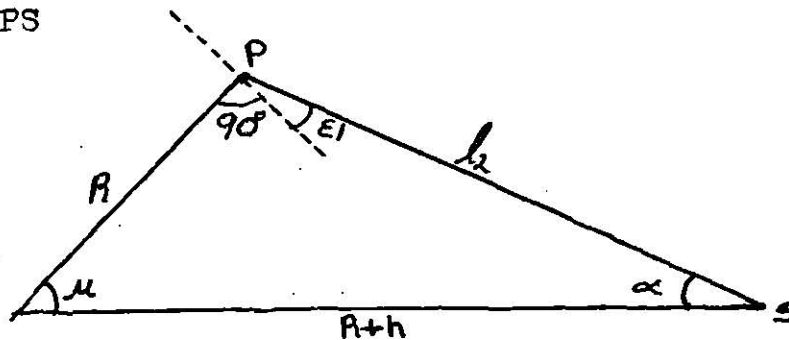
$$l_2^2 = R^2 + (R + h)^2 - 2(R)(R + h) \cos \mu$$

DONDE :

$$\cos \mu = \cos \text{lat} \cos \Delta L$$

$$l_2^2 = \frac{SP}{\text{sen } \mu} = R^2 + 2R(R + h)(1 - \cos \mu)$$

TRIANGULO OPS



$$\frac{l_2}{\text{sen } \mu} = \frac{R}{\text{sen } \alpha} = \frac{R + h}{\text{sen } (90 + EI)}$$

$$\alpha = 180 - \mu - (90 + EI)$$

$$\alpha = 90 - (\mu + EI)$$

$$\frac{R}{\text{sen } \alpha} = \frac{R + h}{\text{sen } (90 + EI)}$$

$$\text{sen } \alpha = \text{sen} [90 - (\mu + \epsilon)] = \text{cos } (\mu + \epsilon)$$

$$\text{sen } (90 + \epsilon) = \text{cos } \epsilon$$

$$\frac{R}{\text{cos } (\mu + \epsilon)} = \frac{R + h}{\text{cos } \epsilon}$$

$$\frac{R}{R + h} \text{cos } \epsilon = \text{cos } (\mu + \epsilon) = \text{cos } \mu \text{cos } \epsilon - \text{sen } \mu \text{sen } \epsilon$$

$$\text{cos } \mu \text{cos } \epsilon - \frac{R}{R+h} \text{cos } \epsilon = \text{sen } \mu \text{sen } \epsilon$$

$$\text{cos } \epsilon \left(\text{cos } \mu - \frac{R}{R+h} \right) = \text{sen } \mu \text{sen } \epsilon$$

$$\frac{\text{sen } \epsilon}{\text{cos } \epsilon} = \text{tg } \epsilon = \frac{\text{cos } \mu - \frac{R}{R+h}}{|\text{sen } \mu|}$$

$$\epsilon = \text{Arc tg } \frac{\text{cos } \mu - \frac{R}{R+h}}{|\text{sen } \mu|}$$

Solucion :

Para satisfacer la condición (1) referente a la elevación debemos cumplir con :

$$\text{tg } \epsilon \geq \text{tg } 5^\circ = 0.0875$$

$$\frac{\text{cos } \mu - \frac{R}{R+h}}{|\text{sen } \mu|} \geq 0.0875$$

Por lo tanto

$$0 < \mu \leq 76.4055$$

Obtengamos ahora la ΔL max para conseguir $\mu = 76.4055^\circ$

$$\text{cos } \mu = \text{cos } \lambda \text{cos } \Delta L$$

$$\Delta L = \text{Arc cos} \left(\frac{\cos \mu}{\cos \text{lat}} \right)$$

$$\Delta L \text{ max} = \text{Arc cos} \left(\frac{\cos 76.4055^\circ}{\cos \text{lat}} \right)$$

$$\Delta L \text{ max} = \text{Arc cos} \left(\frac{0.235}{\cos \text{lat}} \right)$$

Substituyendo en esta fórmula la latitud correspondiente

para cada estación, obtenemos la siguiente tabla :

	Estación	Latitud	longitud	L max	Límite 1	Límite 2
Francia	FR	48° 31' N	3° 54' E	69° 13'	65° 19' W	73° 07' E
Saint- Barthéle my	STB	17° 55' N	62° 50' W	75° 42'	138° 32' W	12° 52' E
Guadalupe	GUA	16° 15' N	61° 35' W	75° 49'	137° 24' W	14° 14' E
Martinique	MAR	14° 31' N	61° 01' W	75° 57'	136° 58' W	14° 56' E
Guyana	GUY	4° 56' N	52° 18' W	76° 21'	128° 39' W	24° 03' E

Solucion propuesta : entre 12 52' E y 19 53

Checando en las tablas adjuntas en la presentación del problema, proponemos como nuestra solución particular una posición del satélite en :

2 E

II) Selección de las frecuencias de los repetidores - -

La banda de frecuencia utilizada por los repetidores es de 5925 a 6425 MHz.

Se utilizarán dos repetidores de 75 MHz de ancho de banda espaciados 25 MHz.

Por lo tanto proponemos la siguiente solución :

6 200 - 6275 MHz	REP # 1
6 300 - 6375 MHz	REP # 2

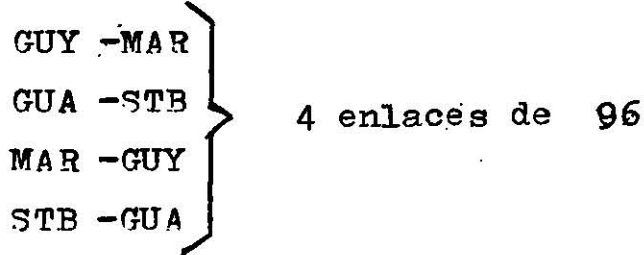
III) plan de frecuencia de los repetidores.

REPETIDOR # 1

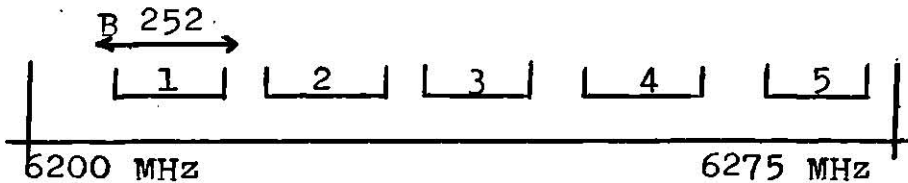
GUY -FR	}	5 CANALES DE 252 (5 enlaces de 252 canales de voz)
MAR -FR		
GUA -FR		
REU -FR		
FR -REU		

REPETIDOR # 2

FR -GUY	}	3 enlaces de 252
FR -MAR		
FR -GUA		



REPETIDOR # 1



Debemos considerar una banda de guarda entre canal "i" y canal "j" igual a :

$$= 0.1 (\text{BANDA DE CARLSON } i + \text{BANDA DE CARLSON } j)$$

Y entre el inicio del repetidor y el primer canal, y entre el fin del último canal y el fin del repetidor se dejará una guarda de:

$$= 0.1 (\text{BANDA DE CARLSON DEL CANAL CONSIDERADO})$$

Solución :

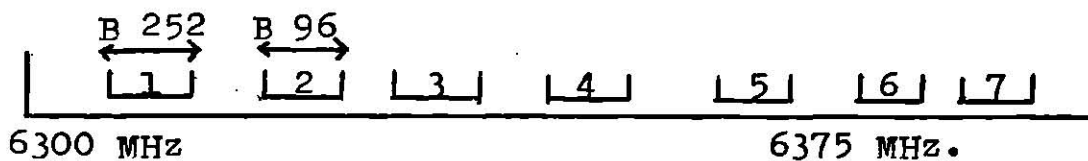
Como se tienen 5 canales de 252 canales de voz :

$$5 B_{252} + 4 (0.2 B_{252}) + 2(0.1 B_{252}) = 75 \text{ MHz.}$$

$$6 B_{252} = 75 \text{ MHz}$$

$B_{252} = 12.5 \text{ MHz.}$

REPETIDOR # 2



Solución propuesta :

$$\begin{aligned} 3 B_{252} + 4 B_{96} + 4 (0.1) (B_{252} + B_{96}) + \\ 2 (0.2) B_{96} + 2(0.1) B_{252} = 75 \text{ MHz} \\ 4.8 B_{96} + 3.6 B_{252} = 75 \text{ MHz} \end{aligned}$$

COMO $B_{252} = 12.5 \text{ MHz}$

ENTONCES :

$$B_{96} = \frac{75 - 3.6 (12.5)}{4.8}$$

$$B_{96} = 6.25 \text{ MHz}$$

Para calcular la desviación eficaz por cada conal (multiplex) debemos considerar un factor de cresta de 10 dB - - (3.16) y un factor de normalización ó carga dado por la - condición (6c).

La desviación de frecuencia eficaz está dada por:

$$\Delta f_{ef} = \frac{\Delta f_c}{(f_{cresta}) (f_{carga})}$$

Al dividir Δf_c entre dichos factores se obtiene un promedio estadístico por canal multiplex, tomado en cuenta - tanto el valor eficaz de la señal de voz como el hecho de que no todos los canales son utilizados al mismo tiempo.

Solución propuesta :

PARA 96 CANALES $f_{max} = 408 \text{ KHz}$

FACTOR DE CRESTA = 10 dB = 3.16

FACTOR DE CARGA

$$(-1 + 4 \log N) \text{ dBmo SI } N \leq 240$$

$$-1 + 4 \log 96 = 6.93 \text{ dBmo} = 2.22$$

$$B_{CARLSON} = 2 (\Delta f_c + f_{max}) = 6.25 \text{ MHz}$$

DESPEJANDO

$$\Delta f_c = \frac{6.25}{2} - 0.408 = 2.717 \text{ MHz}$$

$$\Delta f_{ef} = \frac{\Delta f_c}{(f \text{ carga}) (f \text{ cresta})}$$

$$\Delta f_{ef} = \frac{2.717}{(3.16)(2.22)} = 387.3 \text{ KHz}$$

$\Delta f_{ef} 96 = 387.3 \text{ KHz}$
--

PARA 252 CANALES

$$f_{\text{max}} = 1052 \text{ KHz}$$

$$\text{FACTOR DE CRESTA} = 10\text{dB} = 3.16$$

FACTOR DE CARGA :

$$(-15 + 10 \log N) \text{ dBmo SI } N \geq 240$$

$$(-15 + 10 \log 252) = 9.014 \text{ dBmo} = 2.82$$

$$\text{CARLSON} = 2 (\Delta f + f_{\text{max}}) = 12.5 \text{ MHz}$$

$$\Delta f_c = \frac{12.5}{2} - 1.052 = 5.198 \text{ MHz}$$

$$\Delta f_{ef} = \frac{5.198}{(3.16)(2.82)} = 583.3 \text{ KHz}$$

$$\Delta f_{ef} 252 = 583.3 \text{ KHz}$$

IV) cálculo de la relación portadora a ruido y la relación portadora a temperatura de ruido.

La relación portadora a ruido por canal de voz después del demodulador está dada por :

$$\frac{S}{R} = \frac{C}{K T_b} \left(\frac{\Delta f_{ef}}{f_{\text{max}}} \right)^2 P_1 P_2$$

DONDE $b = 4$ KHz

Y $p_2 =$ PONDERACION PSOFOMETRICA = 3.6 dB

PARA UNA BANDA DE 4 KHz

$$P_1 = 5 - 10 \log \left[1 + \frac{6.9}{1 + \frac{5.25}{\left(\frac{1.25 f_{\max} - f}{1.25 f_{\max}} \right)^2}} \right]$$

$f_{\max} = 408$ KHz (96 CANALES)

$f_{\max} = 1052$ KHz (252 CANALES)

f ES LA FRECUENCIA DEL CANAL CONSIDERADO.

EN NUESTRO CASO CONSIDERAREMOS $f = f_{\max}$ POR SER LA MAS AFECTADA POR EL RUIDO.

$$P_1 = 5 - 10 \log \left[1 + \frac{6.9}{1 + \frac{5.25}{\left(1.25 - \frac{1}{1.25} \right)^2}} \right]$$

$$P_1 = 4 \text{ dB}$$

$$\left(\frac{C}{KTb} \right)_{dB} = \left(\frac{S}{R} \right) - 20 \log \left(\frac{\Delta f_{ef}}{f_{\max}} \right) - p_1 - p_2$$

$$\left(\frac{C}{T} \right)_{dB} = \left(\frac{C}{KTb} \right) + K \text{ dB} + b \text{ dB}$$

$$\left(\frac{S}{R} \right)_{dB} = 10 \log \left(\frac{1 \text{ mw}}{9000 \text{ Pw}} \right) + 0.9$$

$$\frac{S}{R} = 51.4 \text{ dB}$$

PARA 96 CANALES

$$\frac{C}{KTb} = 51.4 - 20 \log \left(\frac{387.3}{408} \right) - 3.6 - 4$$

$$\left(\frac{C}{KTb} \right)_{96} = 44.25 \text{ dB}$$

LA $\frac{C}{T}$ QUE GARANTIZA LA $\frac{S}{R}$ DESEADA SERA:

$$\underline{C} = 44.25 - 228.6 + 36 + 2$$

CONDICION (6d)

$$\left(\frac{C}{T} \right)_{96} = -146.3 \text{ dB/}^{\circ}\text{K}$$

PARA 252 CANALES

$$\frac{C}{N} = 51.4 - 20 \log \left(\frac{583.3}{1052} \right) - 3.6 - 4$$

$$\left(\frac{C}{N} \right)_{252} = 48.92 \text{ dB}$$

$$\underline{C} = 48.92 - 228.6 + 36 + 2$$

T

$$\left(\frac{C}{T} \right)_{252} = -141.7 \text{ dB/ K}$$

$\frac{C}{N} = \frac{C}{KTb}$ DONDE B = BANDA DE CARLSON

N $\frac{C}{KTb}$ B = 12.5 MHz = 70.97 dB (252 CANALES)

B = 6.25 MHz = 67.96 dB (96 CANALES)

$$\frac{C}{N} = \frac{C}{T} \cdot \frac{1}{KB} = \left(\frac{C}{T} \right) - K \text{ dB} - B \text{ dB}$$

PARA 96 CANALES

$$- 146.3 - (- 228.6) - 67.96 = 14.34 \text{ dB}$$

PARA 252 CANALES

$$- 141.7 - (-228.6) - 70.97 = 15.93 \text{ dB}$$

$$\frac{C}{N} = 14.34 \text{ dB (96 CANALES)}$$

$$\frac{C}{N} = 15.93 \text{ dB (252 CANALES)}$$

EN AMBOS CASOS $\frac{C}{N} > 11\text{dB}$

POR LO TANTO NO SE NECESITAN DEMODULADORES ESPECIALES.

BALANCE ENERGETICO DEL ENLACE

V) Cálculo de las pérdidas por propagación.

Solución :

Primero calculemos la distancia desde el satélite a cada estación terrena mediante la ecuación deducida en la solución de la pregunta No. 1.

$$l_2^2 = \frac{\quad}{SP}^2 = h^2 + 2R(R+h)(1-\cos \text{lat} \cos \Delta L)$$

Las pérdidas son obtenidas luego mediante :

$$20 \log \frac{4 \pi L}{\lambda}$$

Para la trayectoria ascendente tenemos:

$$f = 6\text{GHz} \quad \lambda = \frac{c}{f} = 5 \times 10^{-2} \text{M}$$

Para la trayectoria descendente tenemos :

$$f = 4 \text{ GHz} \quad \lambda = 7.5 \times 10^{-2} \text{ M.}$$

Resolviendo estas ecuaciones para cada estación, obtenemos la tabla siguiente :

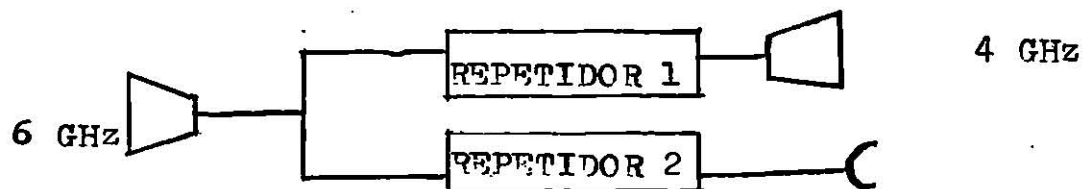
Estación	lat	ΔL	distan- cia (Km)	ATA dB	ATD dB
FR	48 31'N	1 54'	38345	199.68	196.16
STB	17 55'N	64 50'	40114	200.07	196.55
GUA	16 15'N	63 35'	39963	200.04	196.52
MAR	14 31'N	63 01'	39880	200.02	196.5
GUY	4 56'N	54 18'	38908	199.8	196.28
REU	20 54'S	53 32'	39088	199.85	196.32

$$\text{ATA} \approx 200 \text{ dB}$$

$$\text{ATD} \approx 196 \text{ dB}$$

VI) Optimización de los parámetros PIRE_{sat} , G/T_{sat} ,

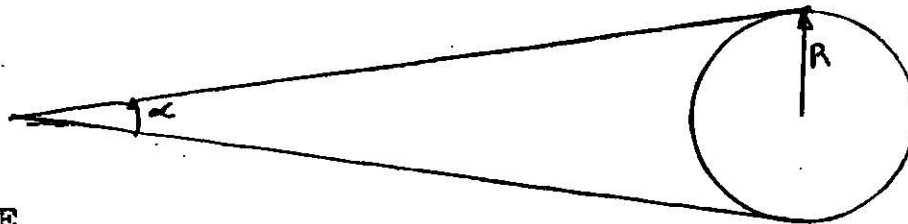
PIRE_{et} , etc.



ANTENAS :

Repetidor No. 1 ;

Para simplificar consideremos que la corneta debe tener una cobertura global para servir a todas las estaciones.



SATELITE

$$\alpha = 2 \text{ Arc tg } \frac{R}{R+h} = 2 \text{ Arc tg } \frac{6378}{42268}$$

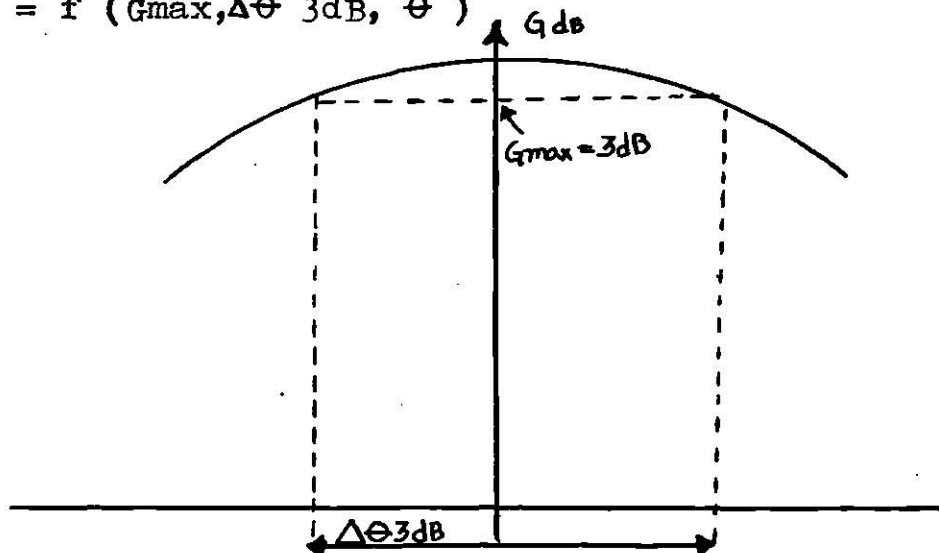
$$\alpha = 17.2$$

Consideremos para la corneta un ancho de haz igual a :

$$\Delta \theta_{3 \text{ dB}} = \frac{60\lambda}{D}$$

Además supongamos que el haz tiene forma parabólica :

$$G(\theta) = f(G_{\text{max}}, \Delta \theta_{3 \text{ dB}}, \theta)$$



$$G(\theta) - G_{\max} = -K(\theta)^2$$

$$\text{PARA } \theta = \frac{\Delta\theta_{3\text{dB}}}{2} \quad G - G_{\max} = -3\text{dB}$$

$$-3 = -K \left(\frac{\Delta\theta_{3\text{dB}}}{2} \right)^2$$

DE DONDE

$$K = 3 \left(\frac{2}{\Delta\theta_{3\text{dB}}} \right)^2$$

a) si $\Delta\theta_{3\text{dB}} = 17.2^\circ$

$$\Delta\theta_{3\text{dB}} = \frac{60\lambda}{D} \quad \frac{D}{\lambda} = \frac{60}{\Delta\theta_{3\text{dB}}} = \frac{60}{17.2^\circ}$$

$$\boxed{\frac{D}{\lambda} = 3.5}$$

DE LA GRAFICA : $\boxed{\frac{L}{\lambda} = 4}$

CON LO QUE SE OBTIENE UNA DIRECTIVIDAD (Dir) DE ;

$$\boxed{\text{Dir} = 18.5 \text{ dB}}$$

$$G_{\max} = \eta \text{ Dir}$$

$$G_{\max} \text{ dB} = \eta \text{ dB} \quad \eta \text{ dB}$$

COMO $\eta_{\text{UB}} = -0.5 \text{ dB}$

ENTONCES : $G_{\max} = -0.5 \quad 18.5$

$$\boxed{G_{\max} = 18 \text{ dB}}$$

Y como $G_{\min} = G_{\max} - 3 \text{ dB}$

$$\boxed{G_{\min} = 15 \text{ dB}}$$

b) si $\Delta\theta_{4dB} = 11.2$

$$G(\theta) = G_{max} - 3 \left(\frac{20}{0.3dB} \right)^2$$

$$\Delta\theta_{3dB} = \sqrt{\frac{3}{G_{max} - G(0)}} (2\theta)$$

$$\Delta\theta_{3dB} = \left(\sqrt{\frac{3}{4}} \right) (17.2) = 14.9^\circ$$

$$\frac{D}{\lambda} = \frac{60}{14.9} = 4$$

$$\boxed{\frac{D}{\lambda} = 4}$$

DE GRAFICAS:

$$\boxed{\frac{L}{\lambda} = 5}$$

$$\boxed{Dir = 19.5 \text{ dB}}$$

$$\boxed{G_{max} = 19 \text{ dB}}$$

$$\boxed{G_{min} = G_{max} - 4 \text{ dB} = 15 \text{ dB}}$$

c) si $\Delta\theta_{5dB} = 17.2^\circ$

$$\Delta\theta_{3dB} = \left(\sqrt{\frac{3}{5}} \right) (17.2) = 13.3^\circ$$

$$\frac{D}{\lambda} = \frac{60}{13.3} = 4.5$$

$$\boxed{\frac{D}{\lambda} = 4.5}$$

$$\boxed{\frac{L}{\lambda} = 7}$$

$$\boxed{Dir = 20.5 \text{ dB}}$$

$$\boxed{G_{max} = 20 \text{ dB}}$$

$$\boxed{G_{min} = G_{max} - 5 \text{ dB} = 15 \text{ dB}}$$

Se van a utilizar las dimensiones de la corneta para - -
 $f = 6$ GHz y de este modo el funcionamiento a 4 GHz será me
 jor porque el haz se ensancha al disminuir la frecuencia.

a) Si $\Delta\theta$ 3 dB = 17.2° (a 6 GHz)

$$\frac{D}{\lambda_2} = 3.5 \left(\frac{4}{6} \right) = 2.33$$

$$\frac{L}{\lambda_2} = 4 \left(\frac{4}{6} \right) = 2.66$$

DE LA GRAFICA Dir = 16 dB

$$G_{\max} = 15.5 \text{ dB}$$

$$G_{\min} = G_{\max} - 3 \left(\frac{2\theta}{\Delta\theta} \right)^2$$

a 4 GHz : $\Delta\theta$ 3dB = $\frac{60\lambda}{D} = \frac{60}{D/\lambda} = \frac{60}{2.33} = 25.7^\circ$

$$G_{\min} = 15.5 - 3 \left(\frac{17.2}{25.7} \right)^2$$

$$G_{\min} = 14.2 \text{ dB}$$

b) Si $\Delta\theta$ 4 dB = 17.2° (a 6 GHz)

$$\Delta\theta$$
 3 dB = 14.9° (a 6 GHz)

$$\frac{D}{\lambda_2} = 4 \left(\frac{4}{6} \right) = 2.6$$

$$\frac{L}{\lambda_2} = 5 \left(\frac{4}{6} \right) = 3.3$$

DE LA GRAFICA Dir = 16.5 dB

$$G_{\max} = 16 \text{ dB}$$

a 4 GHz : $\Delta\theta$ dB = $\frac{60}{D/\lambda} = \frac{60}{2.6} = 22.6^\circ$

$$G_{\min} = 16 - 3 \left(\frac{17.2}{22.6} \right)^2$$

$$G_{\min} = 14.3 \text{ dB}$$

c) si $\Delta\theta = 5 \text{ dB} = 17.2^\circ$ (a 6 GHz)

$$\frac{D}{\lambda_z} = 4.5 \left(\frac{4}{6} \right) = 3$$

$$\frac{L}{\lambda_z} = 7 \left(\frac{4}{6} \right) = 4.66$$

DE LA GRAFICA $Dir = 18.5 \text{ dB}$

$$G_{\max} = 18 \text{ dB}$$

A 4 GHz $3\text{dB} = \frac{60}{3} = 20$

$$G_{\min} = 18 - 3 \left(\frac{17.2}{20} \right)^2$$

$$G_{\min} = 15.8 \text{ dB}$$

Nivel relativo a $\Delta\theta = 17.2^\circ$ para - 6 GHz	4 GHz Gmin/Gmax	6 GHz Gmin/Gmax	D cm	L cm
- 3 dB	14.2/15.5	15/18	17.5	20
- 4 dB	14.3/16	15/19	20	25
- 5 dB	15.8/18	15/20	22.5	35

Nos detendremos en este último cálculo porque si seguimos adelante las dimensiones de la corneta se harán demasiado grandes.

Repetidor No. 2 :

La parábola puede tener un diámetro máximo de 2 mts. y debe estar dirigida a la región Antillas-Guyana con :

$$\eta = 55\% = -2.6 \text{ dB}$$

$$\Delta\theta \text{ 3 dB} = \frac{70\lambda}{D}$$

$$\text{Dir} = 20 \log \frac{\pi D}{\lambda}$$

Si se toma el diámetro máximo de dos metros para conseguir la máxima ganancia entonces :

$$D = 2 \text{ m} \longrightarrow \text{Dir} = 38.5 \text{ dB}$$

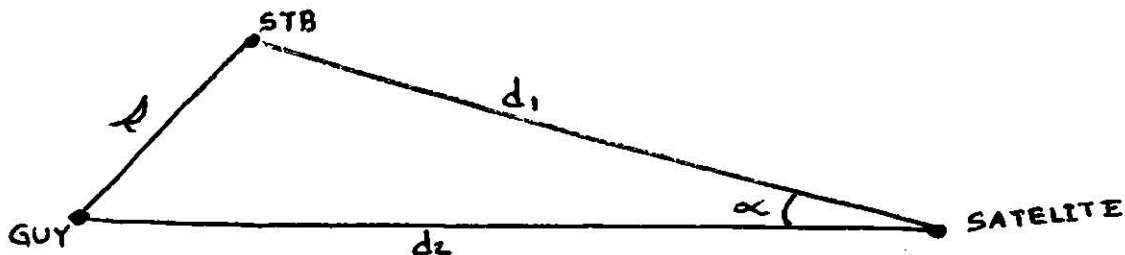
$$\boxed{G_{\text{max}} = -2.6 + 38.5 = 35.9 \text{ dB}}$$

$$\Delta\theta \text{ 3 dB} = \frac{70 (7.5 \times 10^{-2})}{2}$$

$$\Delta\theta \text{ 3 dB} = 2.6^\circ$$

Ahora nos falta verificar el haz para ver si es lo bastante amplio como para cubrir la zona deseada.

Debemos calcular por lo tanto la máxima separación angular entre las estaciones consideradas. Ya que todas las estaciones están prácticamente alineadas sobre un mismo eje - Norte-Sur; solo nos resta encontrar la separación entre la estación que esté más al norte y la que esté más al Sur, - es decir, entre Saint-Barthélémy y la Guyana.



d_1 y d_2 ya están calculadas.

Para conocer "s" vamos a trasladar a coordenadas cartesianas la posición de las estaciones y luego aplicamos la fórmula de la distancia.

$$X = R \cos \text{ lat } \sin \text{ long}$$

$$Y = R \cos \text{ lat } \cos \text{ long}$$

$$Z = R \sin \text{ lat}$$

STB

$$X_1 = 5400 \text{ Km.}$$

$$Y_1 = 2771 \text{ Km.}$$

$$Z_1 = 1962 \text{ Km.}$$

GUY

$$X_2 = 5028 \text{ Km.}$$

$$Y_2 = 3886 \text{ Km.}$$

$$Z_2 = 548 \text{ Km.}$$

$$s = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}$$
$$s = \sqrt{(5028 - 5400)^2 + (3886 - 2771)^2 + (548 - 1962)^2}$$

$$s = 1838.75 \text{ Km.}$$

VOLVIENDO AL TRIANGULO DE LA HOJA ANTERIOR :

$$s^2 = d_1^2 + d_2^2 - 2 d_1 d_2 \cos \alpha$$

$$\alpha = \text{Arc cos } \frac{d_1^2 + d_2^2 - s^2}{2 d_1 d_2}$$

$$\alpha = \text{Arc cos } \frac{(40114)^2 + (38908)^2 - (839)^2}{2 (40114) (38908)}$$

$$\alpha = 2^\circ$$

CON LO QUE LA ANTENA CUBRE BIEN LA ZONA DESEADA CON UNA G_{max} DE 35.9 dB

$$G_{min} = G_{max} - 3 \left(\frac{0}{0.3} \right)^2$$

$$G_{min} = 35.9 - 3 \left(\frac{2}{2.6} \right)^2$$

$G_{min} = 34.1$ dB

$\frac{G}{T}$ sat = ?

FACTOR DE RUIDO = F = ?
 VAMOS A SUPONER UN FACTOR DE RUIDO F= 3 dB YA QUE ESTE ES UN VALOR TIPICO PARA UN SATELITE.

$$F = 1 + \frac{T_e}{300}$$

$$F = 3 \text{ dB} = 2$$

$$T_e = 300 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_{total} = 300 \text{ }^\circ\text{K} + 300 \text{ }^\circ\text{K} = 600 \text{ }^\circ\text{K}$$

↑
 TEMPERATURA DEBIDO A LA TIERRA

UTILIZAREMOS UNA TEMPERATURA DE 1 000 °K PARA TENER UN MARGEN DE SEGURIDAD LA G_{sat} EN LA RECEPCION ES DE 15 dB

$$\underline{G} = 15 \text{ dB} - (1000 \text{ K}) \text{ dB}$$

$\underline{G} = -15$ dB

$$\left(\frac{C}{F} \right)_d = \text{PIRE}_{\text{sat}} - \text{ATD} + \left(\frac{G}{T} \right)_{\text{ET}}$$

$$\left(\frac{C}{F} \right)_d = \text{PIRE}_{\text{sat}} - 196 + 40.7$$

↑ ESTACION STANDARD "A"

$$\left(\frac{C}{F} \right)_d = \text{PIRE}_{\text{sat}} - 155.3$$

$$\left(\frac{C}{F} \right)_a = \text{PIRE}_{\text{ET}} - \text{ATA} + \left(\frac{G}{T} \right)_{\text{sat}}$$

$$\left(\frac{C}{F} \right)_a = \text{PIRE}_{\text{ET}} - 200 - 15$$

POR OTRA PARTE TENEMOS :

PARA LAS PORTADORAS DE 252 CANALES

$$\left(\frac{C}{F} \right)_{\text{TOTAL}} = - 141.7 \frac{\text{dBw}}{\text{°K}}$$

Y TAMBIEN:

$$\left(\frac{C}{F} \right)_a^{-1} + \left(\frac{C}{F} \right)_d^{-1} = \left(\frac{C}{F} \right)_T^{-1}$$

SI SE DISPONE DE UN TUBO DE ONDAS PROGRESIVAS de 10 WATTS
LE CORRESPONDERAN 2 WATTS A CADA CANAL (MULTIPLEX)

$$P = 2 \text{ WATTS} = 3 \text{ dBw}$$

SUPONGAMOS QUE LAS PERDIDAS SON DE 1.5 dB

$$\text{PIRE}_{\text{sat}} = 3 \text{ dBw} - 1.5 \text{ dB} + 15.8 \text{ dB}$$

$$\text{PIRE}_{\text{sat}} = 17.3 \text{ dBw}$$

$$(C) = \text{PIRE}_{\text{sat}} - 155.3 = 17.3 - 155.3$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_d = -138 \text{ dBw/K}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_a^{-1} = \left(\frac{C}{T}\right)_T^{-1} - \left(\frac{C}{T}\right)_d^{-1}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_T = -141.7 \text{ dB} = 6.76 \cdot 10^{-15}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_d = -138 \text{ dB} = 1.58 \cdot 10^{-14}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_a^{-1} = (6.76 \cdot 10^{-15})^{-1} - (1.58 \cdot 10^{-14})^{-1}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_a = -139.3 \text{ dB/K}$$

$$\left(\frac{C}{T}\right)_a = \text{PIRE}_{\text{ET}} - 215$$

$$\text{PIRE}_{\text{ET}} = 215 - 139.3$$

$$\text{PIRE}_{\text{ET}} = 75.7 \text{ dBw}$$

REPETIDOR # 2

$$\left(\frac{C}{T} \right)_{ET} = 31.7 \quad (\text{STANDARD "R" })$$

$$\left(\frac{C}{T} \right) = \text{PIRE}_{\text{sat}} - \text{ATD} + 31.7$$

$$\left(\frac{C}{T} \right)_d = \text{PIRE}_{\text{sat}} - 164.3$$

$$\left(\frac{C}{T} \right)_{T 252} = - 141.7 \text{ dBw/ K}$$

$$\left(\frac{C}{T} \right)_{i 96} = - 146.3 \text{ dBw/ K}$$

PODEMOS OBSERVAR QUE LA DIFERENCIA ENTRE LAS PORTADORAS DE 252 Y 96 ES DE 4.6 dB Y COMO LA POTENCIA DEL TWT ES DE 10 WATTS ENTONCES :

$$3X + 4Y = 10$$

X = POTENCIA DEL PORTADOR DE 252 CANALES

Y = POTENCIA DE PORTADORAS DE 96 CANALES

$$\frac{X}{Y} = 10 \frac{4.6}{10} = 2.88$$

$$X = 2.88 Y$$

$$3 (2.88 Y) + 4Y = 10$$

$$Y = 0.79 = - 1 \text{ dBw}$$

$$X = (2.88) (0.79)$$

$$X = 2.28 = 3.6 \text{ dBw}$$

$$\text{PIRE}_{\text{sat}} = 3.6 - 1.5 + 34 .1$$

PERDIDOS

GANANCIA DE LA ANTENA

$$\text{PIRE}_{\text{sat}} = 36.2 \text{ dBw}$$

$$\left(\frac{C}{F} \right)_{d \ 252} = \text{PIRE}_{\text{sat}} - \text{ATD} + \left(\frac{G}{T} \right)_{\text{ET}}$$

$$\left(\frac{C}{F} \right)_{d \ 252} = 36.2 - 164.3$$

$$\left(\frac{C}{F} \right)_{d \ 252} = - 128.1 \text{ dB/ K}$$

$$\left(\frac{C}{F} \right)_{a \ 252}^{-1} = \left(\frac{C}{T} \right)_{252}^{-1} - \left(\frac{C}{F} \right)_{d \ 252}^{-1}$$

$$\left(\frac{C}{F} \right)_{T \ 252} = - 141.7 \text{ dB} = 6.76 \times 10^{-15}$$

$$\left(\frac{C}{F} \right)_{d \ 252} = - 128.1 \text{ dB} = 1.55 \times 10^{-13}$$

$$\left(\frac{C}{F} \right)_{a \ 252}^{-1} = \left(6.76 \times 10^{-15} \right)^{-1} - \left(1.55 \times 10^{-13} \right)^{-1}$$

$$\left(\frac{C}{F} \right)_{a \ 252} = - 141.5 \text{ dB"/ K}$$

$$\left(\frac{C}{T} \right)_{a \ 252} = \text{PIRE}_{\text{ET}} - \text{ATA} + \left(\frac{G}{T} \right)_{\text{sat}}$$

$$\left(\frac{G}{T} \right)_{\text{sat}} = - 15 \text{ dBw / K}$$

$$\text{PIRE}_{\text{ET}} = \left(\frac{C}{T} \right)_{a} + \text{ATA} - \left(\frac{G}{T} \right)_{\text{sat}} = \left(\frac{C}{T} \right)_{a} + 215$$

$$\text{PIRE}_{\text{ET}} = -141.5 + 215$$

$$\text{PIRE}_{\text{ET}} = 73.5 \text{ dBw}$$

RESUMIENDO :

PARA 252 CANALES

$$\begin{aligned} \text{PIRE}_{\text{ET}} &= 73.5 \text{ dBw} \\ \text{PIRE}_{\text{sat}} &= 36.2 \text{ dBw} \end{aligned}$$

PARA 96 CANALES :

RESTANDO 4.6 dB CON
CON RESPECTO A LAS
DE 252 CANALES

$$\begin{aligned} \text{PIRE}_{\text{ET}} &= 68.9 \text{ dBw} \\ \text{PIRE}_{\text{sat}} &= 31.6 \text{ dBw} \end{aligned}$$

VII) Diagrama de la carga útil.

REPETIDOR # 1

GANANCIA DE LA ANTENA DE RECEPCION = 15 dB

GANANCIA DE LA ANTENA DE TRANSMISION = $\frac{15.8 \text{ dB}}{30.8 \text{ dB}}$

SEÑAL LLEGANDO AL SATELITE = $\text{PIRE}_{\text{ET}} - \text{ATA}$

$$= 75.7 - 200 = -124.3 \text{ dBw}$$

$\text{PIRE}_{\text{sat}} = 17.3$

GANANCIA DEL SATELITE = $17.3 - (-124.3)$

$$= 141.6 \text{ dB}$$

REPETIDOR # 2

GANANCIA DE LA ANTENA DE RECEPCION = 15 dB

GANANCIA DE LA ANTENA DE TRANSMISION = $\frac{34.1 \text{ dB}}{49.1 \text{ dB}}$

SEÑAL LLEGANDO AL SATELITE = $PIRE_{ET} - ATA$
 $= 73.5 - 200 = -126.5 \text{ dBw}$

$PIRE_{sat} = 36.2$

GANANCIA DEL SATELITE = $36.2 - (-126.5)$

$= 162.7 \text{ dB}$

GANANCIA DEL REPETIDOR # 1

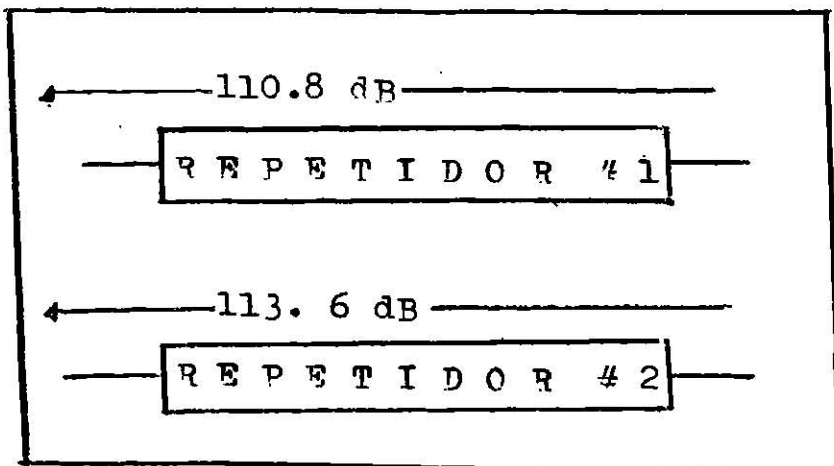
$141.6 - 30.8 = 110.8 \text{ dB}$

GANANCIA DEL SATELITE
DEL SATELITE

GANANCIA DE LAS ANTENAS

GANANCIA DEL REPETIDOR # 2

$162.7 - 49.1 = 113.6 \text{ dB}$



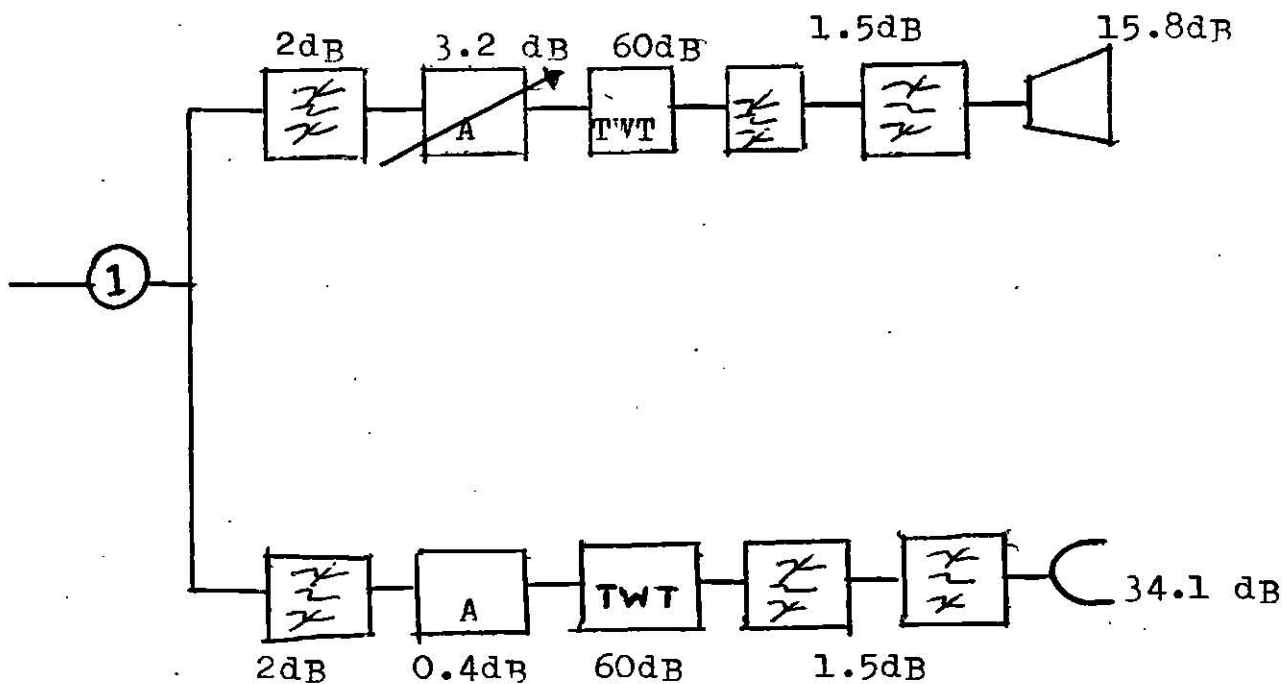
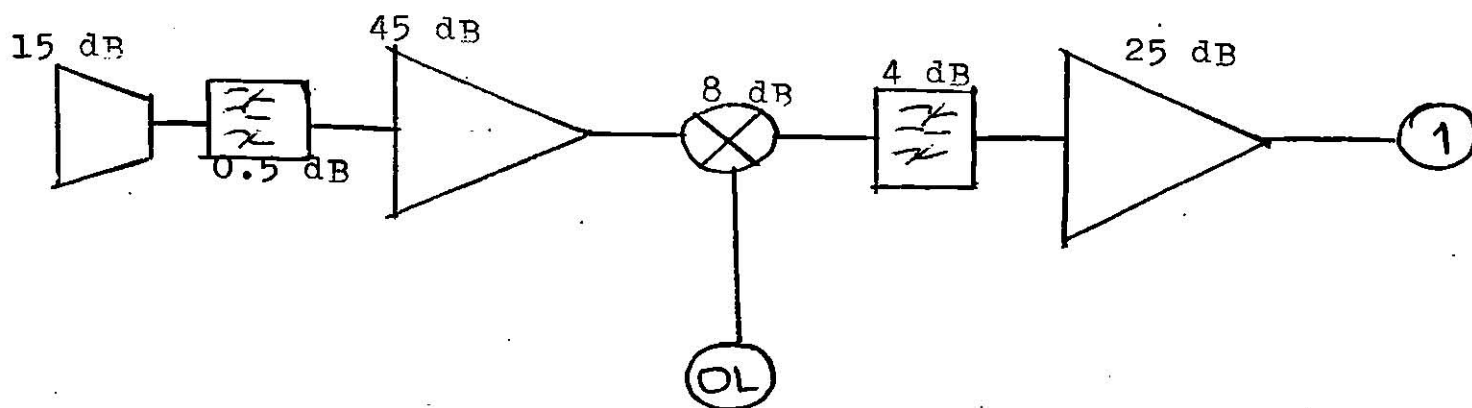


DIAGRAMA DE LA CARGA UTIL

